

# Endüstri Mühendisliği

Cilt: 28 Sayı: 1 Mart 2017

ISSN 1300-3410



tmmob makina mühendisleri odası yayınıdır

[www.mmo.org.tr/endustri](http://www.mmo.org.tr/endustri)

2-18

## PERSONEL TAYİN İŞLEMLERİ İÇİN AHP, TOPSIS VE MACAR ALGORİTMASI TABANLI KARAR DESTEK MODELİ

Halil GÖKKAYA, Talip KELLEGÖZ

19-39

## ÇOK AMAÇLI TAMSAYI PROGRAMLAMA PROBLEMLERİ İÇİN TEMSİLİ ÇÖZÜM ÜRETEN YAKLAŞIMLARIN VE KALİTE ÖLÇÜLERİNİN İNCELENMESİ

Banu LOKMAN

**ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ  
TMMOB MAKİNA MÜHENDİSLERİ ODASI  
YAYINIDIR**

**3 Ayda Bir Yayınlanır  
Yerel Süreli Yayın  
Hakemli Bir Dergidir**

**OCAK/ŞUBAT/MART 2017**  
January/February/March

**Cilt / Vol: 28 Sayı / No: 1**

**Makina Mühendisleri Odası  
Adına Sahibi Publisher**  
Ali Ekber ÇAKAR

**Sorumlu Yazı İşleri Müdürü / Executive Editor**  
Yunus YENER

**Yayın Sekreteri / Editorial Secretary**  
Aylin Sila AYTEMİZ

**Yayın Kurulu / Editorial Board**  
Ferda Can ÇETİNKAYA - Çankaya Üniversitesi  
Özgür YALÇINKAYA - Dokuz Eylül Üniversitesi  
Güzin ÖZDAĞOĞLU - Dokuz Eylül Üniversitesi  
Bülent DURMUŞOĞLU - İstanbul Teknik Üniversitesi  
Aydın KAYNARCA - Ortadoğu Teknik Üniversitesi  
Olca POLAT - Pamukkale Üniversitesi

**Yayın Danışma Kurulu / Editorial Advisory Board**  
Cafer ÇELİK - Atatürk Üniversitesi  
Emin KAHYA - Eskişehir Osmangazi Üniversitesi  
Fikri EGE - Toros Üniversitesi  
Hakan ÖZCAN - Ondokuz Mayıs Üniversitesi  
Kemal YILDIZLI - Ondokuz Mayıs Üniversitesi  
Zerrin ALADAĞ - Kocaeli Üniversitesi

**Redaksiyon / Redaction**  
Tarık ÖZBEK

**Teknik Sorumlu / Technical Manager**  
Mehmet AYDIN

**Sayfa Tasarımı / Page Design**  
Münever POLAT

**Baskı / Printed By**  
Ankamat Matbaacılık Sanayi Ltd. Şti.  
30. Cadde 538. Sokak No:60  
İvedik Organize Sanayi - ANKARA  
Tel: (0 312) 394 54 94

**Baskı Sayısı / Circulation**  
5500

**Baskı Tarihi / Publishing Date**  
31 Mayıs 2017

**Yönetim Yeri / Head Office**  
TMMOB Makina Mühendisleri Odası  
Meşrutiyet Cad. 19/6.Kat Kızılay-ANKARA  
Tel: 0 850 495 0 666 (06)  
Fax: 0 312 417 86 21  
e-posta: yayin@mmo.org.tr  
http://www.mmo.org.tr/endustri



Endüstri Mühendisliği dergisi EBSCO Veri Tabanında ve ayrıca  
International Abstracts in Operations Research tarafından taranmaktadır.

## S U N U Ş

Merhaba Değerli Meslektaşlarımız,

2017 yılının ilk sayısında 2 makale ile karşınızdayız.

İlk çalışma, Gazi Üniversitesi'nden Halil Gökkaya ve Talip Kellegöz'e ait olan "Personel Tayin İşlemleri İçin Ahp, Topsis ve Macar Algoritması Tabanlı Karar Destek Modeli" başlıklı makaledir. Çalışmada, kurum kapsamında personel motivasyonu ve verimliliğinin artırılması açısından oldukça önemli bir konu olan personel tayini konusunda, ülkemizde faaliyet gösteren uluslararası bir firmanın personel tayin kararlarının objektif olarak verilmesinde kullanılabilir bir karar destek modeli geliştirilmiştir. Modelin dayandığı temel bilimsel yöntemler; çok kriterli karar verme metodlarından olan AHP ve TOPSIS algoritmaları ve atama modellerinin optimal çözümlerinin bulunmasında kullanılan macar metodudur.

İkinci çalışma, Orta Doğu Teknik Üniversitesi'nden Banu Lokman'a ait olan "Çok Amaçlı Tamsayı Programlama Problemleri İçin Temsili Çözüm Üreten Yaklaşımların ve Kalite Ölçülerinin İncelenmesi" başlıklı makaledir. Bu çalışmada, çok amaçlı tamsayı programlama problemleri için baskın noktaları bulmak zor olduğundan ve karar verici için de pratik bir yaklaşım olmadığından; temsili kümenin değerlendirilmesinde kullanılan kalite ölçülerini ve bu kalite ölçülerine göre tüm baskın nokta kümesini iyi temsil eden noktalar bulan yaklaşımlar incelenmiştir.

Endüstri Mühendisliği gibi arşiv özelliğine sahip dergilerin başarısını bu dergilere gönderilen makaleler ve bu dergileri takip eden okuyucular belirlediğinden makale, yazı ve yorumlarımızın bizim için değerli olduğunu bir kez daha belirtiriz. Dergimizde yayımlanan makalelere <http://www.mmo.org.tr/endustri> adresinden erişebilir; makale ve yazılarımızı ise <http://omys.mmo.org.tr/endustri> adresinden bize ileterek dergimize katkıda bulunabilirsiniz.

Dergimizin bu sayısında çalışmalarına yer verdiğimiz yazarlara ve çalışmaların değerlendirilme sürecine katkıda bulunan hakemlerimize teşekkür eder, bir sonraki sayımızda buluşmak dileğiyle iyi okumalar dileriz.

Saygılarımızla,

**TMMOB Makina Mühendisleri Odası  
Yönetim Kurulu**

# PERSONEL TAYİN İŞLEMLERİ İÇİN AHP, TOPSIS VE MACAR ALGORİTMASI TABANLI KARAR DESTEK MODELİ

Halil GÖKKAYA<sup>1</sup>, Talip KELLEGÖZ<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup>Gazi Üniversitesi, Bilişim Enstitüsü, Yönetim Bilişim Sistemleri Ana Bilim Dalı, Ankara  
halil.gokkaya1@gmail.com

<sup>2</sup>Gazi Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, Ankara  
tkellegoz@gazi.edu.tr

Geliş Tarihi: 02.05.2015; Kabul Ediliş Tarihi: 27.01.2017

## ÖZ

Personel tayini, kurum kapsamında personel motivasyonu ve verimliliğinin artırılması açısından oldukça önemli bir konudur. Kurumların bu işlemi gerçekleştirirken mümkün olduğunca objektif olması ve olası şüpheleri ortadan kaldırmak için personelini süreç detayları ve sonuçlarına ilişkin bilgilendirmesi gerekmektedir. Adalet ve motivasyonun sağlanması için sürecin en önemli aşamasını oluşturan atama işleminde bilimsel yöntemler kullanılmalıdır. Bu çalışma kapsamında, ülkemizde faaliyet gösteren uluslararası bir firmanın personel tayin kararlarının objektif olarak verilmesinde kullanılabilecek bir karar destek modeli geliştirilmiştir. Modelin dayandığı temel bilimsel yöntemler; çok kriterli karar verme metodlarından olan AHP ve TOPSIS algoritmaları ve atama modellerinin optimal çözümlerinin bulunmasında kullanılan Macar metodudur. Önerilen metodoloji üç aşamadan oluşmakta olup birinci aşamada, tayin kriterleri belirlenmekte ve AHP yoluyla bunların ağırlıkları tespit edilmekte; ikinci aşamada, TOPSIS kullanılarak atama puanları hesaplanmakta ve son aşamada ise toplam atama puanını en büyük yapacak şekilde Macar metodunun uygulanmasıyla atamalar gerçekleştirilmektedir. Çalışma kapsamında, küçük boyutlu bir tayin problemi kullanılarak yöntemin nasıl uygulanacağı da gösterilmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Personel tayini, TOPSIS, Macar algoritması, karar destek modeli, çok-kriterli atama problemi

## AHP, TOPSIS AND HUNGARIAN ALGORITHM BASED DECISION SUPPORT MODEL FOR STAFF APPOINTMENT

### ABSTRACT

Staff appointment is a very important issue in terms of increasing the motivation and productivity of the staff in an organization. Institutions should be as objective as possible when carrying out this process and inform their staff about the process details and results to remove potential suspicions. To ensure justice and staff motivation, scientific methods should be used in the assignment phase that constitutes the most important stage of whole appointment process. In this study, a decision support model which can be used for objectively making staff appointment decisions of an international company operating in our country is developed. Fundamental scientific methods on which the proposed algorithm is based are AHP, TOPSIS and Hungarian Algorithm. While the AHP and TOPSIS are well-known multi-criteria decision making methods, the Hungarian Algorithm is used to find optimal solutions of assignment problems. The proposed methodology consists of three steps. In the first step, decision criteria are determined and their weights are calculated via AHP. In the second step, assignment scores are computed by using TOPSIS. In the final step assignments are made by applying the Hungarian Method so that the sum of assignment scores is the largest. Also, by using a small size staff assignment problem, it is shown how the method can be applied.

**Keywords:** Staff appointment, TOPSIS, Hungary algorithm, decision support model, multi-criteria assignment problem

\* İletişim yazarı

## 1. GİRİŞ

Personel atama kararlarının alınması bir işletmenin karar vericileri tarafından yapılan en önemli görevlerden biridir (Huang vd., 2009). İşletmenin insan kaynaklarını etkin olarak kullanması personel seçim ve atama sürecinin başarılı bir şekilde yürütülmesine bağlıdır. İşletme personelinin niteliğinin yükseltilmesi; işletmenin güçlü rekabet ortamında etkili, başarılı ve rakipleri arasında ayrıcalıklı bir konuma sahip olmasını sağlamaktadır. İşletme bünyesindeki personelin en iyi biçimde konumlandırılması; mevcut personelin performansının en üst seviyeye taşınmasını sağlayarak işletme için stratejik bir rol üstlenmektedir (Erdoğan, 2013).

Personel atama süreci, işletmenin belirlemiş olduğu politika ve stratejiler kapsamında personel ihtiyacının saptanmasından (açık ve açılması öngörülen pozisyonlar) aday taleplerinin alınmasına ve atamaların yapılmasına kadar geçen süreci ifade etmektedir (Erdoğan, 1991). İnsan kaynakları yönetim ilkelerinden olan yansızlık ilkesi gereği işletme yönetimi atama ve terfilerde yansız ve objektif olmalıdır. Benzer şekilde, eşitlik ilkesi gereği, personel seçimi aşamasında hiçbir şekilde ve nedenle ırk, dil, din, siyasi düşünce, felsefe, cinsiyet, zümre ayrımı yapılmaksızın herkese aynı haklar tanınmalıdır. Her birey fırsat eşitliğine sahiptir, belirlenmiş pozisyon dâhilinde herkes görevin gereklerine göre değerlendirilmelidir (Yüksel, 2000).

Kuhn (1955) tarafından geliştirilen Macar metodu, tek kriterli atama probleminin optimal çözümünü polinom zamanda bulan etkili bir kesin çözüm algoritmasıdır. Hwang ve Yoon (1981) tarafından geliştirilen ve çok kriterli karar verme yöntemlerinden birisi olan TOPSIS (Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution) algoritması ise hem ideal çözüme yakınlığı ve hem de negatif-ideal çözüme uzaklığı eşzamanlı olarak dikkate alıp alternatifler için tercih sıralaması oluşturmaktadır. Bu sıralamaya göre, ideal çözüme en yakın alternatifin seçilmesi yoluyla fayda en büyüklenirken maliyetin de en küçüklenmesi amaçlanır (Hwang ve Yoon, 1981). Diğer bir ifadeyle TOPSIS, alternatifleri belirli kriterler ve bu kriterlerin alabileceği en iyi ve en kötü değerler kapsamında inceleyerek birbirleriyle karşılaştırılmasını sağlar (Olson, 2004). Çalışma kap-

samında kısmi olarak kullanılan AHP (Analytic Hierarchy Process) metodu ise 1970'li yıllarda Pensilvanya Üniversitesi'nden Thomas L. Saaty tarafından geliştirilen ve literatürde yaygın olarak kullanılan çok kriterli karar verme yöntemlerinden bir diğeridir (Saaty, 1990). AHP, subjektif kriterleri de içerebilen problemleri hiyerarşik bir yapıda ele alır ve ikili karşılaştırma mantığına dayanarak karar verilmesini sağlar (Felek vd., 2007).

TOPSIS yöntemi çok kriterli karar verme problemlerinin çözümü amacıyla çok çeşitli alanlarda yaygın bir biçimde kullanılmaktadır (Wu vd., 2008). Bu yöntem; örgütsel ve finansal performans değerlendirmesinden (Deng vd., 2000; Feng ve Wang, 2001; Yurdakul ve İç, 2003; Akkaya, 2004; Yurdakul ve İç, 2005; Tolga, 2008; Wu vd., 2008; Tsai vd., 2008; Ertuğrul ve Karakaşoğlu, 2009; Seçme vd., 2009; Bülbül ve Köse, 2009; Dumanoglu ve Ergül, 2010; Demireli, 2010) ürün ve hizmet kalitesi değerlendirmeye (Tsaur vd., 2002; Madumjar vd., 2005; Benitez vd., 2007; Manabendra ve Koushiki, 2009), müşteri odaklı ürün tasarım süreci oluşturmadan (Lin vd., 2008) çok amaçlı envanter planlamaya (Tsou, 2008), risk değerlendirmesi (Wang ve Elhag, 2006; Amiri, 2010) ve veri madenciliğinden (Dashti vd., 2010) tesis yeri seçimine (Chu, 2002), tedarikçi seçiminden (Kaya vd., 2007; Supçiller ve Çapraz, 2011; Çalışkan vd., 2012; Wang, 2014), üretim yöntemi seçimine değin (Eleren ve Ersoy, 2007; Rehman ve Al-Ahmari, 2013) birçok alanda kullanılmaktadır. TOPSIS konusunda kapsamlı literatür taraması Behzadian vd. (2012) tarafından yapılan çalışmada bulunabilir. Personel seçimine yönelik gerçekleştirilen TOPSIS uygulamalarından bazıları şu şekildedir. Chen (2000), TOPSIS yönteminin bulanık personel seçim sürecinde nasıl kullanılabileceğini göstermiştir. Shih vd. (2007), personel seçim probleminin çözümü için grup tabanlı bir TOPSIS algoritması önermiştir. Mahdavi vd. (2008), sistem analisti seçimi için uyumsuzlukları dikkate alan bir bulanık TOPSIS algoritması kullanmıştır. Saremi vd. (2009), TOPSIS algoritmasını geometrik ortalama kullanacak şekilde modifiye ederek toplam kalite yönetimi danışmanı seçiminde kullanmıştır. Kelemenis ve Askounis (2010), personel seçim işlemi için veto eşiği içeren bir TOPSIS algoritması geliştirmişlerdir. Dursun ve Karsak (2010) ise personel seçiminde hem

dilsel hem de sayısal değerlendirmeyi birlikte yapacak şekilde TOPSIS algoritmasını genişletmişlerdir. Kelemenis vd. (2011), destek yöneticilerinin seçimini gerçekleştirmek amacıyla bulanık mantık ile TOPSIS algoritmasını entegre etmişlerdir. Personel seçiminde veto eşiği içeren TOPSIS algoritması uygulaması yapan diğer araştırmacılar ise Pérez ve arkadaşları'dır (2012). Bu çalışma kapsamında önerilen TOPSIS algoritması aynı zamanda oy çoğunluğu kuralı da içermektedir. Sang vd. (2015), personel seçim işlemine kullanılmak üzere yaklaşık bulanık göreceli yakınlık tahmini yerine, kesin bulanık göreceli yakınlık değeri kullanan bir bulanık TOPSIS algoritması geliştirmiştir.

Literatürde, toplam maliyeti minimum yapacak şekilde  $n$  adet kaynağın yine  $n$  adet hedefe eşzamanlı olarak atandığı klasik atama probleminin yanı sıra, çok sayıda farklı yapıya sahip atama problemi de tanımlanmıştır. Bunlardan önemli bazıları; sadece  $k$  adet atamanın ( $k < n$ ) yapıldığı  $k$ - kardinalite atama problemi (Dell Amico ve Martello, 1997), atama maliyetleri içerisinde en büyüğünün en küçüklenmesi yapısına sahip darboğaz atama problemi (Gross, 1960), en büyük ve en küçük atama maliyetleri arasındaki farkın en küçüklendiği dengelemeli atama problemi (Duin ve Volgenant, 1991), en büyük atama maliyeti ile ortalama atama maliyeti arasındaki farkın en küçüklendiği en küçük sapmalı atama problemi (Duin ve Volgenant, 1991) ve çok-kriterli atama problemi şeklindedir. Bu çalışmada ele alınan tayin sürecindeki atamalara bakıldığında, çok-kriterli atama probleminin özel bir yapısı olduğu anlaşılmaktadır. Çok-kriterli atama probleminde birden fazla sayıdaki kriter (maliyet, zaman, kalite, uygulanabilirlik, risk vb.) dikkate alınarak atamalar gerçekleştirilmektedir. Geetha ve Nair (1993), toplam atama maliyeti ve maksimum görev süresinin en küçüklemesi olmak üzere iki farklı kriteri dikkate almış, bu kriterleri ağırlıklı tek bir amaç fonksiyonunda birleştirerek problemin matematiksel modelini geliştirmişlerdir. Scarelli ve Narula (2002), İtalyan futbol liginde hakemlerin futbol maçlarına atanması problemini ele almışlardır. Dikkate alınan kriterler ELECTRE III modelinin kullanımı yoluyla güvenilirlik indeksi adı verilen tek bir kritere indirgenmektedir. Daha sonra bu değerler kullanılarak her seferinde bir hakem maçlardan birisine atanmaktadır.

Bu çalışma kapsamında, ülkemizde faaliyetlerini sürdüren uluslararası bir firmanın birden fazla sayıda personel seçim ve atama işleminin aynı anda gerçekleştirildiği personel tayin problemi incelenmiştir. İncelenen problemi geleneksel atama probleminden ayıran temel nokta, tayin işleminde birden fazla sayıda kriterin dikkate alınmasıdır. Kriter ağırlıkları AHP yoluyla tespit edilmekte olup TOPSIS metodu ve Macar algoritması önerilen çözüm yönteminin temelini oluşturmaktadır. Yöntem kapsamında, TOPSIS algoritmasının temel fonksiyonu çok kriterli atama problemini tek kriterli probleme çevirmektir. Bu işlemde sonra düzenlenen geleneksel atama probleminin optimal çözümü ise Macar metodunun uygulanmasıyla bulunup personel atamaları belirlenmektedir.

Çalışmanın ikinci ve üçüncü bölümlerinde sırasıyla, TOPSIS yöntemine ve Macar metoduna kısaca değinilmiştir. Dördüncü bölümde ise önerilen çözüm yöntemi sunulmuştur. Çalışmanın beşinci bölümünde, önerilen çözüm yönteminin nasıl kullanılacağı küçük bir örnek problem üzerinde gösterilmiştir. Son bölüm ise genel değerlendirmelere ve gelecekte yapılabilecek çalışmalara ilişkin önerilere ayrılmıştır.

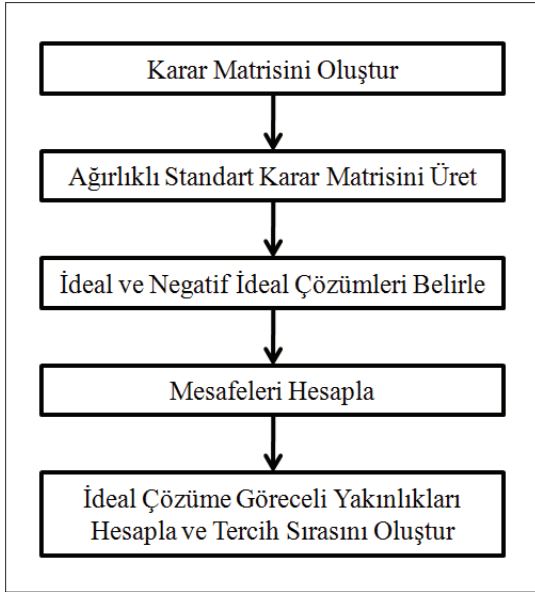
## 2. METODOLOJİ

### 2.1 TOPSIS Yöntemi

TOPSIS yönteminin ana prensibi pozitif ve negatif ideal çözümlerin belirlenerek bu ideal çözümlere olan mesafeler bazında alternatif hareket tarzlarının (karar noktaları, alternatifler) değerlendirilmesidir. TOPSIS kapsamında pozitif ideal çözüm, fayda kriterlerini en büyüklerken maliyet kriterlerini ise en küçükleyen bir çözümdür. Negatif ideal çözüm ise fayda kriterlerini en küçük, maliyet kriterlerini ise en büyük yapan çözümdür. En uygun seçenek, ideal çözüme en yakın ve negatif ideal çözüme en uzak olan seçenektir (Wu vd., 2008). TOPSIS yönteminin adımları Şekil 1'de, bu adımlara ilişkin açıklamalar ise takip eden altbölümlerde sunulmuştur (Yoon, 1980; Yoon ve Hwang, 1981; Lai vd., 1994).

#### 2.1.1 Karar Matrisinin Oluşturulması

Karar matrisi, değerlendirilecek alternatif sayısı  $m$  ve değerlendirmede kullanılacak kriter sayısı  $n$  olmak üzere,



Şekil 1. TOPSIS Algoritması

$m \times n$  boyutunda bir matristir. Matrisin her bir satırı bir alternatifte, her bir sütunu ise bir kriterle (değerlendirme faktörüne) karşılık gelir. Alternatif ve kriterlerin göreceli sıraları önemsizdir. Matrisin  $i$  satırı ve  $j$  sütununun kesiştiği hücreye alternatif  $i$ 'in kriter  $j$  bazında değeri yazılır. Bu değerler karar verici(ler) tarafından belirlenir. Karar matrisi aşağıdaki şekilde gösterilebilir:

$$D = (d_{ij})_{m \times n} = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & \cdots & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & \cdots & a_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ a_{m1} & a_{m2} & \cdots & a_{mn} \end{bmatrix} \begin{array}{l} \leftarrow \text{Alternatif 1} \\ \leftarrow \text{Alternatif 2} \\ \vdots \\ \leftarrow \text{Alternatif } m \end{array} \quad (1)$$

$\begin{array}{cccc} \uparrow & \uparrow & \cdots & \uparrow \\ \text{Kriter} & \text{Kriter} & \cdots & \text{Kriter} \\ 1 & 2 & \cdots & n \end{array}$

### 2.1.2 Ağırlıklı Standart Karar Matrisinin Üretilmesi

Kriterlerin farklı birimlere sahip olduğu durumlarda ortaya çıkabilecek hesaplama hatalarının giderilmesi için karar matrisinin standardize edilmesi gerekir. Literatürde bu amaçla kullanılan çok sayıda yöntem bulunmaktadır. Standart karar matrisinin her bir elemanının belirlenmesi amacıyla en sık kullanılan yöntemlerden birisi Eşitlik (2)'de verilmiştir.

$$r_{ij} = \frac{a_{ij}}{\sqrt{\sum_{k=1}^m a_{kj}^2}} \quad (2)$$

Çoğu durumda dikkate alınan kriterlerin önem ve buna bağlı olarak karar verme sürecindeki ağırlıkları birbirinden farklıdır. Bu farklılığın karar verme sürecinde dikkate alınması amacıyla her bir kriter değerinin ilgili kriterin ağırlığıyla çarpılması gerekir. Kriter  $j$ 'ye ilişkin ağırlık değeri  $w_j$  ( $\sum_{j=1}^n w_j = 1$ ) olmak üzere, ağırlıklı standart karar matrisinin ( $V$ ) her bir elemanı Eşitlik (3)'ün kullanımı yoluyla hesaplanır.

$$v_{ij} = w_j \cdot r_{ij} \quad (3)$$

### 2.1.3 İdeal Çözüm ve Negatif İdeal Çözümün Belirlenmesi

TOPSIS kapsamında kullanılan pozitif ideal çözüm  $A^+ = \{v_1^+, v_2^+, \dots, v_n^+\}$  şeklinde gösterilebilir. Bu çözümde bulunan her bir  $v_j^+$  elemanı ise Eşitlik (4) ile hesaplanır.

$$v_j^+ = \begin{cases} \max_i \{v_{ij}\}, & \text{Kriter } j \text{ kazanç kriteri ise} \\ \min_i \{v_{ij}\}, & \text{Kriter } j \text{ maliyet kriteri ise} \end{cases} \quad (4)$$

Benzer olarak  $A^- = \{v_1^-, v_2^-, \dots, v_n^-\}$  şeklinde gösterilebilecek negatif ideal çözümün elemanları ise Eşitlik (5) kullanılarak belirlenir.

$$v_j^- = \begin{cases} \min_i \{v_{ij}\}, & \text{Kriter } j \text{ kazanç kriteri ise} \\ \max_i \{v_{ij}\}, & \text{Kriter } j \text{ maliyet kriteri ise} \end{cases} \quad (5)$$

### 2.1.4 Mesafelerin Hesaplanması

Her bir alternatifin pozitif ideal çözüme olan mesafesi ( $d_i^+$ ) ve negatif ideal çözüme olan mesafesi ( $d_i^-$ ) hesaplanır. Mesafelerin hesaplanması amacıyla en sık kullanılan yöntemlerden birisi Öklid Yöntemi'dir. Bu yöntemle göre  $d_i^+$  ve  $d_i^-$  değerleri sırasıyla, Eşitlik (6) ve Eşitlik (7) yoluyla hesaplanmaktadır.

$$d_i^+ = \sqrt{\sum_{j=1}^n (v_{ij} - v_j^+)^2} \quad (6)$$

$$d_i^- = \sqrt{\sum_{j=1}^m (v_{ij} - v_j^-)^2} \quad (7)$$

### 2.1.5 İdeal Çözüme Göreceli Yakınlıklar ve Tercih Sırası

Alternatif  $i$ 'in ideal çözüme göreceli yakınlık değerinin ( $C_i$ ) hesaplanmasında Eşitlik (8) kullanılmaktadır. Göreceli yakınlık değeri  $[0, 1]$  aralığında bir değer olup, alternatifin negatif ideal çözüme olan mesafesinin toplam mesafe içerisindeki payını ifade eder.  $C_i = 0$  alternatif  $i$ 'in negatif ideal çözüme mutlak yakın olduğunu,  $C_i = 1$  ise pozitif ideal çözüme mutlak yakın olduğunu gösterir. Bu nedenle, alternatiflerin  $C_i$  değerleri bazında büyükten küçüğe sıralanmasıyla tercih sırası belirlenmiş olur.

$$C_i = \frac{d_i^-}{d_i^- + d_i^+} \quad (8)$$

### 2.2 Analitik Hiyerarşi Prosesi (AHP)

AHP, birden çok kriterin dikkate alınmasını gerektiren karar problemlerinde yaygın olarak kullanılan birçok kriterli karar verme aracıdır. Karar probleminin içerdiği sonlu sayıdaki seçenekleri birden fazla kritere göre değerlendiren ve bu seçenekleri önemleri bazında sıralayan bir tekniktir (Aktepe ve Ersöz, 2014). Yöntem kapsamında niteliksel veya sözel olarak verilen kriterler bile kolay bir şekilde sayısal değerlere çevrilebilmektedir (Bhushan ve Rai, 2004). Bir karar verme problemi için AHP yönteminin uygulanmasına ilişkin altı klasik adım aşağıdaki gibidir (Aktepe ve Ersöz, 2014; Aydın vd., 2009; Bhushan ve Rai, 2004; Yaralıoğlu, 2001):

**1) Problemin Tanımlanması:** Kriterler, alt kriterler ve alternatiflerin belirlenmesi adıdır. Bu kapsamda problem için hiyerarşik yapı da oluşturulur.

**2) Karşılaştırma Matrisinin Oluşturulması:** Belirlenen bir karşılaştırma ölçeğine göre (örneğin Tablo 12'de verilen skala gibi) bütün kriterler birbirleriyle kıyaslanması yoluyla kriter karşılaştırma matrisi oluşturulur.

**3) Kriter Ağırlıklarının Belirlenmesi:** Bu adım kapsamında öncelikle karşılaştırma matrisindeki her bir değer sütun toplamına bölünerek matris normalize edilir. Devamında ise satır elemanlarının ortalaması alınarak kriter ağırlıkları hesaplanır.

**4) Tutarlılığın Ölçülmesi:** Bu adımda, hesaplanan ağırlık vektörü ve karşılaştırma matrisi kullanılarak tutarlılık oranı değeri hesaplanır ve bu değere göre yapılan karşılaştırmanın tutarlılığı analiz edilir.

**5) Kriter Bazında Alternatif Önem Derecelerinin Belirlenmesi:** Kriterler tek tek dikkate alınarak alternatiflerin her bir kriter bazında önem dereceleri ortaya konur.

**6) Alternatiflerin Yüzde Önem Derecelerinin Belirlenmesi:** Bu adımda ise kriterler bazında alternatif önem dereceleri vektörlerinden oluşturulan karar matrisi ve kriter ağırlıkları vektörü kullanılarak alternatiflerin yüzde önem dereceleri hesaplanır.

### 2.3 Atama Problemi ve Macar Algoritması

Atama problemi, toplam maliyeti en küçükleyecek şekilde  $n$  adet farklı kaynağın yine  $n$  adet farklı hedefe atanmasıyla ilgilenen bir kombinatoriyal optimizasyon problemidir. Bu problemde her bir kaynağın arzı ve her bir hedefin talebi birer birim olup, atamada maliyet tek kriter olarak dikkate alınır. Atama probleminin çözümünde kullanılan ve Macar algoritması olarak adlandırılan polinom zamanlı ilk metot Kuhn (1955, 1956) tarafından geliştirilmiştir.

Kaynak ve hedef sayılarının birbirine eşit olmaması durumunda hayali kaynaklar veya hedefler eklenmesi yoluyla atama problemi kolay bir şekilde dengelenir. Kaynak  $i$ 'in hedef  $j$ 'ye atanması durumunda katlanılan maliyet  $c_{ij}$  (model parametresi) ve kaynak  $i$ 'in hedef  $j$ 'ye atanması durumunda değeri 1, diğer durumda değeri sıfır olan ikili karar değişkeni  $x_{ij}$  olarak tanımlansın. Bu durumda  $n$  adet kaynak ve  $n$  adet hedeften oluşan atama probleminin matematiksel formülasyonu aşağıdaki gibi olacaktır (Hillier ve Lieberman, 2001):

$$z_{\min} = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n c_{ij} x_{ij} \quad (9)$$

#### Kısıtlar

$$\sum_{j=1}^n x_{ij} = 1; \quad i \in \{1, 2, \dots, n\} \quad (10)$$

$$\sum_{i=1}^n x_{ij} = 1; \quad j \in \{1, 2, \dots, n\} \quad (11)$$

$$x_{ij} \in \{0,1\}; \quad i \in \{1, 2, \dots, n\}, j \in \{1, 2, \dots, n\} \quad (12)$$

Eşitlik (9), toplam atama maliyetini en küçükleyen amaç fonksiyonunu ifade etmektedir. Eşitlik (10), her bir kaynağın sadece bir hedefe atanması gerektiğini ifade ederken, Eşitlik (11) ise her bir hedefin sadece bir kaynağa atanmasını sağlar. Eşitlik (12) ise tüm karar değişkenlerinin ikili tipte olduğunu göstermektedir.

Dengelenmiş atama probleminin Macar algoritmasıyla çözülebilmesi için öncelikle problemin maliyet matrisi (atama matrisi) oluşturulur. Maliyet matrisinin her bir satırı kaynaklardan birisine ve her bir sütunu da hedeflerden birisine karşılık gelir. Matrisin  $(i, j)$  hücrelerinde ise kaynak  $i$ 'in hedef  $j$ 'ye atanması durumunda katlanılan maliyet olan  $c_{ij}$  değeri yer alır. Bu şekilde hazırlanan maliyet matrisine uygulanan Macar algoritmasının adımları aşağıdaki gibidir (Winston, 1994):

#### **Adım 1: İndirgenmiş Maliyet Matrisinin Oluşturulması**

**Adım 1.1:** Atama matrisinin her bir satırı için en küçük maliyet değerini tespit et. Matrisin her bir elemanından kendi satırı için belirlenen en küçük maliyet değerini çıkartarak yeni bir matris oluştur.

**Adım 1.2:** Yeni matrisi dikkate alarak Adım 1.1'deki işlemlerin aynısını sütunlar için uygula. Bu yolla elde edilen matrise indirgenmiş maliyet matrisi adı verilir.

#### **Adım 2: Atamanın Yapılması**

**Adım 2.1:** İndirgenmiş maliyet matrisinde bulunan bütün sıfır değerlerini kapatmak için ihtiyaç duyulan en az sayıdaki çizgi sayısını (yatay veya düşey) belirle.

**Adım 2.2:** Çizgi sayısı matrisin satır (veya sütun) sayısına eşit ise indirgenmiş maliyet matrisinde bulunan sıfır değerlerini kullanarak optimal atamayı belirle ve dur.

**Adım 2.3:** Çizgi sayısı satır sayısından küçükse Adım 3'e git.

#### **Adım 3: Matrisin Düzenlenmesi**

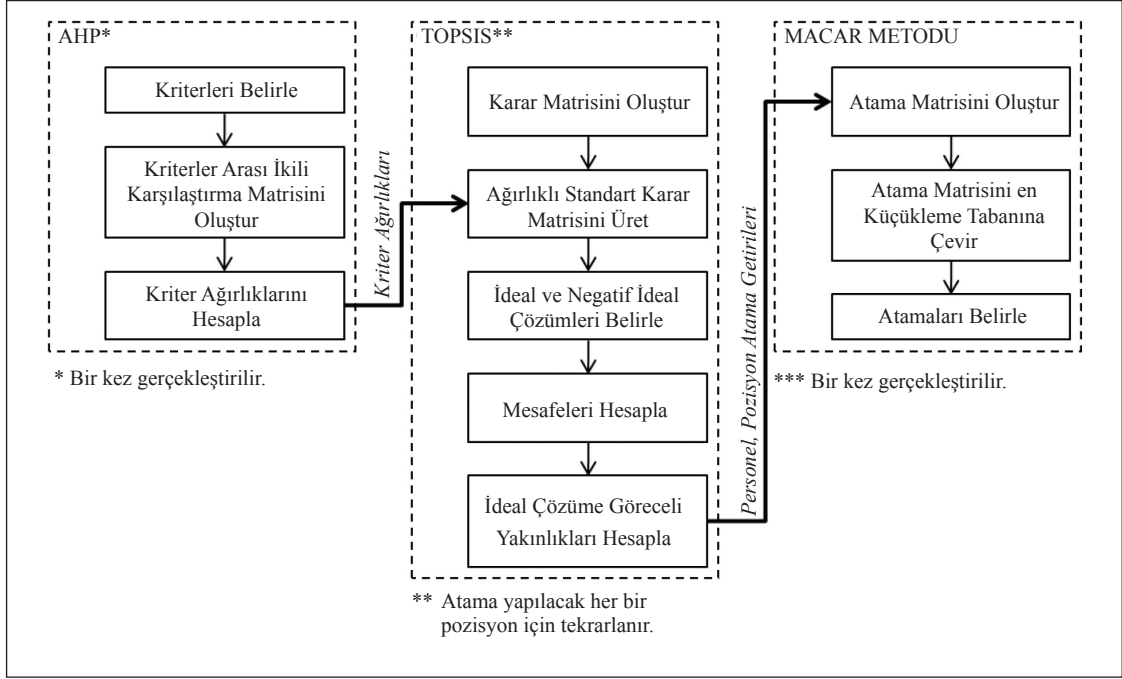
Adım 2'de çizilen çizgilerin kapatmadığı matris elemanlarından en küçüğünü tespit et. Bu değeri çizgilerin kapatmadığı tüm elemanlardan çıkar ve iki çizgi ile kapatılmış elemanlara ekle. Adım 2'ye git.

### **3. ÖNERİLEN ÇÖZÜM YÖNTEMİ**

Personel seçim işleminde işe uygun adayların belirlenmesi ve devamında bu adaylar içerisinde uygunluk açısından en iyi olanının seçilmesi, “işe göre adam” prensibine hizmet eden ve etkinliği artıran bir yaklaşımdır. Buna karşın personel tayin sürecindeki karar problemi personel seçiminden önemli farklılıklar içermektedir. Personel tayininde ataması yapılacak birden fazla sayıda personel ve doldurulacak birden fazla sayıda pozisyon söz konusudur. Her seferinde pozisyonlardan birisini dikkate alarak ilgili pozisyona ataması yapılmamış personellerden en uygununun atanması (pozisyon tabanlı dağıtım), kullanılabilir yaklaşımlardan birisidir. Diğer bir yaklaşım ise (personel tabanlı yaklaşım) her seferinde ataması yapılmamış personellerden birisinin en uygun boş pozisyonlardan birisine atanmasıdır. Her iki yaklaşımda da pozisyon veya personellerin hangi sırada dikkate alınacağı önemli bir problem iken, bundan daha da önemli olanı, bahsedildiği gibi, safha safha çözüme giden bu yaklaşımların genel tayin performansını en iyilemede yetersiz kalabileceğidir. Bunun yanı sıra, personel tayin sürecinde dikkate alınması gereken ve çoğunlukla birbiriyle çelişen çok sayıda kriter söz konusu olabilmektedir. Bu çalışmanın temel amacı, bahsedilen eksiklikleri ortadan kaldıracak bir çözüm metodolojisinin sunulmasıdır.

Önerilen çözüm prosedürüne ilişkin bir gösterim Şekil 2'de verilmiştir. Şekilden de görülebileceği gibi, yöntem üç temel safhadan oluşmaktadır. İlk safhada kriterler belirlenmekte ve Saaty (1980) tarafından geliştirilen AHP yönteminin kısmi olarak kullanılması yoluyla bu kriterlerin ağırlıkları hesaplanmaktadır. İkinci safha ise atama yapılacak her bir pozisyon için TOPSIS sürecini tekrarlamaktadır. Her bir TOPSIS tekrarında her bir personelin dikkate alınan pozisyona atanması durumunda ulaşılan göreceli puanı elde edilmektedir. Macar metodunun kullanıldığı üçüncü safha ise bir kez uygulanmakta ve toplam atama puanı en büyülenecek şekilde personeller pozisyonlara yerleştirilmektedir. Atama problemi en küçükleme tabanlı bir problem olduğundan, en büyükleme hedefine sahip başlangıç atama matrisinde bulunan bütün atama puanları -1 ile çarpılarak problem en küçüklemeye çevrilmiştir.





Şekil 2. Önerilen Çözüm Yöntemi

Atama matrisi kare matris değilse, yeterli sayıda hayali personel veya pozisyon eklenmesi yoluyla kare matrise çevrilir. Eklenen hayali satır veya sütunlara ilişkin atama maliyetleri sıfır alınır.

#### 4. UYGULAMA

Çalışmanın bu bölümünde, hem ülkemizde hem de dünyada bulunan diğer birçok ülkede faaliyet gösteren uluslararası bir firmanın personel tayin problemine çözüm bulunması amaçlanmıştır.

##### 4.1 Kriterlerin Belirlenmesi (Safha I)

Çözüm sürecinde dikkate alınacak kriterlerin belirlenmesi amacıyla, firmanın insan kaynakları bölümünde çalışan ve tayin işlemiyle ilgilenen personeller ve diğer bölümlerinde çalışan yöneticileri kapsayan bir anket çalışması yapılmıştır. Anket çalışması sonucunda tayin işleminde kullanılması gereken 8 adet kriterin olduğu belirlenmiştir. Bu kriterler ve açıklamaları aşağıdaki gibidir. Kriterlere ilişkin puanlama skalaları insan kaynakları bölümü tarafından oluşturulmuştur.

**K1: Tercih Durumu:** Atanması öngörülen personel 5 tercih yapmaktadır. Atanmak istediği en öncelikli açık

Tablo 1. Tercih Durumu Kriteri

Personel Tercih Sırası	Puan
1. Tercih	10
2. Tercih	8
3. Tercih	6
4. Tercih	4
5. Tercih	2

(veya açılacak) pozisyona 1 yazmakta ve sonraki tercihlerini 2, 3, 4 ve 5 şeklinde belirtmektedir. Personelin tercihinine göre puanlaması Tablo 1’de gösterilmiştir.

**K2: Hizmet Süresi:** Atanması öngörülen personelin firmada çalışmış olduğu toplam süreyi (yıl) belirtir. Personelin firmada geçirmiş olduğu hizmet süresinin puanlaması Tablo 2’de gösterilmiştir.

Tablo 2. Hizmet Süresi

Hizmet Süresi	Puan
0-4 Yıl	2
5-9 Yıl	4
10-14 Yıl	6
15-19 Yıl	8
20 ve üzeri Yıl	10

**K3: Önceki Yurtdışı Görev Süresi:** Bu kriter kapsamında atanması öngörülen personelin yurtdışında çalıştığı sürenin personel kalifikasyonuna sağlayacağı pozitif katkıdan dolayı önceki yurtdışı pozisyonlardaki görev süresi (yıl) dikkate alınır. Personelin yapmış olduğu önceki yurtdışı görev sürelerinin puanlaması Tablo 3'te gösterilmiştir.

**Tablo 3.** Önceki Yurtdışı Görev Süresi

Önceki Yurtdışı Görev Süresi	Puan
0-4 Yıl	2
5-9 Yıl	4
10-14 Yıl	6
15-19 Yıl	8
20 ve Üzeri Yıl	10

**K4: Dil Yeterliliği:** Atanması öngörülen personelin ilgili pozisyonun bulunduğu ülkenin dilini bilip bilmediğini belirtir. Kurum yabancı dil bilgisi seviyesini; Ölçme, Seçme ve Yerleştirme Merkezi Başkanlığı'nın (ÖSYM) yapmış olduğu yabancı dil sınavları ve eşdeğer kabul ettiği sınavların sonuçları olarak dikkate almaktadır. Personelin ilgili pozisyona ilişkin yerel dil için yabancı dil sınavlarında almış olduğu notların puanlaması Tablo 4'te gösterilmiştir.

**Tablo 4.** Yerel Dil İçin Personel Dil Seviyesi

Yabancı Dil Sınav Notu	Puan
0 – 59 Arasındaki Puanlar	2
60 – 69 Arasındaki Puanlar	4
70 – 79 Arasındaki Puanlar	6
80 – 89 Arasındaki Puanlar	8
90 – 100 Arasındaki Puanlar	10

İngilizce dünya genelinde önemli ölçüde geçerli bir dil olduğu için, İngilizce seviyesi de yerel dilin yanı sıra dil değerlendirmesinde dikkate alınmaktadır. Personele ilişkin nihai dil yeterliliği puanı yerel dil puanı ile İngilizce dil puanının maksimumu şeklinde belirlenmektedir. Personelin İngilizce dili için yabancı dil sınavlarında almış olduğu notların puanlaması Tablo 5'te verilmiştir.

**K5: Ortalama Performans Notu:** Firmanın yürütmekte olduğu hizmetlerin özellikleri göz önünde

**Tablo 5.** İngilizce Dili İçin Personel Dil Seviyesi

Yabancı Dil Sınav Notu	Puan
0 – 59 Arasındaki Puanlar	1
60 – 69 Arasındaki Puanlar	2
70 – 79 Arasındaki Puanlar	3
80 – 89 Arasındaki Puanlar	4
90 – 100 Arasındaki Puanlar	5

bulundurularak personelin başarı, verimlilik ve gayreti her yıl amirleri tarafından değerlendirilmektedir. Tayin işlemlerinde son 5 yıllık performans ortalamasının esas alınması ve doğrudan kullanılması uygun bulunmuştur. Amiri tarafından personele bulunduğu yıl içerisinde performansına ilişkin olarak Tablo 6'da yer alan 10 değerlendirme maddesine 1 ile 10 arasında bir değerlendirme notu verilmekte, daha sonra bütün maddelerden aldığı notlar toplanarak personelin 100 üzerinden performans notu elde edilmektedir.

**K6: Uzmanlık Alanı:** Personelin ileri teknik ya da beceriye sahip olduğu konuları gösterir. Firma, bölgesel ve yönetsel olmak üzere iki farklı uzmanlık grubuna (türüne) sahiptir. Bu gruplarda bulunan uzmanlıklar Tablo 7'de sunulmuştur. Personelin uzmanlık alanında bir pozisyona atanması esastır. Ancak, hizmetin gereği olarak zaman zaman uzmanlık alanı dışına da atanabilmektedir. Uzman olarak geçirmiş olduğu sürenin puanlaması Tablo 8'de gösterilmiştir.

**K7: Lisansüstü Eğitim:** Firma, personelin mevcut birikim ve yeteneklerinin geliştirilmesi adına yapılan akademik çalışmalar ve lisansüstü eğitimi desteklemektedir. Buna karşın, lisansüstü eğitim kapsamında sadece yüksek lisans eğitimini dikkate almayı istemektedir. Yüksek lisans durumunun puanlaması Tablo 9'da gösterilmiştir.

**K8: Geçerli Talep:** Tayin döneminden önce personel tarafından firmaya iletilen atamaya ilişkin talepler firma tarafından analiz edilerek personelin tercih ettiği her bir pozisyon için öncelik derecesi belirlenir. Öncelik derecesinin belirlenmesinde kullanılan gerekçeler Tablo 10'da verilmiştir. Talep, değerlendirme sonucuna göre 5

**Tablo 6.** Personel Performans Değerlendirme Tablosu

Performans Kriteri		Mükemmel (10)	Çok İyi (8)	İyi (6)	Orta (4)	Zayıf (2)
1	Mesleki bilgisi ve kendini geliştirme					
2	Yabancı dil seviyesi					
3	Temsil yeteneği ve dış görünüm ve intizam					
4	Liderlik vasfı ve karar verebilme yeteneği					
5	Genel kültür düzeyi					
6	Sorumluluk alma ve iş verimliliği					
7	Güvenilirlik ve sadakat					
8	Grup çalışmasında uyumu					
9	İletişim ve kendini ifade edebilme yeteneği					
10	Sorun çözme ve görevi sonuçlandırma becerisi					

**Tablo 7.** Uzmanlık Alanları

Uzmanlık Türü	Uzmanlık Alanı
Bölgesel Uzmanlıklar	AU: Avrupa Uzmanlığı
	GAU: Güney Amerika Uzmanlığı
	KAU: Kuzey Amerika Uzmanlığı
	OU: Ortadoğu Uzmanlığı
	UU: Uzakdoğu Uzmanlığı
	ASU: Asya Uzmanlığı
	PAU: Pasifik Uzmanlığı
Yönetimsel Uzmanlıklar	BU: Bilişim Uzmanlığı
	HU: Hukuk Uzmanlığı
	İKU: İnsan Kaynakları Uzmanlığı
	PU: Pazarlama Uzmanlığı
	SU: Satın Alma Uzmanlığı
	BEU: Basın Ve Enformasyon Uzmanlığı
	AR-GE U: AR-GE Uzmanlığı
	SÇU: Su ve Çevre Uzmanlığı
	EU: Enerji Uzmanlığı

**Tablo 8.** Uzmanlıkta Geçirilen Süre

Hizmet Süresi	Uzmanlık Alanındaki Puanı	Uzmanlık Alanı Dışındaki Puanı
0-4 Yıl	6	1
5-9 Yıl	7	2
10-14 Yıl	8	3
15-19 Yıl	9	4
20 ve Üzeri Yıl	10	5

**Tablo 9.** Yüksek Lisans Eğitimi

Yüksek Lisans Durumu	Puan
Var	10
Devam Ediyor	4
Yok	0

kategoride derecelendirilmekte, yani önceliklendirilmektedir. Öncelik skoruna göre talep türlerinin puanlaması Tablo 11’de sunulmuştur.

#### 4.2 Kriter Ağırlıklarının Tespit Edilmesi (Safha I)

Tayin sürecinde kullanılacak kriterler ve puanlamaları belirlendikten sonra aynı çalışanlara kriter ağırlıkları

**Tablo 10.** Talep Derecelerinin Değerlendirilmesinde Kullanılan Kriterler

Talep Türü	Gerekeçe
Eğitim	Kendi, Bakmakla Yükümlü Olunan Kişi
Sağlık	Kendi, Bakmakla Yükümlü Olunan Kişi
Ailevi	Evlilik, Boşanma, Doğum
Vefat	Bakmakla Yükümlü Olunan Kişi
Askerlik	Kendi
Ücretli/ücretsiz izin	Kendi
Diğer	Kendi, Bakmakla Yükümlü Olunan Kişi

**Tablo 11.** Talep Öncelik Derecelerinin Puanlaması

Talep Öncelik Derecesi	Puan
Birinci Derece Öncelikli Talep	10
İkinci Derece Öncelikli Talep	8
Üçüncü Derece Öncelikli Talep	6
Dördüncü Derece Öncelikli Talep	4
Beşinci Derece Öncelikli Talep	2

**Tablo 12.** Kriter Karşılaştırmasında Kullanılan Önem Skalası (Saaty, 1990)

Açıklama	Önem Değeri
Her İki Faktörün Eşit Öneme Sahip Olması Durumu	1
1. Faktörün 2. Faktörden Daha Önemli Olması Durumu	3
1. Faktörün 2. Faktörden Çok Önemli Olması Durumu	5
1. Faktörün 2. Faktöre Nazaran Çok Güçlü Bir Öneme Sahip Olması Durumu	7
1. Faktörün 2. Faktöre Nazaran Mutlak Üstün Bir Öneme Sahip Olması Durumu	9
Ara Değerler	2, 4, 6, 8

**Tablo 13.** Kriter Ağırlıkları

Kriter ( $i$ )	Ağırlık ( $w_i$ )
K1: Tercih Durumu	0,1331
K2: Hizmet Süresi	0,1424
K3: Önceki Yurtdışı Görevleri	0,0712
K4: Dil Yeterliliği	0,1269
K5: Performans Değerlendirme Notu	0,1827
K6: Uzmanlık Alanı	0,1362
K7: Lisansüstü Eğitim	0,0712
K8: Geçerli Talep	0,1363

rının belirlenmesi amacıyla yeni bir anket uygulanmıştır. Anket kapsamında, her bir çalışan kriterlere ilişkin ikili karşılaştırma matrisini doldurmuştur. Kriterlere ilişkin karşılaştırma işlemlerinde kullanılan önem skalası Tablo 12’de sunulmuştur. Personeller tarafından doldurulan ikili karşılaştırma matrislerinin değerlendirilmesi yoluyla kriterlere ilişkin ağırlıklar Tablo 13’te verildiği şekilde belirlenmiştir.

### 4.3 Atama Puanlarının Hesaplanması (Safha II)

Uygulama kapsamında dikkate alınan personel ve açık pozisyon sayıları çok daha fazla olmasına karşın, bu çalışma kapsamında örnek oluşturması amacıyla ilgili problemin küçültülmüş bir hali (5 adet personel ve 3 adet açık pozisyon) sunulmuştur. Açık pozisyonlara ilişkin bilgiler Tablo 14’te verilmiştir. Dikkat edilirse, personellere ilişkin K2, K3, K4, K5, K6 ve K7 kriter değerleri personel bazlıdır ve her bir açık pozisyon için bu değerler aynıdır. Buna karşın, bir personelin K1 ve K8 kriter değerleri her bir açık pozisyon bazında birbirinden farklı olabilmektedir. Bu nedenle, değeri değişmeyen kriterler Tablo 15’te verilen personel listesinde, değişenler

ise Tablo 16’da verilen açık pozisyonlara ilişkin listede sunulmuştur. Örnek problem büyük boyutlu gerçek hayat probleminin küçük bir parçası olduğu için personel tercih sıralamaları değiştirilmemiştir.

### Karar Matrisinin Oluşturulması

Safha II kapsamında, TOPSIS algoritması her bir açık pozisyon için birer kez uygulanarak personellerin açık pozisyonlar bazında atama puanları (göreceli yakınlıkları) hesaplanmaktadır. Bu bölüm kapsamında sadece açık pozisyon 1 için atama puanları hesaplanacaktır. Daha önce ifade edilen kriterler ve puanlama skalalarına uygun şekilde açık pozisyon 1 için oluşturulan karar matrisi Tablo 17’de sunulmuştur.

### Ağırlıklı Standart Karar Matrisi

Öncelikle, sütunlardaki her değer ilgili sütundaki değerlerin kareleri toplamının kareköküne bölünmesiyle standart karar matrisi elde edilmiştir. Daha sonra, standart karar matrisi elemanları ilgili kriter ağırlıklarıyla çarpılarak Tablo 18’de sunulan ağırlıklı standart karar matrisi elde edilmiştir. Ağırlıklı standart karar matrisi

**Tablo 14.** Açık Pozisyonlara İlişkin Bilgiler

Açık Pozisyon	Bölge	Konuşulan Dil	İhtiyaç Duyulan Uzmanlık Alanı	İhtiyaç Duyulan Personel Sayısı
T1	Afrika	Fransızca	EU	1
T2	Avrupa	İngilizce	İKU	1
T3	Güney Amerika	İspanyolca	GAU	1

**Tablo 15.** Personel Sabit Kriter Bilgileri

Personel	K2	K3	K4	K5	K6	K7
P1	14 Yıl	8 Yıl	İngilizce (85) Fransızca (70)	97	11 Yıl (GAU)	Var
P2	5 Yıl	3 Yıl	İspanyolca (90) Portekizce (75)	89	2 Yıl (SÇU)	Devam Ediyor
P3	23 Yıl	15 Yıl	İngilizce (85) Arapça (60)	76	18 Yıl (BEU)	Var
P4	32 Yıl	21 Yıl	Almanca (95) İngilizce (65)	100	25 Yıl (EU)	Yok
P5	10 Yıl	6 Yıl	Portekizce (60) İngilizce (52)	82	8 Yıl (İKU)	Devam Ediyor

**Tablo 16.** Açık Pozisyonlara Bağlı Personel Bilgileri

Personel	Açık Pozisyon 1		Açık Pozisyon 2		Açık Pozisyon 1	
	K1	K8	K1	K8	K1	K8
P1	5. Tercih	Dördüncü Derece Öncelikli Talep	2. Tercih	Birinci Derece Öncelikli Talep	1. Tercih	Birinci Derece Öncelikli Talep
P2	3. Tercih	İkinci Derece Öncelikli Talep	1. Tercih	İkinci Derece Öncelikli Talep	5. Tercih	Beşinci Derece Öncelikli Talep
P3	1. Tercih	Birinci Derece Öncelikli Talep	4. Tercih	Beşinci Derece Öncelikli Talep	3. Tercih	İkinci Derece Öncelikli Talep
P4	4. Tercih	Beşinci Derece Öncelikli Talep	5. Tercih	Dördüncü Derece Öncelikli Talep	2. Tercih	Üçüncü Derece Öncelikli Talep
P5	2. Tercih	Üçüncü Derece Öncelikli Talep	3. Tercih	Üçüncü Derece Öncelikli Talep	4. Tercih	Dördüncü Derece Öncelikli Talep

**Tablo 17.** Açık Pozisyon 1 İçin Karar Matrisi

	K1	K2	K3	K4	K5	K6	K7	K8
P1	2	6	4	6	97	3	10	4
P2	6	4	2	0	89	1	4	8
P3	10	10	8	4	76	4	10	10
P4	4	10	10	2	100	10	0	2
P5	8	6	4	1	82	2	4	6

**Tablo 18.** Açık Pozisyon 1 İçin Ağırlıklı Standart Karar Matrisi

	K1	K2	K3	K4	K5	K6	K7	K8
P1	0,0179	0,0503	0,0201	0,1008	0,0888	0,0358	0,0467	0,0368
P2	0,0538	0,0336	0,0101	0,0000	0,0815	0,0119	0,0187	0,0735
P3	0,0897	0,0839	0,0403	0,0672	0,0696	0,0478	0,0467	0,0919
P4	0,0359	0,0839	0,0503	0,0336	0,0915	0,1195	0,0000	0,0184
P5	0,0718	0,0503	0,0201	0,0168	0,0751	0,0239	0,0187	0,0551

ondalık haneden sonra dört haneye yuvarlanarak sunulmuştur.

### İdeal ve Negatif İdeal Çözümler

Uygulama kapsamında dikkate alınan bütün kriter-

ler kazanç kriteri şeklinde ortaya çıkmıştır. Bu nedenle ideal çözüm, ilgili kriter bazında personellerin ağırlıklı standart karar matrisi değerlerinin en büyüğü, negatif ideal çözüm ise en küçüğü olacak şekilde belirlenmiştir. Pozitif ve negatif ideal çözümler Tablo 19’da verilmiştir.

**Tablo 19.** Açık Pozisyon 1 İçin İdeal ve Negatif İdeal Çözümler

	K1	K2	K3	K4	K5	K6	K7	K8
<b>İdeal Çözüm</b>	0,0897	0,0839	0,0503	0,1008	0,0915	0,1195	0,0467	0,0919
<b>Negatif İdeal Çözüm</b>	0,0179	0,0336	0,0101	0,0000	0,0696	0,0119	0,0000	0,0184

**Mesafeler ve İdeal Çözüme Göreceli Yakınlıklar**

İdeal ve negatif ideal çözümler dikkate alınarak her bir personel için öncelikle, bu çözümlere olan mesafeler hesaplanmıştır. Daha sonra, bu mesafeler kullanılarak personellerin ideal çözüme olan göreceli yakınlıkları elde edilmiştir. Belirtilen hesaplama sonuçları Tablo 20’de sunulmuştur.

şekilde gerçekleştirilmiştir. Atama problemi temelinde en küçükleme amacına sahip olduğu için atama puanları (-1) ile çarpılmıştır. Aynı zamanda, atama probleminin dengelenmesi amacıyla, puanları sıfır olan iki farklı hayali açık pozisyon atama matrisine eklenmiştir. Bu işlemler sonucunda oluşturulan atama problemine ilişkin atama matrisi Tablo 22’de sunulmuştur.

**Tablo 20.** Açık Pozisyon 1 İçin Mesafeler ve İdeal Çözüme Olan Göreceli Yakınlık Değerleri

	<b>Pozitif İdeal Çözüme Mesafe</b> ( $d_i^+$ )	<b>Negatif İdeal Çözüme Mesafe</b> ( $d_i^-$ )	<b>İdeal Çözüme Göreceli Yakınlık</b>
P1	0,1313	0,1184	0,4742
P2	0,1685	0,0694	0,2918
P3	0,0828	0,1483	0,6418
P4	0,1225	0,1329	0,5203
P5	0,1448	0,0737	0,3374

Açık pozisyon 1 için gerçekleştirilen göreceli yakınlık hesaplaması açık pozisyon 2 ve açık pozisyon 3 için de TOPSIS adımları tekrarlanarak gerçekleştirilmiştir. Atanması öngörülen tüm personellerin açık pozisyonlara olan göreceli yakınlık hesaplama sonuçları (atama puanları) Tablo 21’de sunulmuştur.

Macar metodunun uygulanmasına ilişkin tüm adımlar Şekil 3’te gösterilmiştir. Atama probleminin çözümü sonucu hesaplanan puanlar çerçevesinde en iyi atamanın şu şekilde gerçekleştirildiği görülebilir. Personel 1 açık pozisyon 3’e, Personel 3 açık pozisyon 1’e ve Personel 5’te açık pozisyon 2’ye atanmıştır. Personel 2 ve Perso-

**Tablo 21.** Personellerin Açık Pozisyonlara Olan Göreceli Yakınlık Değerleri

	<b>Açık Pozisyon 1</b>	<b>Açık Pozisyon 2</b>	<b>Açık Pozisyon 3</b>
<b>P1</b>	0,4742	0,5291	0,6559
<b>P2</b>	0,2918	0,4346	0,3931
<b>P3</b>	0,6418	0,5405	0,5394
<b>P4</b>	0,5203	0,4743	0,4879
<b>P5</b>	0,3374	0,5326	0,2027

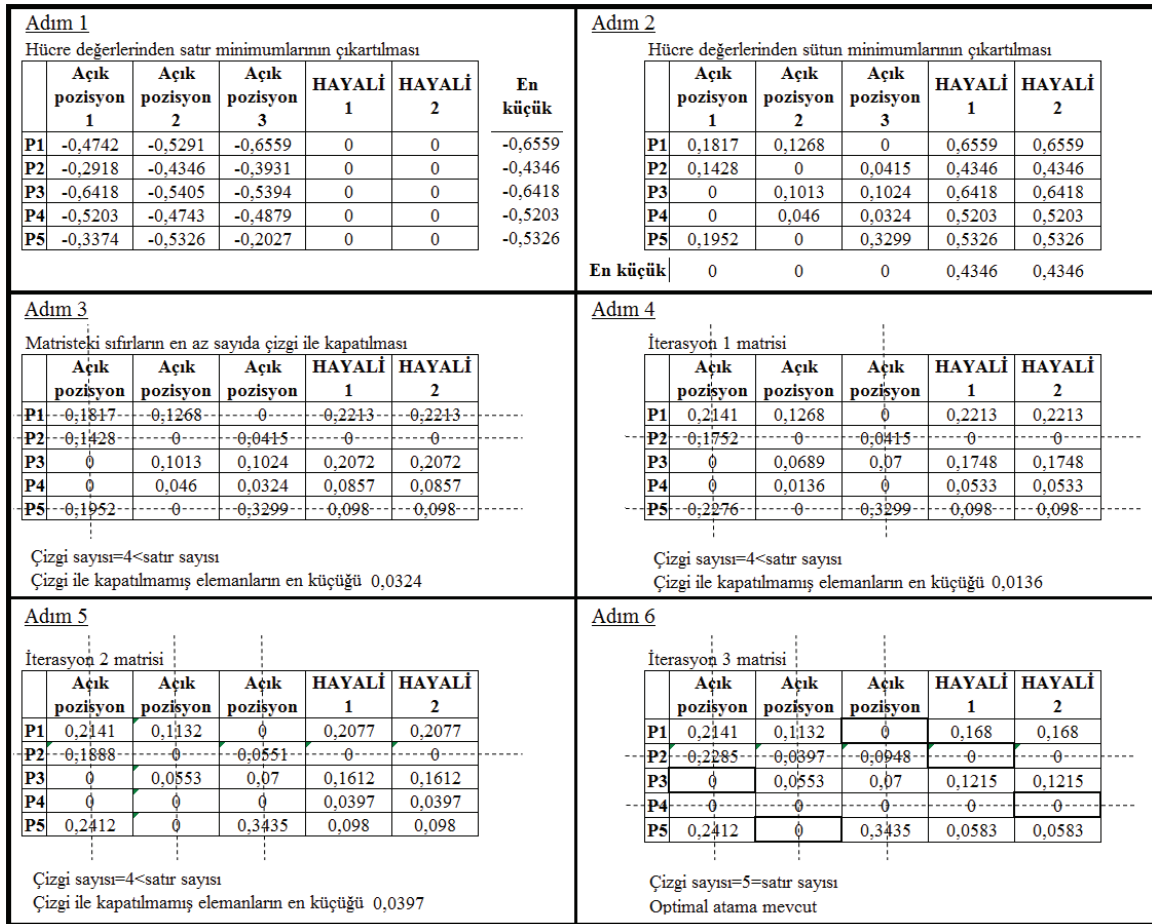
**4.4 Atamanın Gerçekleştirilmesi (Safha III)**

TOPSIS yöntemiyle atama puanları hesaplanan 5 personelin 3 açık pozisyona atama işlemi, Macar metodunun kullanımı yoluyla toplam atama puanı en büyüklenecek

nel 4 hayali pozisyonlara atandıkları için tayin talepleri karşılanamamış olacaktır. Ulaşılan atama kapsamında toplam atama puanı 1,8303 (0,6559+0,6418+0,5326) şeklinde en büyüklenecektir.

**Tablo 22.** Safha III İçin Atama Matrisi

	Açık Pozisyon 1	Açık Pozisyon 2	Açık Pozisyon 3	Hayali 1	Hayali 2
P1	-0,4742	-0,5291	-0,6559	0	0
P2	-0,2918	-0,4346	-0,3931	0	0
P3	-0,6418	-0,5405	-0,5394	0	0
P4	-0,5203	-0,4743	-0,4879	0	0
P5	-0,3374	-0,5326	-0,2027	0	0



**Şekil 3.** Atama Probleminin Çözümü

## 5. DEĞERLENDİRME, SONUÇ VE ÖNERİLER

Personel tayini ve bu kapsamda gerçekleştirilen atamalar gerek kurumların personellerine karşı sorumluluğunu yerine getirmesi gerekse de ataması gerçekleştirilen personellerin memnun edilmesi yoluyla verimliliğin

arttırılması açısından oldukça önemli bir konudur. Kurumların personel tayin işleminde mümkün olduğunca objektif davranması, atama sonuçlarının kuşkuya yer vermeyecek şekilde ataması gerçekleştirilen personeller



tarafından onaylanması ve tayin işleminde kullanılan yöntemin personeller tarafından bilinmesi ve desteklenmesi gerekmektedir. Bu yapı ise atama işleminde bilimsel yöntemlerin kullanılmasıyla sağlanabilir.

Bu çalışma kapsamında, ülkemizde faaliyet göstermekte olan uluslararası bir firmanın personel tayin problemi ele alınmıştır. Hâlihazırda firma herhangi bir bilimsel tabanı olmayan, sezgiler ve tecrübeyle kararların verildiği bir personel tayin yöntemine sahiptir. Bu nedenle, firma kapsamında yönetim kurulunun idari tasarrufu çok geniş olup, buna karşın, personelin tayin kararlarına ilişkin bilgisi de oldukça sınırlıdır. Firma için önerilen çözüm yöntemi çok amaçlı karar verme metodlarından birisi olan TOPSIS algoritması ve atama problemlerinin optimal çözümünün bulunmasında kullanılan Macar algoritması temeline dayanmaktadır. Önerilen yöntem, personel tayin talepleri ve açık pozisyonların internet ortamında girildiği ve tayin kararlarının alındığı bir yazılım kapsamında karar destek modeli olarak kullanılabilir. Aynı/benzer metodoloji büyük boyutlu özel sektör kuruluşlarının yanı sıra (bankalar vb.), Milli Eğitim Bakanlığı, Sağlık Bakanlığı, Gıda Tarım ve Hayvancılık Bakanlığı gibi kamu kurumlarında gerçekleştirilen tayin işlemlerinde de kullanılabilir.

## TEŞEKKÜR

Yazarlar, makalenin gerek içerik gerekse de sunumuna çok değerli katkılar sağlayan yayın hakemlerine çok teşekkür ederler.

## KAYNAKÇA

1. **Akkaya, G. C.** 2004. "Finansal Rasyolar Yardımıyla Havayolları İşletmelerinin Performanslarının Değerlendirilmesi," Dokuz Eylül Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi, sayı 19, 15-29.
2. **Aktepe, A., Ersöz, S.** 2014. "AHP-VIKOR ve MOORA Yöntemlerinin Depo Yeri Seçim Prbleminde Uygulanması," Endüstri Mühendisliği Dergisi, cilt 25 (1-2), s. 2-15.
3. **Amiri, M., Zandieh, M., Vahdani, B., Soltani, R., Roshanaei, V.** 2010. "An Integrated Eigenvector-DEA-TOPSIS Methodology for Portfolio Risk Evaluation in the FOREX Spot Market," Expert Systems with Applications, vol. 37, p. 509-516.
4. **Aydın, Ö., Akçalı, E., Öznehir, S.** 2009. "Ankara İçin Optimal Hastane Yeri Seçiminin Analitik Hiyerarşi Süreci ile Modellenmesi," Süleyman Demirel Üniversitesi, İ.İ.B.F Dergisi, cilt 14 (2), s. 69-86.
5. **Benitez, J. M., Martin, J. C., Roman, C.** 2007. "Using Fuzzy Number for Measuring Quality of Fervice in the Hotel Industry," Tourism Management, vol. 28, p. 544-555.
6. **Bhushan, N., Rai, K.** 2004. Strategic Decision Making. Applying the Analytic Hierarchy Process, Springer-Verlag, Londra.
7. **Bülbül, S., Köse, A.** 2009. "Türk Gıda Şirketlerinin Finansal Performansının Çok Amaçlı Karar Verme Yöntemleriyle Değerlendirilmesi," Atatürk Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi Dergisi, 10. Ekonometri ve İstatistik Sempozyumu Özel Sayısı, s. 1-23.
8. **Chen, C.** 2000. "Extensions of the TOPSIS for Group Decision-Making under Fuzzy Environment," Fuzzy Sets and Systems, vol. 114, p. 1-9.
9. **Chu, T. C.** 2002. "Facility Location Selection Using Fuzzy TOPSIS under Group Decisions," International Journal of Uncertainty, Fuzziness and Knowledge-Based Systems, vol. 10, p. 687-701.
10. **Çalışkan, H., Kurşuncu, B., Kurbanoglu, C., Güven, Ş. Y.** 2012. "TOPSIS Metodu Kullanılarak Kesici Takım Malzemesi Seçimi," Makine Teknolojileri Elektronik Dergisi, sayı 9, s. 35-42.
11. **Dashti, Z., Pedram, M. M., Shanbehzadeh, J.** 2010. "A Multi-Criteria Decision Making Based Method for Ranking Sequential Patterns," Proceedings of the International Multi Conference of Engineers and Computer Scientists, vol. 1, p. 611-614.
12. **Dell'Amico, M., Martello, S.** 1997. "The k-Cardinality Assignment Problem," Discrete Applied Mathematics, vol. 76, p. 103-121.
13. **Demireli, E.** 2010. "TOPSIS Çok Kriterli Karar Verme Sistemi: Türkiye'de Kamu Bankaları Üzerine Bir Uygulama," Girişimcilik ve Kalkınma Dergisi, sayı 5, s. 101-112.
14. **Deng, H., Yeh, C. H., Willis, R. J.** 2000. "Inter-Company Comparison Using Modified TOPSIS with Objective Weights," Computers and Operations Research, vol. 27, p. 963-974.

15. **Duin, C. W., Volgenant, A.** 1991. "Minimum Deviation and Balanced Optimization: A Unified Approach," *Operations Research Letters*, vol. 10 (1), p. 43–48.
16. **Dumanoğlu, S., Ergül, N.** 2010. "İMKB'de İşlem Gören Teknoloji Şirketlerinin Mali Performans Ölçümü," *Muhasebe ve Finansman Dergisi*, sayı 48, s. 101-110.
17. **Dursun, M., Karsak, E. E.** 2010. "A Fuzzy MCDM Approach for Personnel Selection," *Expert Systems with Applications*, vol. 37, p. 4324-4330.
18. **Eleren, A., Ersoy, M.** 2007. "Mermer Blok Kesim Yöntemlerinin Bulanık TOPSIS Yöntemiyle Değerlendirilmesi," *Madencilik*, sayı 46, s. 9–22.
19. **Erdoğan, İ.** 1991. *İşletmelerde Personel Seçimi ve Başarı Değerleme Teknikleri*, İ. Ü. İşletme Fakültesi Yayın No 248, İstanbul.
20. **Erdoğan, E.** 2013. "İnsan Kaynakları Yönetiminde Personel Seçimi ve Psikoteknik Testlerin Önemi," *Yüksek Lisans Tezi, Atılım Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü İşletme Yönetimi A.B.D.*, Ankara.
21. **Ertuğrul, İ., Karakaşoğlu, N.** 2009. "Performance Evaluation of Turkish Cement Firms with Fuzzy Analytic Hierarchy Process and TOPSIS Methods," *Expert Systems with Applications*, vol. 36, p. 702-715.
22. **Feng, C. M., Wang, R. T.** 2001. "Considering the Financial Ratios on the Performance Evaluation of Highway Bus Industry," *Transport Reviews: A Transnational Transdisciplinary Journal*, vol. 21, p. 449-467.
23. **Felek, S., Yuluğkural, Y., Aladağ, Z.** 2007. "Mobil İletişim Sektöründe Pazar Paylaşımının Tahmininde AHP ve ANPYöntemlerinin Kıyaslanması," *Makine Mühendisleri Odası, Endüstri Mühendisliği Dergisi*, cilt 18 (1), s. 6-22.
24. **Geetha, S., Nair, K. P. K.** 1993. "A Variation of the Assignment Problem," *European Journal of Operational Research*, vol. 68 (3), p. 422–426.
25. **Gross, O.** 1960. *The Bottleneck Assignment Problem: An Algorithm*, In: *Proceedings of the RAND Symposium on Mathematical Programming*, Rand Publication R-351, p. 87–88.
26. **Hillier, F. S., Lieberman, G. J.** 2001. *Introduction to Operations Research*, McGraw-Hill, Pennsylvania.
27. **Huang, D. K., Chui, H. N., Rey, R. H., Chang, J. H.** 2009. "A Fuzzy Multi-Criteria Decision Making Approach for Solving a Bi-Objective Personnel Assignment Problem," *Computers and Industrial Engineering*, vol. 56, p. 1-10.
28. **Hwang, C. L., Yoon, K.** 1981. *Multiple Attribute Decision Making: Methods and Applications*, Springer-Verlag, New York.
29. **Kaya, İ., Kılınç, M. S., Çevikcan, E.** 2007. "Makine ve Teçhizat Seçim Probleminde Bulanık Karar Verme Süreci," *Mühendis ve Makina*, sayı 49, s. 8–14.
30. **Kelemenis, A., Askounis, D.** 2010. "A New TOPSIS-Based Multi-Criteria Approach to Personnel Selection," *Expert Systems with Applications*, vol. 37, p. 4999-5008.
31. **Kelemenis, A., Ergazakis, K., Askounis, D.** 2011. "Support Managers' Selection Using an Extension of Fuzzy TOPSIS," *Expert Systems with Applications*, vol. 38, p. 2774-2782.
32. **Kuhn, H. W.** 1955. "The Hungarian Method for the Assignment Problem," *Naval Research Logistics Quarterly*, vol. 2, p. 83-97.
33. **Kuhn, H. W.** 1956. "Variants of the Hungarian Method for the Assignment Problem," *Naval Research Logistics Quarterly*, vol. 3, p. 253-258.
34. **Lai, Y. J., Liu, T. Y., Hwang, C. L.** 1994. "TOPSIS for MODM," *European Journal of Operational Research*, vol. 76, p. 486-500.
35. **Lin, M. C., Wang, C. C., Chen, M. S., Chang, A. C.** 2008. "Using AHP and TOPSIS Approaches in Customer-Driven Product Design Process," *Computers in Industry*, vol. 59, p. 17-31.
36. **Madumjar, A., Sarkar, B., Madumjar, P. K.** 2005. "Determination of Quality Value of Cotton Fibre Using Hybrid AHP-TOPSIS Method of Multi-Criteria Decision-Making," *Journal of the Textile Institute*, vol. 96, p. 303-309.
37. **Mahdavi, I., Mahdavi-Amiri, N., Heidarzade, A., Nourifar, R.** 2008. "Designing a Model of Fuzzy TOPSIS in Multiple Criteria Decision Making," *Applied Mathematics and Computation*, vol. 206, p. 607-617.
38. **Manabendra, N. P., Koushiki, C.** 2009. "Exploring the Dimensionality of Service Quality: An Application of TOPSIS in the Indian Banking Industry," *Asia-Pacific Journal of Operational Research*, vol. 26, p. 115-133.
39. **Olson, D. L.** 2004. "Comparison of Weights in TOPSIS Models," *Mathematical and Computer Modelling*, vol. 40, p. 721–727.
40. **Pérez, L. A., Martínez, E. Y. V., Martínez, J. H.** 2012. "A New Fuzzy TOPSIS Approach to Personnel Selection

- with Veto Threshold and Majority Voting Rule,” 11th Mexican International Conference on Artificial Intelligence, October 27-November 4, MICAI 2012 6389593, p. 105-110.
41. **Rehman, A. U., Al-Ahmari, A.** 2013. “Assessment of Alternative Industrial Robots Using AHP and TOPSIS,” *International Journal of Industrial and Systems Engineering*, vol. 15, p. 475-489.
  42. **Saaty, T. L.** 1980. *The Analytic Hierarchy Process*, McGrawHill, New York.
  43. **Saaty, T. L.** 1990. “How to Make a Decision: The Analytic Hierarchy Process,” *European Journal of Operation Research*, vol. 48, p. 9-26.
  44. **Saremi, M., Mousavi. S. F., Sanayei, A.** 2009. “TQM Consultant Selection in SMEs with TOPSIS under Fuzzy Environment,” *Expert Systems with Applications*, vol. 36, p. 2742-2749.
  45. **Scarelli, A., Narula, S. C.** 2002. “A Multicriteria Assignment Problem,” *Journal of Multi-Criteria Decision Analysis*, vol. 11 (2), p. 65-74.
  46. **Seçme, N., Y., Bayraktaroğlu, A., Kahraman, C.** 2009. “Fuzzy Performance Evaluation in Turkish Banking Sector Using Analytic Hierarchy Process and TOPSIS,” *Expert Systems with Applications*, vol. 36, p. 11699-11709.
  47. **Shih, H. S., Shyur, H. J., Lee, E. S.** 2007. “An Extension of TOPSIS for Group Decision Making,” *Mathematical and Computer Modelling*, vol. 45, p. 801-813.
  48. **Supçiller, A. A., Çapraz, O.** 2011. “AHP TOPSIS Yöntemine Dayalı Tedarikçi Seçimi Uygulaması,” 12. Uluslararası Ekonometri, Yöneyem Araştırması, İstatistik Sempozyumu, 26-28 Mayıs 2011, Pamukkale, p. 1-22.
  49. **Tolga, A. Ç.** 2008. “Fuzzy Multi Criteria R&D Project Selection with a Real Options Valuation Model,” *Journal of Intelligent and Fuzzy Systems*, vol. 19, p. 359-371.
  50. **Tsai, H., Huang, B., Wang, A. S.** 2008. “Combining ANP and TOPSIS Concepts for Evaluation the Performance of Property-Liability Insurance Companies,” *Journal of Social Sciences*, vol. 4, p. 56-61.
  51. **Tsaur, S. H., Chang, T. Y., Yen, C. H.** 2002. “The Evaluation of Airline Service Quality by Fuzzy MCDM,” *Tourism Management*, vol. 23, p. 107-115.
  52. **Tsou, C. S.** 2008. “Multi-Objective Inventory Planning Using MOPSO and TOPSIS,” *Expert Systems with Applications*, vol. 35, p. 136-142.
  53. **Wang, X.** 2014. “Supplier Selection and Evaluation Based on Grey Correlation Degree and TOPSIS,” *Journal of Information and Computational Science*, vol. 11, p. 3097-3106.
  54. **Wang, Y. M., Elhag, T. M. S.** 2006. “Fuzzy TOPSIS Method Based on Alpha Level Sets with an Application to Bridge Risk Assessment,” *Expert Systems with Applications*, vol. 31, p. 309-319.
  55. **Winston, W. L.** 1994. *Operations Research: Applications and Algorithms*, Thomson Publishing, USA.
  56. **Wu, C. R., Lin, C. T., Tsai, P. H.** 2008. “Financial Service of Wealth Management Banking: Balanced Score Card Approach,” *Journal of Social Sciences*, vol. 4, p. 255-263.
  57. **Yaraloğlu, K.** 2001. “Performans Değerlendirmede Analitik Hiyerarşi Proses,” *DEÜ İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, cilt 16 (1), p. 129-142.
  58. **Yoon, K. P., Hwang, C. L.** 1981. *Multiple Attribute Decision Making: Methods and Applications*, Springer-Verlag, New York.
  59. **Yoon, K.** 1980. “Systems Selection by Multiple Attribute Decision Making,” Ph. D. Dissertation, Kansas State University, USA.
  60. **Yurdakul, M., İç, Y. T.** 2003. “Türk Otomotiv Firmalarının Performans Ölçümü ve Analizine Yönelik TOPSIS Yöntemini Kullanan Bir Örnek Çalışma,” *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, sayı 18, s. 1-13.
  61. **Yurdakul, M., İç, Y. T.** 2005. “Development of a Performance Measurement Model for Manufacturing Companies Using the AHP and TOPSIS Approaches,” *International Journal of Production Research*, vol. 43, p. 4609-4641.
  62. **Yüksel, Ö.** 2007. *İnsan Kaynakları Yönetimi*, Gazi Kitabevi, Ankara.

# ÇOK AMAÇLI TAMSAYI PROGRAMLAMA PROBLEMLERİ İÇİN TEMSİLİ ÇÖZÜM ÜRETEYEN YAKLAŞIMLARIN VE KALİTE ÖLÇÜLERİNİN İNCELENMESİ

Banu LOKMAN

Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, Ankara  
lbanu@metu.edu.tr

Geliş Tarihi: 02.11.2016; Kabul Ediliş Tarihi: 05.05.2017

## ÖZ

Çok amaçlı tamsayı programlama problemlerinde baskın noktaların sayısı problemin büyüklüğüne bağlı olarak üssel bir büyüme gösterir. Bu nedenle, bu problemler için tüm baskın noktaları bulmak zordur ve karar verici için pratik bir yaklaşım da değildir. Tüm baskın noktalar yerine, bu noktaları belirli kalite ölçülerine göre iyi temsil eden noktalar bulmak önemlidir. Bu çalışmamızda, temsili kümenin değerlendirilmesinde kullanılan kalite ölçülerini ve bu kalite ölçülerine göre tüm baskın nokta kümesini iyi temsil eden noktalar bulan yaklaşımları inceleyeceğiz.

**Anahtar Kelimeler:** Baskın nokta, temsili baskın nokta, kalite ölçüleri, çok amaçlı tamsayı programlama, çok amaçlı bileşi optimizasyonu

## A SURVEY ON FINDING REPRESENTATIVE POINTS FOR MULTI-OBJECTIVE INTEGER PROGRAMS AND QUALITY MEASURES

### ABSTRACT

The number of nondominated points of multi-objective integer programming problems increases exponentially with the problem size. Therefore, finding all nondominated points is computationally hard and not practical for the decision maker. Instead of generating all nondominated points, it is reasonable to generate a set of points that represents the nondominated set with a desired quality level. In this study, we review the quality measures used to evaluate the representative sets and the approaches that generate representative points.

**Keywords:** Nondominated point, representative point, quality measures, multi-objective integer programming, multi-objective combinatorial optimization

## 1. GİRİŞ

Günümüzde birçok organizasyonda, karar vericilerin (KV) karşılaştıkları optimizasyon problemleri, doğası gereği çoğu zaman birden fazla ve birbiri ile çelişen amaçlar içerir. Yatırım planlama, yer seçimi, çizelgeleme, rotalama, ulaştırma gibi birçok alanda uygulaması olan çok amaçlı tamsayı programlama (ÇATP) problemleri, çelişen amaçlar nedeniyle, tek bir optimal nokta yerine *baskın nokta* olarak tanımlanan çok sayıda çözüm içerir (Özçelik ve Saraç, 2011; Aktaş vd., 2011; Koçanlı vd., 2012; Kamışlı Öztürk vd., 2016). Baskın noktalar, en az bir amaç fonksiyonundan ödün vermeden başka bir amaç fonksiyonunda iyileştirme yapılması mümkün olmayan noktalar.

ÇATP problemlerinde problem büyüklüğü arttıkça, herhangi bir baskın çözümü bulmak zorlaştığı gibi aynı zamanda baskın nokta sayısı da üssel bir büyüme gösterir (Ehr Gott ve Gandibleux, 2000). Bu nedenle, ÇATP problemleri için birçok sezgisel, metasezgisel yaklaşım ve yakınsama algoritmaları geliştirilmiştir. Ehr Gott ve Gandibleux (2004), özel ÇATP problemleri olan Çok Amaçlı Bileşi Optimizasyonu (ÇABO) problemleri için özel geliştirilmiş bu algoritmaları incelerken, Ruzika ve Wiecek (2005) ise çok amaçlı optimizasyon (ÇAO) problemleri üzerine bir inceleme sunmaktadır.

Son dönemde, tüm baskın noktaları bulan etkili algoritmalar geliştirilmiştir; ancak tüm baskın noktaları bulmak ve KV'ye sunmak hem zor hem de pratik olmayan bir yaklaşımdır (Lokman ve Köksalan, 2013; Mavrotas ve Florios, 2013; Kırılık ve Sayın, 2014; Özlen vd. 2014; Dächert ve Klamroth, 2015). Bu nedenle, tüm baskın noktaları bulmak yerine, belirli kalite ölçülerini baz alarak tüm baskın nokta kümesini iyi temsil eden bir alt küme bulmak ÇATP problemleri için önemlidir.

Bu çalışmamızda, ÇATP ve ÇABO problemleri için KV tarafından belirlenecek kalitede bir temsili baskın nokta kümesi bulmayı hedefleyen yaklaşımlar ve önerilen kalite ölçüleri incelenecektir. İlk olarak, 2. kısımda gerekli tanımlar verilerek temel yaklaşımlar sunulacaktır. 3. kısımda temsili kümelerin değerlendirilmesinde kullanılan kalite ölçüleri ve 4. kısımda, geliştirilen yaklaşımlar incelenecektir. 5. kısımda ise sonuçlar sunulacaktır.

## 2. TANIMLAR VE GENEL BİLGİLER

Genel  $p$  amaçlı bir tamsayı optimizasyon problemi aşağıdaki şekilde tanımlanabilir:

(ÇATP)

$$\text{"Maks"} z = (z_1(x), \dots, z_p(x))$$

**Kısıtlar**

$$x \in X$$

Burada  $x$ , karar vektörünü;  $X \in \mathbb{Z}^n$ , tamsayı olurlu karar vektörü kümesini;  $z_j(x)$  o, karar vektörü için  $j$ . amaç fonksiyonunun aldığı değeri ve  $z(x) = (z_1(x), \dots, z_p(x))$ ,  $x$  çözümüne karşılık gelen amaç vektörünü temsil etmektedir.  $X$  kümesinin amaç fonksiyonu uzayındaki görüntüsü ise  $Z$  kümesi ile tanımlanmaktadır. Tırnak işaretleri vektör maksimizasyonunun tanımlı bir matematiksel operasyon olmadığını ifade etmektedir.

**Tanım 1:** Herhangi  $x_1, x_2 \in X$  çözümü için,  $z_j(x_1) \leq z_j(x_2) \forall j=1, \dots, p$  en az bir amaç fonksiyonunda  $z_j(x_1) < z_j(x_2)$  koşulları sağlanıyorsa,  $x_2$  çözümünün  $x_1$  çözümünü *baskıladığı* söylenir. Böyle bir  $x_2$  çözümü yoksa,  $x_1$  çözümüne *etkin çözüm* ve  $z(x_1)$  noktasına da *baskın nokta* denir.

**Tanım 2:** Herhangi  $x_1, x_2 \in X$  çözümü için,  $z_j(x_1) < z_j(x_2) \forall j=1, \dots, p$  koşulu sağlanıyorsa,  $x_2$  çözümünün  $x_1$  çözümünü *tam baskıladığı* söylenir. Eğer böyle bir  $x_2$  çözümü yoksa,  $x_1$  çözümüne *zayıf etkin çözüm* ve  $z(x_1)$  noktasına *zayıf baskın nokta* denir.

Tüm baskın noktalar aynı zamanda zayıf baskın noktalar.

Tüm baskın noktaları veya bir kısmını bulmak için önerilen birçok yöntem vardır. Bu yöntemlerden biri, amaç fonksiyonlarını pozitif ağırlıklandırarak çok amaçlı optimizasyon problemini tek amaçlı optimizasyon problemine dönüştürmektir. Bu şekilde, farklı pozitif ağırlıklar kullanarak bulunabilen noktalara, *destekli baskın nokta* denir. Öyle ki, her destekli baskın nokta,  $z^w$ , için  $w^T z^w = \max_{x \in X} \sum_{k=1}^p w_k z_k(x)$  eşitliğini sağlayan pozitif bir ağırlık vektörü  $w > 0$  bulunabilir. Ancak, böyle bir ağırlık vektörü bulunamayan, bu nedenle *ağırlıklandırma yöntemi* ile bulunması mümkün olmayan noktalar, *desteksiz baskın noktalar* da vardır. Destekli noktaların

elde edilmesinden sonra, olası bölgelerde desteksiz noktaların aranması için problem tiplerine özel yöntemler geliştirilmiştir (Ulungu ve Teghem, 1995; Visee vd., 1998; Steiner ve Radzik, 2008; Sipahioğlu ve Saraç, 2010). Ancak, bu yöntemler genel ÇATP problemleri için uygulanabilir değildir.

Baskın noktaların bulunması için uygulanan bir diğer yöntem *epsilon-kısıtı yöntemi*dir. Bu yöntemde, bir kriter amaç fonksiyonu olarak seçilirken diğer kriterler için alt sınır koyan kısıtlar eklenmektedir:

$$(P^{ej}) \\ \text{Maks } z_j(x)$$

**Kısıtlar**

$$z_k(x) \geq \varepsilon_k \quad k = 1, \dots, p \quad k \neq j \\ x \in X$$

Ancak, amaç fonksiyonunda diğer kriterlerin bulunmaması nedeniyle, bu yöntem ile baskın olmayan zayıf baskın noktalar da bulunabilir. Bunu engellemek amacıyla *modifiye edilmiş epsilon-kısıtı* yöntemi kullanılır:

$$(P'^{ej}) \\ \text{Maks } z_j(\mathbf{x}) + \sum_{\substack{k=1 \\ k \neq j}}^p \rho_k z_k(\mathbf{x})$$

**Kısıtlar**

$$z_k(x) \geq \varepsilon_k \quad k = 1, \dots, p \quad k \neq j \\ x \in X$$

Burada  $\rho_k > 0$ , baskın olmayan zayıf baskın noktaların bulunmasını engellemek amacıyla yeterince küçük pozitif bir sabit olarak seçilir (Steuer, 1986: 429-430).

$X_E \in X$  ve  $Z_B \in Z$  sırasıyla tüm etkin çözümlerin ve baskın noktaların kümesini temsil etmektedir. Özellikle ÇATP problemlerinde, farklı etkin çözümlerin kriter uzayında aynı baskın noktaya karşılık gelmesi mümkündür. Bu nedenle, bu iki kümenin eleman sayısı arasında  $|X_E| \geq |Z_B|$  ilişkisi vardır. Farklı amaç fonksiyonlarının birlikte değerlendirilmesi ve karşılaştırılması için her amaç fonksiyonunun baskın noktalar içerisinde alabileceği en iyi ve en kötü değerleri bulmak önemlidir.

**Tanım 3:** Her amaç fonksiyonunun alabileceği

en iyi değerlerden oluşan noktaya *ideal nokta* denir. İdeal nokta,  $z^I = (z_1^I, \dots, z_p^I)$  ile gösterilir ve  $z_j^I = \max_{x \in X} z_j(x) \quad j = 1, \dots, p$  'dir.

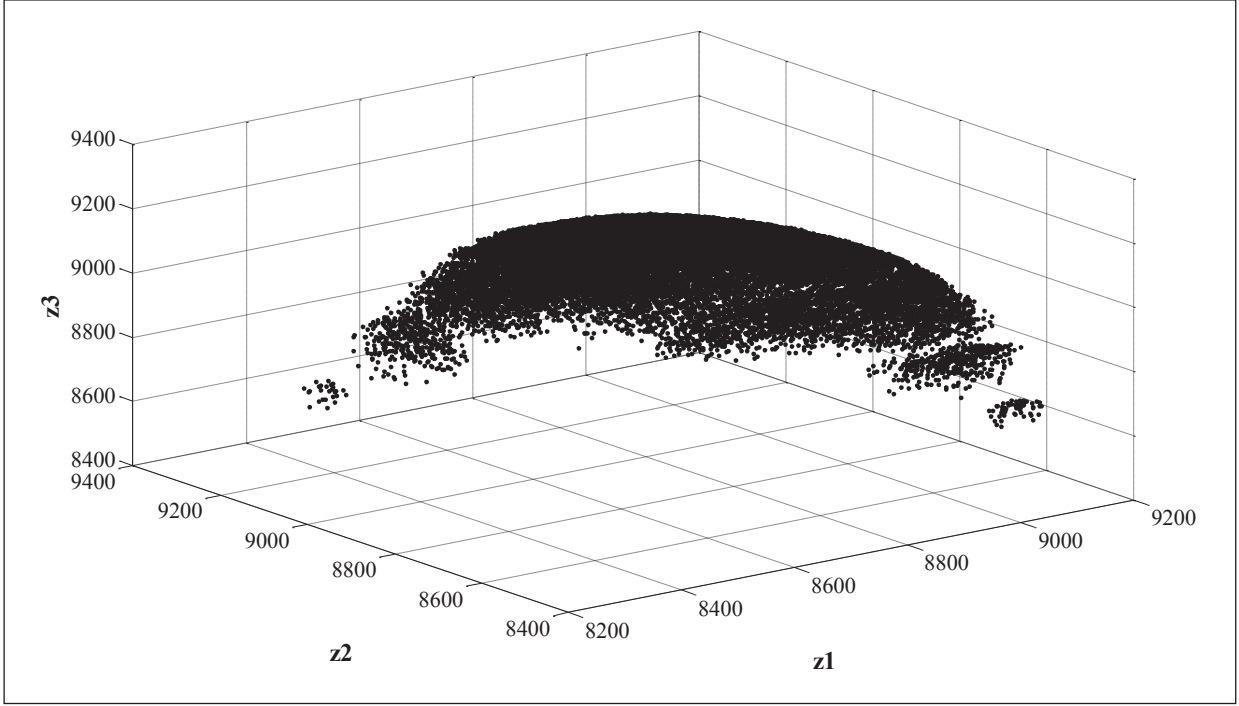
**Tanım 4:** Her amaç fonksiyonunun etkin çözümler içerisinde alabileceği en kötü değerlerden oluşan noktaya *nadir nokta* denir. Nadir nokta,  $z^N = (z_1^N, \dots, z_p^N)$  ile gösterilir ve  $z_j^N = \min_{x \in X_E} z_j(x) \quad j = 1, \dots, p$  'dir.

İdeal nokta, her bir amaç fonksiyonunun sırasıyla en iyilendiği tek amaçlı problemler çözülerek bulunabilir. Ancak, etkin çözümler üzerinde en kötü değerlere karşılık gelen nadir noktayı bulmak zordur. Son dönemde bunun için geliştirilmiş özel algoritmalar bulunmaktadır (Jorge, 2009; Köksalan ve Lokman, 2015; Kırılık ve Sayın, 2015). İdeal ve nadir noktalara, amaç fonksiyonlarının ölçeklendirilmesinde kullanılmaları nedeniyle, ÇATP problemleri için tasarlanmış birçok algoritmada ihtiyaç duyulur (Masin ve Bukchin, 2008; Karasakal ve Köksalan, 2009; Miettinen vd., 2010).

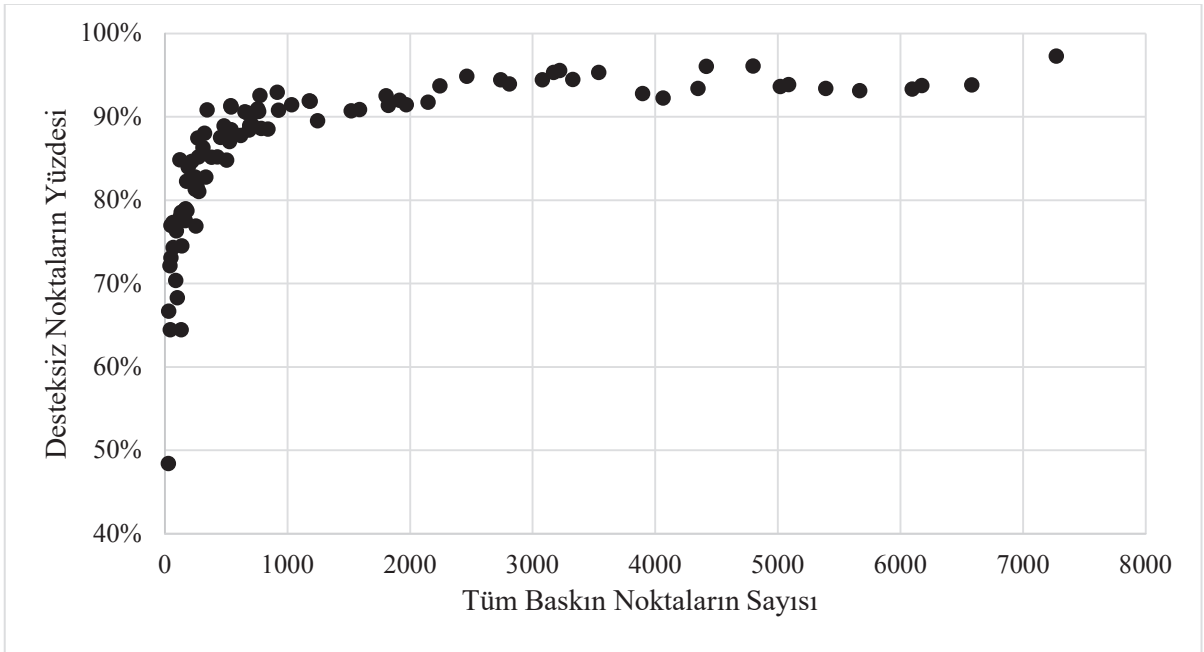
### 3. KALİTE ÖLÇÜLERİNİN İNCELENMESİ

Tüm baskın noktaların sayısı problem büyüklüğüne, amaç fonksiyonlarının sayısına bağlı olarak hızla artmaktadır. Şekil 1'de de gösterildiği gibi, örneğin 200 parçalı, 3 amaçlı bir sırt çantası problemi için 27.260 baskın nokta vardır. Ayrıca, Şekil 2'de gösterildiği gibi, problem büyüklüğü arttıkça, ağırlıklandırma yöntemi ile bulunamayan desteksiz baskın noktaların toplam baskın nokta sayısına oranı da giderek artmaktadır. Bu nedenle, özellikle giderek daha karmaşık hale gelen günümüz problemlerini de düşünerek tüm baskın noktaları bulmak yerine temsili bir nokta kümesi,  $Z_T \in \mathbb{R}^p$  veya temsili çözüm kümesi,  $X_T \in \mathbb{R}^n$  bulmak pratik ve uygulanabilir bir yaklaşımdır. Temsili küme, baskın noktalardan, bas-kılanan olurlu noktalardan veya olurlu noktalara yakın yaklaşık noktalardan oluşabilir.

Temsili kümenin kalitesinin değerlendirilmesinde farklı performans ölçüleri tanımlanmıştır (Sayın, 2000; Wu ve Azarm, 2001; Zitzler vd., 2003). Sayın (2000), temsili kümenin kalitesini değerlendirmek için temsili kümenin eleman sayısı, kapsama özelliği ve dağılımı olarak temel üç farklı ölçü önermiştir. Eleman sayısı ölçüleri, her yeni bir nokta bulmanın getirdiği çözüm



Şekil 1. 200 Parçalı Üç Amaçlı Bir Sırt Çantası Problemine ait Baskın Çözümler ( $|Z_B|=27.260$ )



Şekil 2. Desteksiz Baskın Noktaların Oranı\*

\*Toplam 90 Problem - 10'ar üç amaçlı atama problemi (10, 20, 30-görevli), sırt çantası problemi (25, 50, 100-parçalı), en kısa yol problemi (50, 100, 200-düğümlü)

zorluğu nedeniyle temsili kümenin büyüklüğünü ölçmektedir. Her bir baskın noktanın ne kadar iyi temsil edildiği kapsama ölçüleri ile, üretilen temsili noktaların amaç fonksiyonu uzayına dağılımı ise dağılım ölçüleri ile değerlendirilmektedir. Verilen temsili bir küme için, eleman sayısı ve dağılım ölçüleri hesaplanabilirken, kapsama ölçülerinin bulunabilmesi için baskın nokta kümesinin veya baskın noktalara yakın olduğu bilinen başka bir kümenin bilinmesi gerekmektedir.

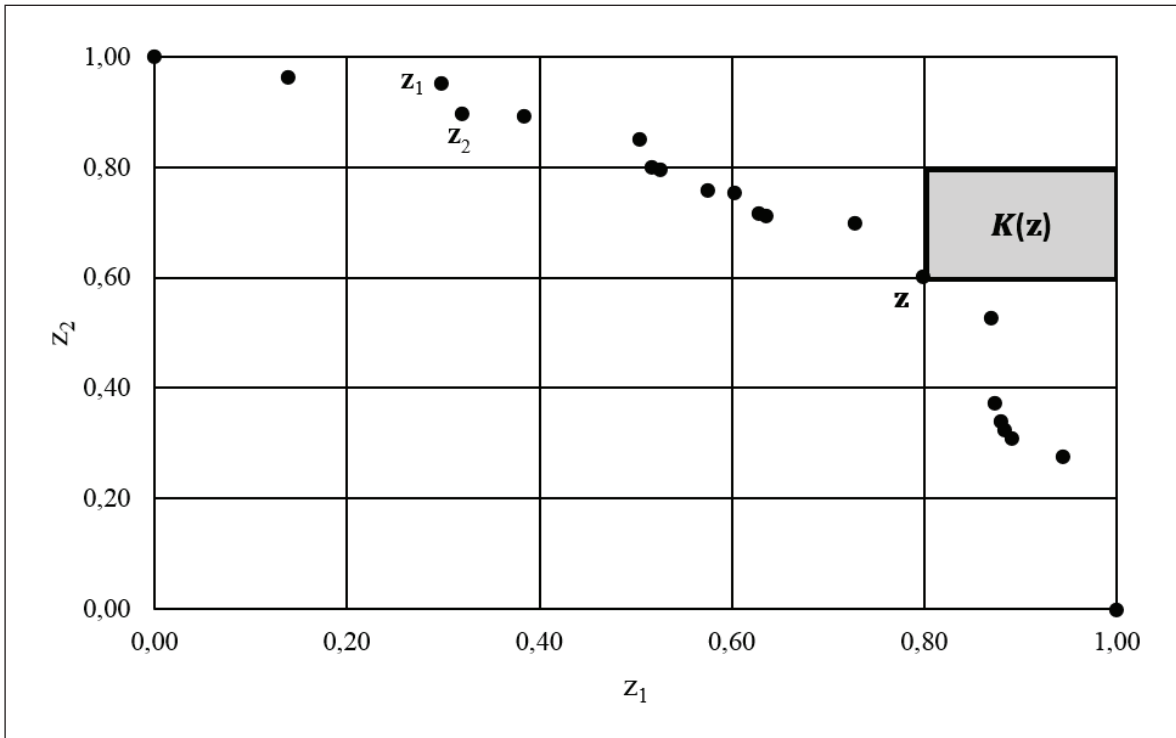
Faulkenberg ve Wiecek (2010), genel çok amaçlı optimizasyon problemleri için kullanılacak kalite ölçülerini Sayın'ın (2000) önerdiği gibi üç farklı grupta değerlendirmişlerdir. Bu çalışmalara benzer olarak, burada da kalite ölçüleri eleman sayısı, kapsama ve dağılım ölçüleri olarak üç grupta sınıflandırılarak incelenecektir.

### 3.1 Eleman Sayısı Ölçüleri

Temsili alt kümenin eleman sayısını ölçmek için üretilen nokta sayısı,  $|Z_T|$  veya üretilen çözüm sayısı,  $|X_T|$  olarak iki farklı ölçü kullanılabilir. Tek bir çözüm bulmanın bile zor olabildiği ÇATP problemlerinde,

çoğu zaman tüm baskın nokta kümesini olabildiği kadar az nokta ile temsil etmek,  $|Z_T| < |Z_B|$  veya  $|X_T| < |X_E|$  hedeflenmektedir.

Bu ölçülerden farklı olarak, Wu ve Azarm (2001), yeni bir eleman sayısı ölçüsü tanımlamışlardır. Bu eleman sayısı ölçüsü, karar vericinin tercihlerine göre 0 ile 1 arasında seçilen bir  $\mu$  değerine göre hesaplanır. Öyle ki, her bir amaç fonksiyonu (0, 1) arasında olacak şekilde normalize edilerek eşit  $1/\mu$  bölgeye ayrılmakta ve dolayısıyla amaç fonksiyonu uzayı toplam  $1/\mu^p$  hiperküp bölünmektedir. Aynı hiperküp içindeki çözümler arasındaki fark önemsiz olarak değerlendirilmekte ve tek nokta olarak sayılmaktadır. Şekil 3'te de gösterildiği gibi, aynı hiperküp içindeki çözümler, örneğin  $z_1$  ve  $z_2$  arasındaki fark önemsiz olarak değerlendirilmekte ve tek nokta olarak sayılmaktadır. Benzer şekilde, her  $z$  noktası için farksız değerlendirilen bölge,  $K(z)$  belirlenerek değerlendirme yapılmakta ve bulunan farklı nokta sayısı temsili kümenin eleman sayısını oluşturmaktadır. Şekil 3'te verilen örnek için bu şekilde bulunan 9 farklı baskın nokta vardır.



Şekil 3.  $\mu = 0,2$  için  $z$  Noktasıyla Farksız Değerlendirilen Bölgeler,  $K(z)$

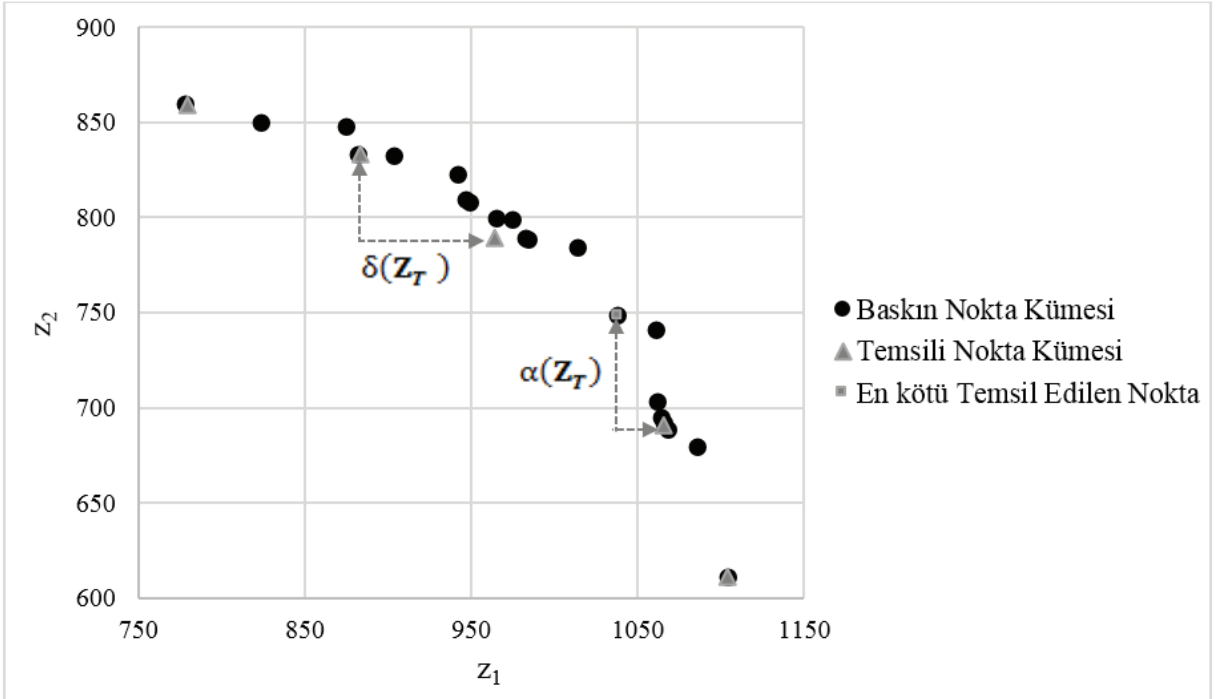


### 3.2 Kapsama Ölçüleri

Kapsama ölçüleri, her bir baskın noktanın temsili alt küme tarafından ne kadar iyi temsil edildiğini değerlendirmek için kullanılan ölçülerdir. Bu nedenle, ilk olarak her bir baskın nokta,  $z \in Z_B$  için temsili kümede yer alan en yakın nokta,  $y \in Z_T$  temsili olarak seçilmekte ve aralarındaki uzaklık,  $u(z, y)$  dikkate alınmaktadır. Sayın (2000) tarafından önerilen ve  $u(z, y) = \max_{i=1, \dots, p} (z_i - y_i)$  uzaklık ölçüsünün kullanıldığı kapsama ölçüsü Tanım 5'te verilmiştir.

**Tanım 5:** Herhangi bir temsili alt küme  $Z_T \in \mathbb{R}^p$  içinde, tüm  $z \in Z_B$  baskın noktalar için en fazla  $\alpha \geq 0$  uzaklığında en az bir temsili  $y \in Z_T$  varsa,  $u(z, y) \leq \alpha$ ,  $Z_T$  alt kümesine  $Z_B$ 'nin  $\alpha$ -temsili denir.  $Z_T$  alt kümesinin  $Z_B$  kümesini kapsama hatası  $\alpha(Z_T) = \max_{z \in Z_B} \min_{y \in Z_T} u(z, y)$  şeklinde tanımlanır.

Sayın (2000), Şekil 4'te de gösterildiği gibi, kapsama ölçüsü için en kötü temsil edilen nokta üzerinden değerlendirme yaparken, Czyżżak ve Jaszkiweicz (1998) ise ortalama temsil hatasını hesaplamışlardır:  $\frac{1}{|Z_B|} \sum_{z \in Z_B} \min_{y \in Z_T} u(z, y)$



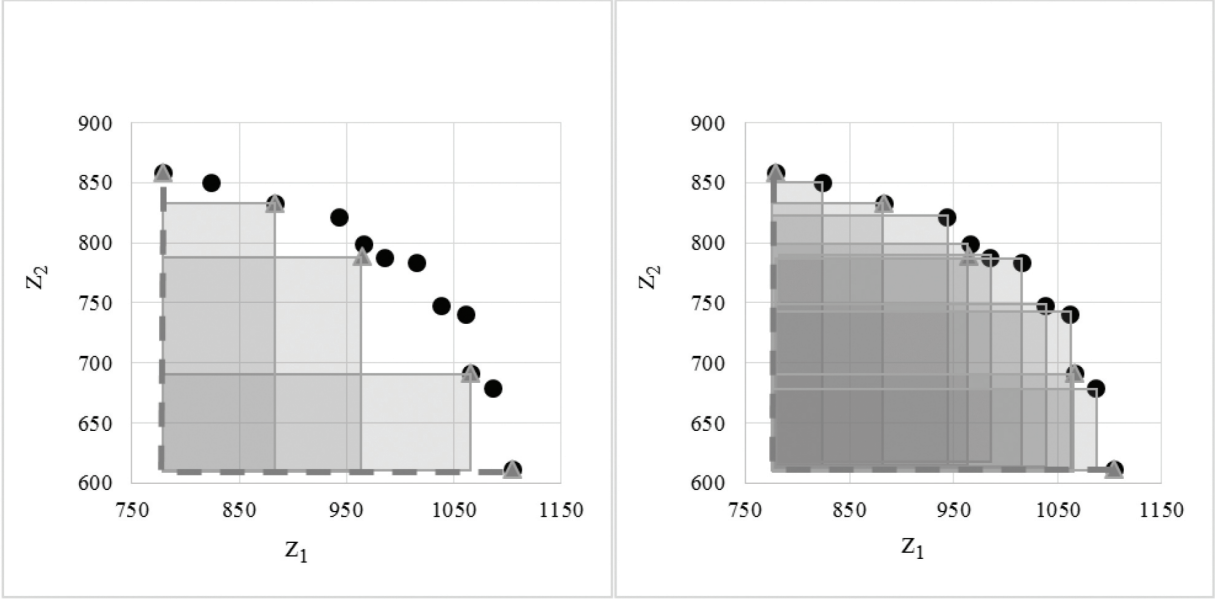
Şekil 4. Kapsama Hatasının ve Dağılım Derecesinin Hesaplanması

Farklı olarak, Zitzler ve Thiele (1998),  $Z_T$  ve  $Z_B$  tarafından baskılanan bölgelerin toplam hacmini ölçerek, Tanım 6'da verilen kapsama ölçüsünü önermişlerdir. Hacim hesaplanırken, kriter uzayının tanımlanması için nadir noktası veya nadir noktasına yakın başka bir nokta referans alınmaktadır. Şekil 5, nadir noktası referans alınarak,  $Z_T$  ve  $Z_B$  tarafından baskılanan bölgeyi iki amaçlı bir problem üzerinde göstermektedir.

**Tanım 6:** Herhangi bir temsili alt küme  $Z_T \in \mathbb{R}^p$  için üst-hacim göstergesi,  $Z_T$  tarafından baskılanan kriter uzayının hacminin,  $Z_B$  tarafından baskılanan kriter uzayının hacmine oranı  $H(Z_T) = \frac{h(Z_T)}{h(Z_B)}$  olarak tanımlanır.

Benzer olarak, Boland vd. (2015) ve Boland vd. (2016), nadir noktasını referans olarak üst hacim boşluğu,  $\frac{h(Z_B) - h(Z_T)}{h(Z_B)}$  değerini performans ölçüsü olarak kullanmışlardır.

Zitzler vd. (2003) tarafından önerilen bir diğer kapsama ölçüsü Tanım 7'de verilmiştir.



Şekil 5. Temsili Küme ( $Z_T$ ) ve Baskın Küme ( $Z_B$ ) Tarafından Baskılanan Bölgeler

**Tanım 7:** Herhangi bir temsili alt küme  $Z_T \in \mathbb{R}^p$  için, tüm  $z \in Z_B$  baskın noktaların baskılanmasını sağlamak için kullanılacak en küçük çarpan *epsilon göstergesi* olarak tanımlanır:  $I_\varepsilon(Z_T) = \max_{z \in Z_B} \min_{y \in Z_T} \varepsilon(z, y)$   
 $= \max_{z \in Z_B} \min_{y \in Z_T} \max_{k=1, \dots, p} \left( \frac{z_k}{y_k} \right)$

Tanım 7’de de verildiği gibi,  $\varepsilon(z, y)$ , baskın nokta ( $z$ ) ve temsilci ( $y$ ) için,  $z \leq \varepsilon(z, y) \cdot y$  eşitsizliğini sağlayan en küçük çarpan olarak tanımlanmıştır (Şekil 6). Tüm baskın noktaların yer aldığı bir temsili küme,  $Z_T = Z_B$  için  $I_\varepsilon(Z_T) = 1$  değerini almaktadır.  $\varepsilon(z, y)$ , yakınsama algoritmalarında  $(1 + \varepsilon)$  olarak kullanılan yakınsama oranına karşılık gelmektedir (Papadimitriou ve Yannakakis, 2000),  $\varepsilon$ -baskın küme,  $Z_\varepsilon$  olarak tanımlanan bu kümede her baskın nokta  $z$  için,  $z \leq (1 + \varepsilon) y$  koşulunu sağlayan bir  $y \in Z_\varepsilon$  noktası vardır. Papadimitriou ve Yannakakis (2000), böyle bir temsili kümenin problem büyüklüğüne ve değerine göre polinom zamanda bulunabilmesi için yeterli ve gerekli koşulları tanımlamışlardır. Bu kalite ölçüsünün kullanıldığı temsili küme problemlerinde amaç, istenilen çözüm sayısı verildiğinde en küçük epsilon göstergesine sahip bir alt küme bulmak veya istenilen epsilon göstergesi verildiğinde eleman sayısı en küçük temsili küme bulmaktır. Kapsama hatası ile epsilon göstergesi birbiriyle yakından ilişkili kapsama ölçüleridir.

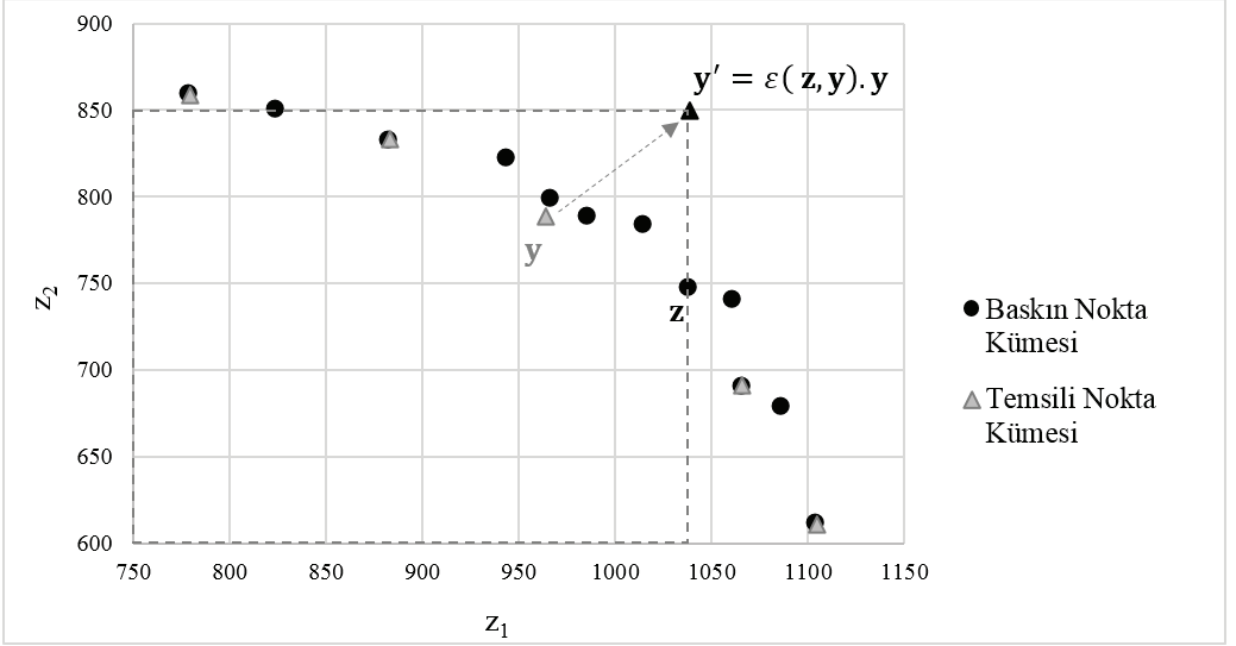
Öyle ki, iyi kapsama ölçüsüne sahip bir temsili küme için iyi bir epsilon göstergesi değeri bulunabilir.

Zitzler (1999) ise iki nokta kümesinin birbirine göre dağılımını ölçen bir *kapsama göstergesi* önermiştir:

$$C(Z_1, Z_2) = \frac{|\{y_2 \in Z_2 \mid \exists y_1 \in Z_1 : y_1 \geq y_2\}|}{|Z_2|}$$

$C(Z_1, Z_2)$ ,  $Z_2$  kümesi içinde  $Z_1$  kümesindeki noktalar tarafından “kapsanan”, yani baskılanan veya eşit olan, noktaların oranını hesaplamaktadır. Bu kapsama ölçüsünü, baskın noktaları yaklaşık olarak bulan sezgisel/metasezgisel yöntemlerin kapsama performansını değerlendirmek için de kullanmak mümkündür (Deb, 2001: 311-312).  $C(Z_T, Z_B) = 1$ , tüm baskın noktaların bulunması durumunda elde edilir.

Sezgisel veya metasezgisel yöntemlerde üretilen temsili küme, baskın veya baskılanan noktalardan oluşabilir ve bu nedenle temsili kümenin değerlendirilmesinde bulunan noktaların baskın noktalara olan uzaklığı ölçülmektedir. Örneğin Deb vd. (2002), algoritma tarafından üretilen her bir nokta için baskın nokta kümesine olan en küçük Öklid uzaklığını ölçerek yakınsama hatasını bulmuş ve *ortalama yakınsama hatası*’nı performans ölçüsü olarak kullanmışlardır.  $u(z, y) = \sqrt{\sum_{i=1}^p (z_i - y_i)^2}$  uzaklık ölçüsünün kullanıldığı ve  $\frac{1}{|Z_T|} \sum_{y \in Z_T} \min_{z \in Z_B} u(z, y)$



Şekil 6. Epsilon Göstergesinin Hesaplanması

ile hesaplanan bu performans ölçüsü, temsili küme baskın noktalardan oluşuyorsa sıfır değerini almaktadır.

Van Veldhuizen (1999) ise temsili kümede yer alan ancak baskın nokta kümesinde yer almayan noktaları sayarak *hata oranı* olarak adlandırdığı bir ölçü tanımlamıştır. Benzer olarak, bulunabilen etkin çözümlerin/ baskın noktaların oranı, *başarı oranı* da,  $\frac{|Z_T \cap Z_B|}{|Z_B|}$  hesaplanabilir.

### 3.3 Dağılım Ölçüleri

Temsili küme bulunurken, kapsama özelliği kadar, kriter uzayına iyi dağılmış noktalar bulmak da önemlidir. Burada amaç, farklı bölgelerin eşit temsili sağlamak ve birbirine çok yakın noktalar bulmayı engelleyerek az sayıda nokta ile iyi bir kapsama ölçüsüne ulaşmaktır. Sayın (2000) tarafından önerilen dağılım ölçüsü Tanım 8'de verilmiştir.

**Tanım 8:** Herhangi bir temsili alt küme  $Z_T \in \mathbb{R}^p$  için,  $u(y_1, y_2)$   $y_1, y_2 \in Z_T$  arasındaki uzaklığı ve  $\delta(Z_T) = \min_{\substack{y_1, y_2 \in Z_T \\ y_1 \neq y_2}} u(y_1, y_2)$  ise  $Z_T$  kümesinin *dağılım derecesini* göstermektedir.

Şekil 4,  $u(y_1, y_2) = \max_{i=1, \dots, p} |y_{1i} - y_{2i}|$  uzaklık ölçüsü kullanıldığında verilen temsili küme için dağılım derecesini,  $\delta(Z_T)$  göstermektedir.

Farklı olarak, Schott (1995), birbirine en yakın komşu temsili çözümler arasındaki uzaklıkların standart sapmasını dağılım ölçüsü olarak kullanmayı önerirken, Czyżżak ve Jaszkiweicz (1998) kapsama hatası ile ortalama temsil hatasını kullanarak farklı bir dağılım ölçüsü önermişlerdir. Ortalama temsil hatası  $U1 = \frac{1}{|Z_B|} \sum_{z \in Z_B} \min_{y \in Z_T} u(z, y)$  ve kapsama hatası  $U2 = \max_{z \in Z_B} \min_{y \in Z_T} u(z, y)$  olarak tanımlandığında, *dağılım oranı*  $\frac{U2}{U1}$  kalite ölçüsü olarak kullanılmaktadır. Czyżżak ve Jaszkiweicz (1998), bu oran küçüldükçe eşit dağılımın arttığını belirtmişlerdir.

Zitzler (1999) ise temsili kümede yer alan herhangi bir noktadan verilen sabit bir uzaklık değerinden,  $\sigma$ , daha uzakta yer alan temsili nokta sayısının ortalamasını hesaplamıştır:  $\frac{1}{|Z_T|-1} \sum_{y_1 \in Z_T} |\{y_2 \in Z_T : u(y_1, y_2) > \sigma\}|$

Srinivas ve Deb (1995), baskın nokta kümesini istenilen nokta sayısı kadar alt bölgeye ayırmışlardır. Daha sonra, algoritma tarafından üretilen noktaların her bir alt

bölgeye düşen sayılarının ortalama ve standart sapması bulunarak *bölgesel dağılım derecesi*'ni hesaplamışlardır.

Deb vd. (2002), geliştirdikleri evrimsel algoritmanın performansını ortalama temsil hatasına ek olarak dağılım ölçüsü ile değerlendirmişlerdir. İki amaçlı problemler için kullanılan bu ölçüde, seçilen bir kritere göre ardışık olan temsili noktalar arasındaki uzaklık ölçülmekte,  $u_t = u(y_t, y_{t+1})$  ve bu uzaklığın ortalaması,  $\bar{u}$  hesaplanmaktadır. Daha sonra, her amaç fonksiyonu için baskın nokta kümesinde yer alan uç noktalar ile algoritma tarafından bulunan kümenin uç noktaları arasındaki Öklid uzaklıklar hesaplanarak toplamı,  $U_p$  alınmaktadır. Temsili kümenin çeşitlilik derecesi:

$$\Delta(Z_T) = \frac{U_T + \sum_{t=1}^{|Z_T|} |u_t - \bar{u}|}{U_T + (|Z_T| - 1)\bar{u}}$$

olarak hesaplanmaktadır. Burada  $\Delta(Z_T)$  küçüldükçe, eşit dağılımın arttığı belirtilmektedir.

Boland vd. (2016), temsili baskın noktaların dağılımını değerlendirmek için farklı bir ölçü kullanmışlardır. İlk olarak, her bulunamayan baskın nokta,  $z \in Z_B \setminus Z_T$  için en yakınında olan temsilci belirlenmektedir. Daha sonra, her bir temsilcinin, ( $y \in Z_T$ ), temsil ettiği baskın nokta sayısı  $n(y)$  bulunarak, ortalama temsil edilen nokta sayısı  $\bar{\mu} = \frac{\sum_{y \in Z_T} n(y)}{|Z_T|}$  ve ortalama sapma  $\bar{\sigma} = \frac{\sum_{y \in Z_T} (n(y) - \bar{\mu})^2}{|Z_T|}$  hesaplanmaktadır. Kalite ölçüsü olarak *dağılım göstergesi*,  $\frac{\bar{\sigma}}{\bar{\mu}}$  kullanılmakta, bu oran küçüldükçe temsili kümenin daha iyi dağılıma sahip olduğu değerlendirilmektedir.

#### 4. YAKLAŞIMLARIN İNCELENMESİ

Bu kısımda, temsili bir alt küme bulmayı amaçlayan ve ÇATP problemleri için uygulanabilir çalışmalar, metasezgisel/sezgisel yaklaşımlar ve yakınsama yaklaşımları olarak iki farklı grupta incelenecektir. İlk grupta, temsili kümenin büyüklüğünü kontrol edebilen ancak diğer kalite ölçüleri için teknikler kullanmakla beraber performans garantisi sunamayan metasezgisel/sezgisel yaklaşımlar yer almaktadır. Bu yaklaşımlar içerisinde, tüm baskın nokta kümesini bulmayı hedefleyen ancak çözüm zorluğu nedeni ile temsili küme bulan yaklaşımlar

da incelenecektir. Daha sonra, istenilen kalite seviyesine sahip temsili küme bulan ve performans garantisi sunan yaklaşımlar yakınsama yaklaşımları başlığı altında tartışılacaktır. Bu kapsamda, ilgili çalışmalar çözüm metoduna göre sınıflandırılmakta; problem tipi, amaç fonksiyonu sayısı, ve kullanılan kalite ölçülerine göre incelenmektedir. Tablo 1, incelenen çalışmalar için özet bir liste sunmaktadır. Bu listede, ilk olarak özel yapıya sahip ÇATP problemleri olan ÇABO problemleri için kullanılan yöntemler sınıflandırılmaktadır. Daha sonra sırasıyla, ÇATP problemleri ve ÇATP problemlerini de kapsayan çok amaçlı karışık tamsayılı programlama (ÇAKTP) problemleri için geliştirilen çalışmalar listelenmektedir. Tablo 1'de en son olarak, daha genel ÇAO problemleri için geliştirilen ve ÇATP problemlerine de uygulanabilir yöntemler yer almaktadır.

##### 4.1 Metasezgisel ve Sezgisel Yaklaşımlar

Problem büyüklüğü arttıkça baskın nokta sayısının hızla artması ve karşılaşılan çözüm zorlukları nedeni ile ÇATP problemleri için birçok metasezgisel ve sezgisel yöntem bulunmaktadır. Sezgisel yöntemler baskın noktaların yakınında iyi noktalar ararken, metasezgisel yöntemler ise birçok farklı probleme uyarlanabilen farklı metodları beraber kullanan bir çözüm konsepti sunmaktadır (Osman ve Laporte, 1996). Ehrgott ve Gandibleux (2008), ÇABO problemleri için geliştirilen hibrit metasezgisel yöntemler üzerine bir inceleme çalışması sunmuşlardır.

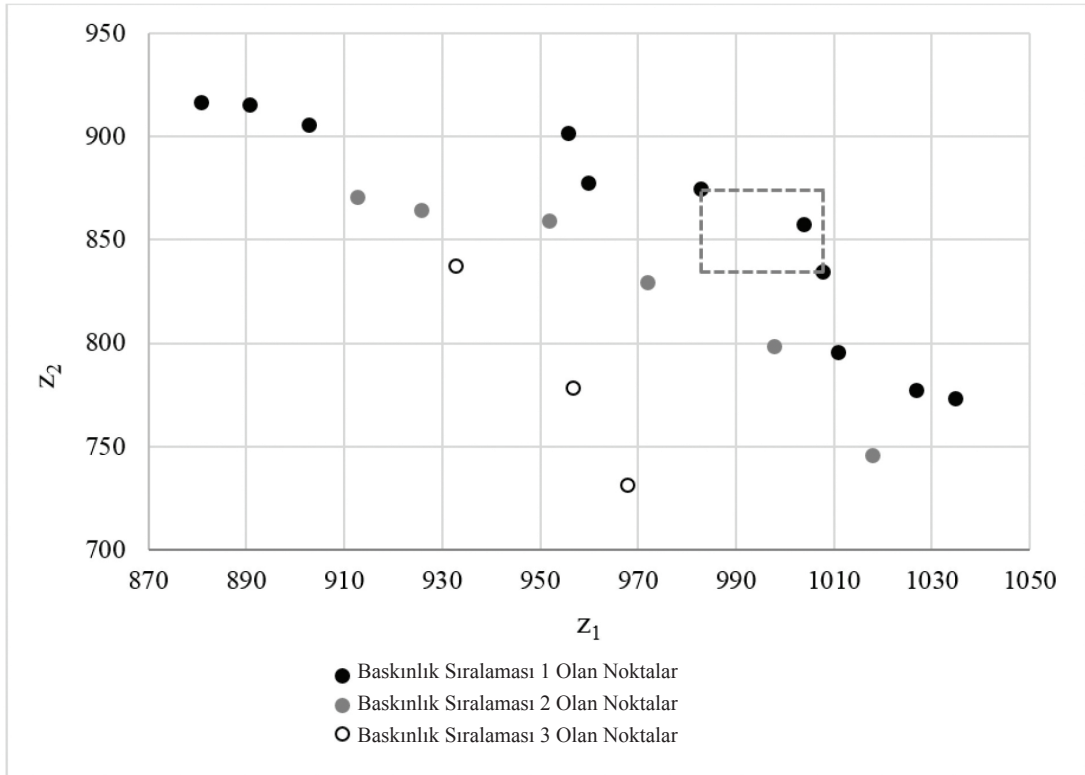
Çok amaçlı problemler için temsili küme bulmayı hedefleyen ilk çalışmalardan biri Armann (1987) tarafından önerilmiştir. Bu çalışmada, istenilen eleman sayısına ve iyi dağılıma sahip bir temsili küme bulmak amaçlanmaktadır. Her bir amaç fonksiyonunun ayrı ayrı optimize edilmesiyle elde edilen noktalar kullanılarak her amaç fonksiyonu için alt ve üst sınırlar tanımlanmaktadır. Toplam istenilen çözüm sayısı verildiğinde, her bir amaç fonksiyonu için, o amaç fonksiyonu en iyilenerek bulunacak çözüm sayısını hesaplamak için matematiksel bir model çözülmektedir. Belirlenen nokta sayısı kadar, o amaç fonksiyonu en iyilenerek belirlenen sınırlar içinde çözümler üretilmektedir. ÇATP problemleri için de uyarlamak mümkündür.

Metasezgisel yöntemlerin başında ise bir popülasyon üzerinde çalışarak birden fazla nokta üretebilen ve bu nedenle ÇAO için uyarlaması mümkün evrimsel algoritmalar (EA) bulunmaktadır. Bu kapsamda geliştirilen ve ÇATP problemleri için de uyarlanabilen birçok algoritma mevcuttur (Zhou vd., 2011). Mevcut EA'lar temel olarak tüm baskın nokta kümesini bulmayı hedeflemekte ve bu nedenle, temsili nokta kümesi bulmayı amaçlayan diğer algoritmalara kıyasla daha büyük bir popülasyon üzerinde çalışmaktadır. Burada, baskın noktalara yakın noktalar bularak baskın nokta kümesine yaklaşmak kadar, baskın nokta kümesinin farklı bölgelerini temsil etmek de önemlidir. Bunun için, hem kapsama hem dağılım ölçüleri performans ölçüsü olarak kullanılırken, popülasyon büyüklüğü ile istenilen çözüm sayısı kontrol edilebilmektedir. Bu nedenle, mevcut EA'ları popülasyon büyüklüğünü azaltarak baskın nokta kümesini iyi temsil eden nokta kümesi bulmak için de kullanmak mümkündür. Öyle ki, popülasyonda yer alan her birey, her nokta için *uygunluk fonksiyonu* değeri atanmakta ve bu değere göre bazı noktalar popülasyondan çıkarken

bazıları hayatta kalmaya devam etmektedir. Shukla ve Deb (2007), iyi dağılmış temsili nokta kümesi bulmayı hedefleyen EA'lar ile klasik yöntemlerle matematiksel modeller çözerek nokta kümesi bulan yaklaşımları karşılaştırmışlardır.

Bu alandaki ilk çalışmalardan biri, Schaffer (1984) tarafından geliştirilen VEGA (Vector Evaluated Genetic Algorithm) yöntemidir. Bu yöntemde, nokta popülasyonu, her amaç fonksiyonu için ayrı bir alt popülasyon olacak şekilde alt popülasyonlara bölünmektedir. Her bir alt popülasyon için, ona karşılık gelen amaç fonksiyonunun optimize edilerek çözümler üretilmesi amaçlanmaktadır. Herhangi bir amaç fonksiyonunda çok iyi olan bireylerin korunduğu bu algoritma, herhangi bir amaç fonksiyonunda çok iyi olmayan ama farklı amaç fonksiyonlarında daha dengeli olan bireylerin hayatta kalmalarına imkan tanımaması nedeniyle tüm baskın nokta kümesinin temsili açısından iyi performans göstermemektedir.

Daha sonra geliştirilen yöntemlerde hem kapsama



Şekil 7. Baskınlık Sıralaması ve Kalabalıklık Uzaklığının Hesaplanması

hem de dağılım ölçüleri göz önünde bulundurulmuştur. Örneğin Goldberg (1989), *baskınlık sıralaması* yönteminin kullanılmasını önermektedir. Öyle ki, tüm baskın noktalar ilk sıraya yerleştirilirken, bu noktalar çıkarıldığında kalan popülasyona göre baskın olan noktalar ikinci sırada yer almaktadır. Şekil 7’de de gösterildiği gibi, diğer noktalar da baskınlık seviyesine göre sınıflandırılmakta ve uygunluk fonksiyonu değeri bu şekilde belirlenmektedir. Bu yöntem, Srinivas ve Deb (1995) tarafından geliştirilen NSGA (Nondominated Sorting Genetic Algorithm) tarafından da kullanılmaktadır.

Zitzler ve Thiele (1999) tarafından önerilen SPEA (Strength Pareto Evolutionary Algorithm) ise popülasyona göre baskın noktaları ve baskılanan noktaları ayrı birer popülasyon olarak saklamaktadır. Baskın olan noktalara, baskıladıkları nokta sayısına göre *dayanıklılık* değeri atayan SPEA, diğer noktalar için onları baskılayan noktaların dayanıklılık değerleri toplamını kullanmaktadır. Küçük dayanıklılık değerine sahip noktaların yer aldığı bölgelerde daha çok yeni nokta arayan SPEA, böylece iyi dağılıma sahip noktalar bulmayı amaçlamaktadır. Ayrıca, SPEA, üretilen nokta sayısını ve dağılımını kontrol edebilmek amacıyla, saklanan nokta sayısı belirli bir sınırın üzerine çıktığında kümeleme yöntemi ile üretilen noktaların bir kısmını elemektedir.

İyi bir dağılıma sahip nokta üretmeyi amaçlayan evrimsel yaklaşımlarda çokça kullanılan ve Goldberg ve Richardson (1987) tarafından da önerilen bir diğer yaklaşım ise *paylaşım fonksiyonu* hesaplamadır. Bu yaklaşımda, yeni bulunan bir noktanın mevcut noktalara olan uzaklığı hesaplanmakta ve belirli bir komşuluk tanımına göre çevresindeki çözüm yoğunluğu tahmin edilmektedir. En son olarak, uygunluk fonksiyonu değerleri çözüm yoğunluğuna göre atanmakta ve böylece çözüm yoğunluğu az olan bölgelerden yeni noktalar bulmak amaçlanmaktadır. Ancak, algoritmaların performansı, seçilen komşuluk tanımına bağlı olduğu için ve de her iki nokta için paylaşım fonksiyonunun hesaplanması gerektiği için zorluklara neden olmaktadır. Deb vd. (2002) ise NSGA ve SPEA’dan hem baskın noktalara yakın noktalar bulma hem iyi dağılıma sahip noktalar bulma açısından daha iyi performans gösteren NSGA-II yöntemini geliştirmişlerdir. Bu yöntemde paylaşım fonksiyonu yerine *kalabalıklık karşılaştırma* yaklaşımı

kullanılmaktadır. Bu yaklaşımda ilk olarak, bir nokta etrafındaki nokta yoğunluğu hakkında bir tahmin yapabilmek için, Şekil 7’de de gösterildiği gibi, o noktanın her amaç fonksiyonunda her iki tarafında yer alan noktaların arasındaki ortalama uzaklık hesaplanmaktadır. Farklı amaç fonksiyonları için hesaplanan ve *kalabalıklık uzaklığı* olarak adlandırılan bu uzaklıklar toplanarak toplam kalabalıklık uzaklığı hesaplanmaktadır. Daha sonra, eşit bir dağılıma sahip bir nokta kümesi elde edebilmek için, aynı baskınlık seviyesine sahip noktalarda az kalabalık noktalar tercih edilmektedir.

Zitzler vd. (2002) ise SPEA algoritmasını geliştirerek SPEA2 algoritmasını önermişlerdir. SPEA2’de farklı olarak, dayanıklılık değeri hesaplanırken hem baskılayan noktaların sayısı hem de baskılandığı noktaların sayısı beraber dikkate alınmaktadır. Yoğunluk tahmini için, Silverman (1986) tarafından önerilen *h*. en yakın komşu yöntemi kullanılmaktadır. Öyle ki, *h*. en yakın komşuya olan uzaklığın tersi yoğunluk tahmini olarak değerlendirilmektedir. Daha sonra, hesaplanan ham uygunluk fonksiyonu değerine yoğunluk tahmini eklenerek uygunluk fonksiyonu değeri hesaplanmaktadır. Böylece, az yoğun bölgelere ayrıcalık tanınmaktadır. Çok amaçlı sırt çantası problemler üzerinde yapılan deneylerde diğer algoritmalarından iyi çalışan SPEA2 ve NSGA-II, benzer performans göstermektedir.

SPEA2 ve NSGA-II, bireylerin baskınlık seviyesine ve buldukları bölgenin yoğunluk özelliklerine göre seçimler yapmaktadır. Farklı olarak, çok amaçlı optimizasyon problemleri için geliştirilen yöntemleri evrimsel algoritmalar ile beraber kullanan melez algoritmalar da bulunmaktadır. Ishibuchi ve Murata (1998), yerel arama yöntemlerini evrimsel algoritmalar ile beraber kullanan MOGLS (Multi-Objective Genetic Local Search Algorithm) yöntemini geliştirmişlerdir. MOGLS, uygunluk fonksiyonunu ağırlıklandırma yöntemi ile hesaplamakta ve yeni bulunan çözümün yakınında daha iyi çözümler için arama yapmaktadır. Her adımda, farklı ağırlıklar kullanan MOGLS, bu ağırlık vektörüne göre sadece belirli komşu bölgelerde arama yaparak çözüm zorluğunu azaltmaktadır.

Benzer şekilde, Zhang ve Li (2007), evrimsel algoritmaları ağırlıklandırma yöntemi ile birleştirerek melez bir

yaklaşım olan MOEA/D (Multiobjective Evolutionary Algorithm based on Decomposition) yöntemini önermişlerdir. Bu yöntemde ilk olarak, problem alt problemlere bölünmekte ve daha sonra da bu alt problemlerin çözülmesi için evrimsel algoritmalar kullanılmaktadır. Her alt problemde, amaç fonksiyonlarının ağırlıklandırılmış toplamı uygunluk fonksiyonu olarak kullanılmakta ve yeni üretilen noktaların komşuluğunda daha iyi uygunluk fonksiyonu değerine sahip çözümler aranmaktadır. Farklı bölgelerden bireyler üretilmesi amacıyla her alt problem için farklı ağırlıklar kullanılmaktadır. Zhang ve Li (2007), çok amaçlı sırt çantası problemleri üzerinde yapılan deneylerde, kapsama göstergesi ve ortalama temsil hatası kalite ölçülerini kullanarak MOEA/D algoritmasının performansını MOGLS ve NSGA-II ile karşılaştırmışlardır.

Chen vd. (2017), başka bir melez yöntem olan DMOEA-εC (Decomposition-Based Multi-Objective Evolutionary Algorithm with the Epsilon-Constraint Framework) algoritmasını geliştirmişlerdir. Farklı olarak, bu algoritma alt problemi tanımlarken ağırlıklandırma yöntemi yerine epsilon kısıtı yöntemi kullanmakta ve her alt problem için farklı eşik değerleri belirlemektedir.

Zhang vd. (2016), evrimsel algoritmaları özdüzenleyici haritalar ile beraber kullanarak melez bir yaklaşım olan SMEA (Self-organizing Multi-objective Evolutionary Algorithm) yöntemini geliştirmişlerdir. Özdüzenleyici haritalar çok boyutlu uzayda yer alan noktaları, daha az boyutlu bir uzayda temsil eden noktalar üreten gözetimsiz öğrenme yöntemlerinden biridir (Kohonen, 1998). Her adımda, mevcut çözümler arasındaki komşuluk ilişkisi özdüzenleyici haritalar ile tanımlanmakta, her bir çözümün komşusu ile yeni çözüm üretmesine izin verilmektedir. Chen vd. (2017), DMOEA-εC, MOEA/D ve SMEA yöntemlerini çok amaçlı sırt çantası problemleri üzerinde karşılaştırarak ortalama temsil hatası, kapsama hatası ve üst hacim göstergesi değerlerini raporlamışlardır. Yapılan deneyler, DMOEA-εC yönteminin diğerlerinden daha iyi kalitede çözümler bulunduğunu göstermektedir.

Evrimsel algoritmalara ek olarak, çok amaçlı problemler için geliştirilmiş diğer metasezgisel ve sezgisel yöntemler de bulunmaktadır.

Czyżżak ve Jaszkiewicz (1998), ÇABO problemleri için yaklaşık olarak bir baskın küme bulan metasezgisel bir yöntem önermişlerdir. PSA (Pareto Simulated Annealing, Pareto Benzetilmiş Tavlama) olarak adlandırılan bu algoritmada, her çözümün komşuluğunda yeni çözümler aranmakta ve amaç fonksiyonlarının ağırlıkları ayarlanarak baskın nokta kümesine yaklaşırlarken eşit aralıklarla iyi dağılmış bir küme bulmak amaçlanmaktadır. Kalite ölçüsü olarak, farklı eleman sayısı ölçüsüne sahip temsili kümeler için ortalama temsil hatası ve kapsama hatası kullanılmıştır. Benzer yöntem ve kalite ölçülerini kullanan Ulungu vd. (1999), ÇABO problemleri için baskın nokta kümesini yaklaşık olarak bulan MOSA (Multiobjective Simulated Annealing) yöntemini önermişlerdir. Çok amaçlı sırt çantası problemi için uygulanan bu yöntemi ön bir çalışmadan sonra diğer ÇABO problemlerine de uyarılmanın mümkün olduğu belirtilmektedir. Tuyttens vd. (2000), MOSA'yı açgözlü bir yaklaşım ile geliştirerek çok amaçlı atama problemine uyarlamışlardır.

Karasakal ve Köksalan (2009) ise ilk olarak, baskın nokta kümesini yaklaşık olarak tahmin ederek istenilen kalitede bir nokta kümesi belirlendikten sonra gerçek baskın noktalardan oluşan temsili küme bulmuşlardır. Bu algoritmada, birbirinden hemen hemen eşit uzaklıkta, iyi dağılıma sahip temsili noktalar bulmak amaçlanmakta ve bu nedenle ilk olarak, baskın nokta kümesini yaklaşık olarak temsil eden bir yüzey tanımlanmaktadır. Yüzeyin tanımlanmasında ilk olarak, Köksalan (1999) tarafından önerilen ve daha sonra Köksalan ve Lokman (2009) tarafından ÇABO problemleri üzerinde iyi çalıştığı gösterilen  $L_q$  yüzeyi kullanılmaktadır:

$$L_q(z_1, \dots, z_p) = \left( \sum_{k=1}^p \lambda_k (z_k - z_k^N)^q \right)^{1/q} = d$$

Burada  $\lambda$ , negatif olmayan ağırlık vektörünü göstermekte ve  $d$  değerinin ölçeklendirilmesinde de kullanılabilmesi için değeri 1 olarak kullanılmaktadır. Her problem için belirli sayıda baskın nokta üreterek o noktalardan geçen en yakın ağırlıklandırılmış  $L_q$  yüzeyini tanımlamaktadır. Daha sonra, tanımlanan bu yüzey üzerinde eşit dağılmış hipotetik noktalar üretilmekte ve bu noktalar referans alınarak *başarı skalarlaştırma*

programları (ASP-Achievement Scalarizing Program) çözümlenerek gerçek baskın noktalar bulunmaktadır (Wierzbicki, 1980):

(ASP)

$$\text{Min } \alpha \cdot \sum_{k=1}^p \rho_k z_k(x)$$

**Kısıtlar**

$$\alpha \geq (r_k - z_k(x)) \frac{1}{g_k} \quad k = 1, \dots, p$$

$$x \in X$$

Burada  $r$ , referans noktasını;  $g$  ise  $r$  noktasındaki gradyant vektörünü göstermektedir. Algoritmanın performansı eleman sayısı, kapsama hatası ve dağılım ölçülerine göre değerlendirilmiştir. Çok amaçlı doğrusal programlama problemleri üzerinde test edilen bu algoritmayı ÇATP problemleri için de uyarlamak mümkündür.

Aytuğ ve Sayın (2009), daha önceki çalışmalardan farklı olarak DVM (Destekçi Vektör Makinesi/ Support Vector Machine) kullanarak baskın noktaların yerlerini öğrenmeye çalışan bir yöntem önermişlerdir. Sınıflandırma problemlerinde, farklı sınıfları birbirinden ayıran bir düzlem bulmaya çalışan DVM'de her iki sınıfa en uzakta olan düzlemi bulmak amaçlanır. Doğrusal bir düzlem ile ayıramayan sınıflar için, doğrusal olmayan bir dönüşüm uygulanarak farklı uzayda bir ayırım yapmak da mümkündür. Bu çalışmada DVM, başlangıç nokta kümesi verilerek ÇATP problemleri için baskın ve baskılanan noktaları ayırmak için kullanılmaktadır. Daha sonra bu sınıflandırma, çok amaçlı evrimsel bir algoritma içinde kullanılarak temsili bir nokta kümesi üretmekte kullanılmaktadır. Çok amaçlı sırt çantası ve çok amaçlı atama problemleri üzerinde yapılan deneylerde ortalama temsil hatası, kapsama hatası ve yakınsama hatası ölçülmektedir.

Mavrotas ve Florios (2013), epsilon-kısıtı yöntemini geliştirerek ÇATP problemleri için AUGMECON2 algoritmasını tasarlamışlardır. Epsilon-kısıtı yönteminde kullanılan ( $P^{\epsilon}$ ) modelinden farklı olarak,  $k$ . amaç fonksiyonu değerinin  $\epsilon_k$  değerinin üstünde kalan miktarı,  $s_k$   $k \neq j$  amaç fonksiyonuna dahil edilmiştir:

( $P^{AUGMECON2}$ )

$$\text{Maks } z_j(x) + \sum_{\substack{k=1 \\ k \neq j}}^p \rho_k s_k$$

**Kısıtlar**

$$z_k(x) - s_k = \epsilon_k \quad k = 1, \dots, p \quad k \neq j$$

$$x \in X$$

Bu algoritmada, her amaç fonksiyonunun alabileceği değer aralığı  $q_k$  tane eşit aralığa bölünerek amaç fonksiyonu uzayı küçük parçalara ayrılmaktadır. Her iterasyonda, daha önce bulunan çözümlerdeki  $s_k$  değişkenlerin değerleri ve çözüm uzayında buldukları bölgeler dikkate alınarak  $\epsilon_k$  değerleri belirlenmektedir. Tüm baskın noktaları bulmak için tasarlanan bu algoritma aynı zamanda tüm baskın noktaları yaklaşık olarak temsil eden bir küme bulmak için de modifiye edilmiştir. Çözüm uzayı farklı sayıda parçalara bölünerek nokta sayısı farklı temsili çözüm kümeleri üretilmiş, bu kümelerin kalitesi tüm baskın nokta kümesi ile karşılaştırılarak kapsama göstergesi,  $C(Z_{AUGMECON2}, Z_B)$  raporlanmıştır. Ayrıca, SPEA2'nin iyi çalıştığı gösterilen sırt çantası problemleri üzerinde deneyler yapılmış ve iki nokta kümesinin birbirine göre dağılımını ölçen kapsama göstergesi,  $C(Z_{SPEA2}, Z_{AUGMECON2})$  raporlanmıştır.

Faulkenberg ve Wiecek (2012), iki amaçlı programlama problemleri için temsili küme bulan iki yöntem önermişlerdir. İlk yaklaşımda, epsilon-kısıtı yönteminin bir varyantı olan *kısıt-kontrollü aralıklara bölme* yöntemi kullanılmıştır. Öyle ki, bu yöntemde bilinen bir  $z(x^*)$  noktası ile istenilen aralığa sahip bir nokta bulmak için ( $P^\phi$ ) alttaki modeli çözümlenmiştir.

( $P^\phi$ )

$$\text{Maks } z_1(x)$$

**Kısıtlar**

$$z_2(x) \geq z_2(x^*)$$

$$u(z(x), z(x^*)) \geq \phi$$

$$x \in X$$

Burada  $\phi$  ise istenilen aralık değerini göstermektedir. Bu yöntem genelleştirilerek, istenilen aralıklara sahip



temsili küme bulan bir yöntem geliştirilmiştir.  $\phi$  değeri istenilen çözüme göre seçilmektedir. Diğer önerilen yöntemde ise iki seviyeli formülasyona dayalı bir aralık kontrol yöntemi önerilmektedir. İlk yönteme benzer olarak, daha önce bulunan noktalar referans alınarak verilen iki noktadan eşit uzaklıkta yeni bir nokta bulunması amaçlanmaktadır. Alt seviyedeki problem, baskın nokta bulmak ve üst seviyedeki problem ise aralığı kontrol etmek için çözülmektedir. İki amaçlı programlama problemleri üzerinde deneyler yapılan bu iki yöntemi, ÇATP için uyarlamak mümkündür.

Wang (2015), ÇATP ve ÇAKTP problemleri için doğrudan zigzag arama (DZZ) yöntemini önermiştir. Amaç fonksiyonunun *kara-kutu* olarak tanımlandığı ve bu nedenle karar değişkenlerine bağlı çalıştırılan benzetim modeli ile değerlendirildiği gerçek hayat problemlerine uygun bu yöntemde, zigzag ilerleyen baskın noktalar aranmaktadır. Tüm baskın nokta kümesini bulmayı amaçlayan bu yaklaşımda temsili bir küme bulunmakta ve performansı NSGA-II yöntemi ile kıyaslanmaktadır. Performans ölçüsü olarak ortalama yakınsama hatası ve bulunabilen baskın noktaların oranı raporlanmıştır.

#### 4.2 Yakınsama Yaklaşımları

Metasezgisel ve sezgisel yöntemler, belirli kalite ölçülerine göre baskın kümeyi iyi temsil eden baskın veya baskılanan noktalardan oluşan bir küme bulmayı amaçlamakta ve bunun için farklı teknikleri bir arada kullanmaktadır. İstenilen çözüm sayısı bu algoritmalarda kontrol edilebilmekte, ancak diğer kalite ölçüleri çoğu zaman algoritmaların performansını değerlendirmekte kullanılmaktadır. Farklı olarak yakınsama yaklaşımları, istenilen kalite seviyesine sahip temsili küme üretmeyi amaçlamakta ve performans garantisi sunmaktadır.

Bu kapsamda, istenilen epsilon göstergesi değerine sahip en küçük temsili nokta kümesi veya istenilen eleman sayısı ile en küçük epsilon göstergesi değerine sahip temsili küme yaratmayı amaçlayan birçok yaklaşım geliştirilmiştir.

Ruhe ve Fruhwirth (1990), Burkard vd. (1991), tek amaçlı optimizasyon problemleri için alt ve üst sınırları sıkıştırarak istenilen epsilon göstergesine sahip çözüm

bulan *sandviç* algoritmasını iki kriter için uyarlamışlardır. Minimum maliyetli akış problemleri üzerinde deneyler yapılmıştır.

Vassilvitskii ve Yannakakis (2005) ise üretilen çözüm sayısı üzerine performans garantisi veren açgözlü bir yaklaşım önermişlerdir. Verilen bir epsilon göstergesi ( $\epsilon$ ) değerini sağlayacak en küçük temsili kümenin eleman sayısı,  $opt_\epsilon$  olarak tanımlanırsa, en fazla  $3opt_\epsilon$  sayıda çözüm ile istenilen epsilon göstergesi değerine ulaşılabilmektedir. Bu algoritmaya iyileştirmeler önererek farklı problemlere uygulanabilir.  $2opt_\epsilon$  performans garantisine sahip bir algoritma tasarlayan Diakonikolas ve Yannakakis (2009), iki amaçlı en kısa yol ve kapsayan ağaç problemi için Vassilvitskii ve Yannakakis'e (2005) göre daha iyi bir performans garantisi sunmuşlardır. Bazgan vd. (2015), bu çalışmalarını inceleyerek tüm iki amaçlı optimizasyon problemleri için uygulanabilir yeni bir açgözlü yaklaşım,  $3opt_\epsilon$  tasarlamışlardır. Daha fazla amaç fonksiyonu olduğunda performans garantisi veren bir algoritma tasarlanmasının zor olduğunu belirten Bazgan vd. (2015), ancak tüm noktalar verildiğinde istenilen epsilon göstergesine sahip en küçük alt küme bulmak için bir çalışma önermişlerdir.

Ponte vd. (2012), dal ve sınır yönteminin bir uyarlaması olan ışın araması yaklaşımını ÇABO problemleri için geliştirmişlerdir. İki amaçlı sırt çantası problemi üzerinde deneyler yapan Ponte vd. (2012), verilen bir epsilon göstergesi değerine sahip en küçük alt küme bulmayı amaçlamışlardır.

Filippi ve Stevanato (2013), iki amaçlı ÇABO problemleri için yaklaşık olarak temsili alt küme bulan iki yöntem önermişlerdir. İlk algoritmada, her adımda elde edilen bir baskın nokta ile çözüm uzayındaki bölge dört parçaya ayrılmaktadır. Baskılanan ve baskılayan parçaların dışında kalan iki parçada arama devam etmektedir. Bu arama yönteminde, izin verilen hata payına göre bir önceki çözüme yakın bazı bölgeler de arama uzayından çıkarılmaktadır. İkinci yöntemde ise epsilon-kısıtı yönteminin bir modifikasyonu uygulanarak izin verilen hata payına göre baskın nokta kümesini yaklaşık olarak temsil eden bir nokta kümesi üretilmektedir. Kar ve maliyet amaç fonksiyonlarına sahip seyyar satıcı problemi

üzerinde test edilen bu yöntemler, epsilon göstergesi açısından performans garantisi sunmaktadır. Ayrıca, bulunabilen baskın noktaların sayısı da raporlanmıştır.

Pospelov (2009), amaç fonksiyonu uzayında çok yüzü baskın konveks kabuğunu yaklaşık olarak bulan bir metod önermiştir. ÇATP problemleri için uygulanabilir olan bu yöntemde, dal ve sınır yöntemi ile konveks kabuk bulmak için kullanılan yöntemler birlikte kullanılmıştır. Kabul edilebilir hata payına göre, konveks kabuğun her bir yüzeyi yaklaşık olarak bulunmaktadır. Bu yöntemde, konveks kabuk üzerinde yer alan destekli baskın noktalar bulunurken, desteksiz baskın noktaların da olası yerlerini KV'ye sunmak mümkündür.

Sayın ve Kouvelis (2005), iki amaçlı tamsayı programlama problemleri üzerinde çalışmışlar ve iki aşamalı bir yaklaşım önermişlerdir. İki amaçlı problemler için tüm baskın noktaları bulabilen bu algoritma, istenen kalite ölçülerine sahip bir alt küme bulunması için de adapte edilmiştir. Bu algoritmanın ilk aşamasında, verilen bir ağırlık vektörü,  $w \geq 0$  için  $z^{Pw} = \max_{x \in X} \min_{k=1, \dots, p} w_k z_k(x)$  altproblemi çözülmekte ve ikinci aşamasında ise  $\max_{x \in X} \sum_{k=1}^p w_k z_k(x)$  çözümlenerek olası baskın olmayan noktalar elenmektedir. Farklı ağırlık vektörleri kullanılarak iki amaçlı tamsayı problemleri için tüm baskın noktalar bulunabildiği gibi, her bir kriter aralığına göre yüzde cinsinden tolere edilebilecek kapsama hatası oranı verildiğinde, istenen kalitede temsili alt küme bulmak da mümkündür. Kouvelis ve Sayın (2006), bu algoritmayı hem çözümsel hem de kalite ölçüleri açısından geliştirerek sezgisel bir varyantını tasarlamış, sırt çantası, atama, minimum maliyetli ağ problemleri gibi çok çalışılan iki amaçlı ÇATP problemlerine uygulamışlardır.

Hamacher vd. (2007), iki amaçlı ÇATP problemleri için istenilen kalite ölçülerine göre temsili küme bulabilen *kutu yöntemini* geliştirmişlerdir. Her bir noktanın, bir kutu ile ilişkilendirilerek o kutudaki her noktayı temsil ettiği kabul edilmiştir. İstenilen kapsama hatasına ve istenilen nokta sayısına göre kutuların büyüklüğü tanımlanarak epsilon-kısıtı metodunun bir varyantı ile temsili alt küme üretilmektedir.

Sylva ve Crema (2007) ve Masin ve Bukchin (2008), ÇATP ve ÇAKTP problemleri için temsili baskın nokta

kümesi bulan algoritmalar geliştirmişlerdir. Bu algoritmalarda, her adımda mevcut baskın nokta kümesi tarafından en kötü temsil edilen, diğer bir deyişle, en fazla temsil hatası yapılan baskın nokta bulunmaktadır. Bunun için, mevcut  $n$  baskın nokta,  $z_t = (z_{t1}, \dots, z_{tp})$   $t=1, \dots, n$  ise bu kümeden en uzakta yer alan yeni bir baskın nokta,  $z_{n+1}$ , bulan bir model çözülmektedir. Her iki çalışmada benzer matematiksel modeller kullanılmıştır. Model  $(P_n)$ 'de gösterildiği gibi, baskın nokta kümesinden olan uzaklığı temsil eden  $\alpha$  değeri maksimize edilerek en uzakta yer alan noktayı bulmak amaçlanmaktadır. Optimal  $\alpha$  değeri için  $\alpha^* = \max_{x \in X_E} \min_{t=1, \dots, n} \max_{k=1, \dots, p} (z_k(x) - z_{tk})$  yazılabilir.

$(P_n)$

$$\text{Maks } \alpha + \sum_{k=1}^p \rho_k z_k(x)$$

**Kısıtlar**

$$z_k(x) \geq z_{tk} y_{tk} + \alpha - (M_k + U)(1 - y_{tk})$$

$$k = 1, \dots, p \quad t = 1, \dots, n \quad (1)$$

$$\sum_{k=1}^p y_{tk} \geq 1 \quad t = 1, \dots, n \quad (2)$$

$$\alpha \geq 0$$

$$y_{tk} \in \{0,1\}$$

$$x \in X$$

Model  $(P_n)$ 'de  $\rho_k > 0$ , baskın nokta bulmayı garantilemek amacıyla yeterince küçük seçilen pozitif bir sabit değeri temsil etmektedir. Kısıt (1)'de yer alan,  $-M_k$ ,  $z_k(x)$  için alt sınır değerine (öyle ki  $z_k(x) \geq -M_k \forall x \in X$ ),  $U$  ise herhangi iki baskın nokta arasındaki Tchebycheff uzaklık için üst sınır değere karşılık gelmektedir:

$$U \geq \max_{z_1, z_2 \in Z_B} \max_{k=1, \dots, p} |z_{1k} - z_{2k}|$$

Her adımda en fazla kapsama hatasına sahip, diğer bir deyişle, en kötü temsil edilen baskın nokta bulunması nedeniyle, kapsama hatasının algoritma boyunca artmadan ilerleyeceği garantilenmektedir. Burada, Masin ve Bukchin'in (2008) çalışmasından farklı olarak, amaç fonksiyonu değerleri için ölçeklendirme yapılmış, kullanılan uzaklık ve kapsama ölçüsü sırasıyla,  $u(z, y) = \max_{k=1, \dots, p} \frac{z_k - y_k}{z_k^I - z_k^N}$  ve

$\alpha(Z_T) = \max_{z \in Z_B} \min_{y \in Z_T} u(z, y)$  olarak tanımlanmıştır. Geliştirilen algoritmalarda KV, istenilen baskın nokta sayısına veya istenilen kapsama hatası seviyesine gelince algoritmayı durdurabilir. Bu nedenle, bu algoritma ile ÇATP problemleri için tüm baskın nokta kümesini, ÇAKTP problemleri için ise baskın noktaların bir kısmını bulmak da mümkündür. Ancak, bu algoritmalarda her yeni baskın nokta için model  $(P_n)$ 'de de gösterildiği gibi,  $p$  tane ikili değişken ve  $p+1$  tane kısıt eklenmesi gerekmektedir. Bu da problem büyüklüğü ve amaç sayısına bağlı olarak temsili küme bulunmasında çözüm zorluğuna neden olmaktadır.

Ceyhan (2014) ÇATP problemleri için temsili baskın nokta kümesi üreten çeşitli algoritmalar geliştirmiştir. İlk olarak, Sylva ve Crema (2007) ve Masin ve Bukchin (2008) tarafından geliştirilen algoritmaları revize ederek istenilen kapsama hatası ya da istenilen çözüm sayısına sahip temsili baskın nokta kümesi üreten bir algoritma tasarlamıştır. Bu algoritmada, Lokman ve Köksalan (2013) tarafından geliştirilen bir ayrıştırma ve arama algoritması ile model  $(P_n)$ 'in olurlu kümesi daha küçük alt bölgelere bölünerek, ek ikili değişkenler ve kısıtlar kullanılmadan tanımlanmaktadır. Bu sayede, model  $(P_n)$  yerine birden fazla küçük modeller çözülmekte ve çözüm süresi önemli ölçüde azalmaktadır. İkinci algoritmada ise tolere edilebilecek kapsama hatası,  $\alpha^*$ , algoritma başında verildiği varsayımı altında, bulunan baskın noktaların tolere edilebilecek uzaklığında olan noktaların olurlu kümeden çıkarılmasını sağlayan  $\alpha \geq \alpha^*$  kısıtı modele dahil edilmiştir. Bu algoritma ve daha önce tasarlanan algoritmalar, KV tarafından istenilen çözüm bilgisi algoritmaya dahil edilmeden ilerleyebilen ve istenilen kalite seviyesine ulaştığında durdurulabilen algoritmalarlardır. İstenilen çözüm sayısının bilindiği varsayımı altında tasarlanan üçüncü yaklaşımda, öncelikle baskın noktaların olası yerleri Köksalan ve Lokman (2009) tarafından önerilen  $L_q$  yüzeyi ile yaklaşık olarak tahmin edilmektedir. Bu yüzey üzerinde istenilen çözüm sayısı kadar hipotetik nokta kümesi bulunmakta ve en son olarak bu noktalara en yakın gerçek baskın noktalar başarı skalarlaştırma programları çözülerek üretilmektedir.

Eusebi vd. (2014), iki amaçlı ağ akışı problemleri için temsili baskın nokta kümesi bulan bir algoritma

tasarlamışlardır. Bir dizi epsilon-kısıtı problemi, dal ve sınır yöntemi ile çözülerek kapsama hatası veya dağılım ölçüsüne sahip temsili baskın nokta alt kümesi bulunmaktadır. Her adımda, yeni bir baskın nokta kümesi bulan bu yöntemde istenilen kalite seviyesine geldiğinde durdurulmaktadır.

Vaz vd. (2015), iki amaçlı ÇATP problemleri için temsili küme bulan algoritmalar tasarlamışlardır. Bu algoritmalarda, istenilen eleman sayısı verildiğinde, sırasıyla maksimum dağılım derecesine, minimum kapsama hatasına ve minimum epsilon göstergesine sahip temsili alt kümeler bulmak amaçlanmaktadır. İstenen kalite ölçülerine göre özel yapılandırılmış tesis yerleştirme problemleri olarak modellenen bu algoritmalarda, dinamik programlama ve eşik değer (threshold) yaklaşımları önerilmiştir. Dinamik programlamada, bir dizi küçük optimizasyon problemi çözülürken, eşik değer yaklaşımında optimal çözüm bulunana kadar bir dizi olurluluk problemi çözülmektedir. Bu çalışmada, belirtilen üç kalite ölçüsüne göre polinom zamanda çözülebilen iki amaçlı ÇABO problemleri dikkate alınmıştır. Bu çalışmayı, daha çok amaç fonksiyonuna sahip problemler için genelleştirmek kolay değildir.

Boland vd. (2015), iki amaçlı ÇATP için arama uzayını kutulara bölerek ilerleyen dengeli bir kutu yöntemi (Balanced Box Method/BBM) önermişlerdir. Bu yöntemde, yeni bir çözüm bulunmadan önce arama uzayı iki eşit parçaya ayrılmaktadır. Daha sonra, bir amaç fonksiyonu en iyilenecek yeni bir nokta bulunmakta ve bulunan noktalar kullanılarak kutular daha da daraltılmaktadır. İki amaçlı tamsayı programları için tüm baskın noktaları bulan BBM, tüm baskın nokta kümesini temsil eden bir alt küme bulmak için de tasarlanmıştır. Burada, belirli bir üst hacim boşluğu değerine ulaşabilmek için ürettiği baskın nokta sayısı performans ölçüsü olarak kullanılmaktadır.

Boland vd. (2016), üç amaçlı tamsayı programları için tüm baskın nokta kümesini bulan bir arama yöntemi, LSM (L-Shape Search Method) geliştirmişlerdir. Her adımda, yeni bulunan noktaların baskıladığı bölgeler kullanılarak kriter uzayı L-şeklinde arama bölgelerine ayrılmaktadır. Her adımda arama bölgeleri daraltılarak tüm baskın noktalar bulunmaktadır. Ek olarak, Boland

**Tablo 1.** Sınıflandırma

Problem Tipi	Amaç Sayısı	Yaklaşım	Çözüm Metodu	Kullanılan Kalite Ölçüleri	Çalışmalar
ÇABO	2	Yakınsama	Dal ve sınır yöntemi Işın araması	Eleman sayısı Epsilon göstergesi	Ponte vd. (2012)
		Yakınsama	Epsilon-kısıtı metodu Kutu yöntemi	Eleman sayısı Epsilon göstergesi	Filippi ve Stevanato (2013)
		Yakınsama	Epsilon-kısıtı metodu Dal ve sınır yöntemi	Eleman sayısı Kapsama hatası Dağılım derecesi	Eusebi vd. (2014)
		Yakınsama	Dinamik programlama Eşik değer algoritması	Eleman sayısı Kapsama hatası Epsilon göstergesi Dağılım derecesi	Vaz vd. (2015)
	$p$	Sezgisel/ Metasezgisel	Benzetilmiş tavlama	Kapsama hatası Ortalama temsil hatası Başarı oranı Dağılım oranı	Czyżzak ve Jaszkiewicz (1998) Ulungu vd. (1999) Tuytens vd. (2000)
ÇATP	2	Yakınsama	İki aşamalı optimizasyon yaklaşımı	Eleman sayısı Kapsama hatası	Sayın ve Kouvelis (2005) Kouvelis ve Sayın (2006)
		Yakınsama	Epsilon-kısıtı metodu Kutu yöntemi	Eleman sayısı Kapsama hatası	Hamacher vd. (2007)
		Yakınsama	Uzayı bölme ve arama yöntemi	Eleman sayısı Üst hacim boşluğu	Boland vd. (2015)
	$p$	Yakınsama	Uzayı bölme ve arama yöntemi	Başarı oranı Üst hacim boşluğu Kapsama hatası Ortalama temsil hatası Dağılım göstergesi	Boland vd. (2016)
		Sezgisel/ Metasezgisel	Destekçi vektör makinesi Evrimsel algoritma	Kapsama hatası Ortalama temsil hatası Ortalama yakınsama hatası	Aytuğ ve Sayın (2009)
		Sezgisel/ Metasezgisel	Epsilon-kısıtı metodu	Eleman Sayısı Kapsama göstergesi	Mavrotas ve Florios (2013)
		Yakınsama	Yüzey tanımlama Konveks Kabuk	Eleman sayısı Ortalama yakınsama hatası	Pospelov (2009)
ÇAKTP	$p$	Sezgisel/ Metasezgisel	Arama yöntemi	Başarı oranı Ortalama yakınsama hatası	Wang (2015)
		Yakınsama	Uzayı bölme ve arama yöntemi	Eleman sayısı Kapsama hatası	Sylva ve Crema (2007) Masin ve Bukchin (2008) Ceyhan (2014)
ÇAO	2	Sezgisel/ Metasezgisel	Epsilon-kısıtı metodu	Eleman sayısı Dağılım derecesi	Faulkenberg ve Wiecek (2012)
		Yakınsama	Sandviç algoritması	Eleman sayısı Epsilon göstergesi	Ruhe ve Fruhwirth (1990)
	$p$	Sezgisel/ Metasezgisel	Uzayı bölme ve arama yöntemi	Eleman sayısı	Armann (1987)
		Sezgisel/ Metasezgisel	Yüzey tanımlama Başarı skalarlaştırma programı	Eleman sayısı Kapsama hatası Dağılım derecesi	Karasakal ve Köksalan (2009)
		Sezgisel/ Metasezgisel	Evrimsel algoritma	Eleman sayısı	Schaffer (1984)
				Eleman sayısı Bölgesel dağılım derecesi	Srinivas ve Deb (1995)
				Eleman sayısı Kapsama göstergesi Üst hacim göstergesi	Zitzler ve Thiele (1999)
				Eleman sayısı Üst hacim göstergesi	Zitzler vd. (2002)
				Eleman sayısı Ortalama yakınsama hatası Çeşitlilik derecesi	Deb vd. (2002)
				Başarı oranı	Ishibuchi ve Murata (1998)
		Sezgisel/ Metasezgisel	Evrimsel algoritma Yerel arama yöntemi	Kapsama göstergesi Ortalama temsil hatası	Zhang ve Li (2007)
		Sezgisel/ Metasezgisel	Evrimsel algoritma Ağırlıklandırma yöntemi	Ortalama temsil hatası Üst hacim göstergesi	Zhang vd. (2016)
		Sezgisel/ Metasezgisel	Evrimsel algoritma Epsilon-kısıtı metodu	Ortalama temsil hatası Kapsama hatası Üst hacim göstergesi	Chen vd. (2017)
		Yakınsama	Açgözlü yaklaşımı	Eleman sayısı Epsilon göstergesi	Vassilvitskii ve Yannakakis (2005) Diakonikolas ve Yannakakis (2009) Bazgan vd. (2015)

vd. (2016), tüm baskın noktaları bulmak için gerekli sürenin onda biri süre sınırı koyarak mevcut algoritma ile temsili bir baskın nokta kümesi bulmayı önermişlerdir. Performans ölçüsü olarak, nadir noktası referans alınarak üst hacim boşluğunun yüzdesi bulunmaktadır. Ayrıca, bulunan noktaların yüzdesi, kapsama hatası ve ortalama temsil hatası kalite ölçüsü olarak kullanılmaktadır. Dağılımı değerlendirmek için ise dağılım göstergesi hesaplanmaktadır.

## 5. SONUÇ

Farklı sektörlerde yaygın olarak karşılaşılan ÇATP problemleri için genellikle birçok anlamlı çözüm vardır. Değişik çözümler, değişik amaçlar öne çıktığında anlam kazanabilir ve değişik karar vericiler için farklı çözümlerin tercih edilmesi doğaldır. Genellikle baskın nokta sayısı çok fazladır ve hepsini bulmak hem çözüm zorluğu hem de değerlendirme yapmak açısından uygulanabilir bir yaklaşım değildir. Bu nedenle, baskın noktaları iyi temsil eden, istenilen kalitede küçük alt kümeler bulmak önemlidir.

Bu çalışmada ilk olarak, temsili kümenin performansını değerlendirmek amacıyla önerilen kalite ölçüleri eleman sayısı, kapsama ve dağılım ölçüleri başlıkları altında sınıflandırılarak incelenmiştir. Daha sonra, istenilen kalite ölçüleri dikkate alarak temsili alt küme bulan ve ÇATP problemleri için uygulanabilir yaklaşımlar tartışılmıştır. İki amaçlı optimizasyon problemleri, basitleştirici özellikleri nedeniyle çok amaçlı problemlerden ayrı olarak listelenmiştir. Bu yaklaşımları çok amaçlı problemler için genellemek çok kolay değildir.

İncelenen çalışmalarda, baskın noktalara yakın noktalar bulmak kadar, iyi dağılıma sahip, kriter uzayının farklı bölgelerini eşit oranda temsil eden nokta kümesi bulmanın önemi vurgulanmıştır. ÇATP problemlerinin çözüm zorluğu düşünüldüğünde, istenilen kalite seviyesinde minimum eleman sayısına sahip veya istenilen eleman sayısı ile en iyi kalite seviyesine sahip alt küme bulmak daha da önem kazanmaktadır. Bu kapsamda geliştirilen yöntemlerin çoğunda art arda matematiksel modeller çözülerek istenilen özelliklere sahip alt kümeyi oluşturacak yeni noktalar adım adım aranmaktadır.

Ancak, problem büyüklüğü arttıkça çözüm zorluğu artmakta, bu da metasezgisel yöntemlerin ön plana çıkmasına neden olmaktadır. Özellikle, popülasyon bazlı çalışması nedeni ile birden çok çözüm üretebilen evrimsel algoritmalar çok amaçlı optimizasyon problemlerine çok uygundur. İstenilen kalite ölçüleri, popülasyondaki bireylerin, yani noktaların uygunluk fonksiyonu değerlerinin hesaplanmasında dikkate alınmaktadır. Böylece, popülasyonda istenilen kalite ölçülerine göre bazı noktalar elenirken, bazı noktalar popülasyonda kalma şansına sahip olmaktadır. Bu algoritmalarda istenilen kalite seviyesine ulaşmak için farklı teknikler kullanılsa da kapsama ve dağılım ölçüleri için performans garantisi sunulamamaktadır.

Mevcut çalışmalar incelendiğinde, ÇATP problemleri için iyi temsili küme bulmak, geliştirilen birçok çalışma olmasına rağmen, çözüm zorlukları veya sundukları kalite seviyeleri nedeniyle üzerine çalışılması halen önem taşıyan alanlardan biridir. Burada, sadece baskın noktalardan oluşan temsili küme bulan yaklaşımlar yerine, baskın kümesine kabul edilebilecek uzaklıkta yer alan noktalardan oluşan bir küme bulan pratik yaklaşımlar önemlidir. Genel ÇATP problemleri için geliştirilen yaklaşımları uygulamak ve probleme özel yöntemlerle geliştirmek açısından, büyük ölçekli problemlerde yapılacak uygulamalar da ayrıca önem taşımaktadır. Bu problemlerde, tüm baskın nokta kümesi yerine, sadece KV'nin ilgilendiği bölgede yer alan noktaları iyi temsil eden yaklaşımlar geliştirmek amacıyla etkilimli yöntemlerin de kullanılması önemli bir çalışma alanıdır. Ayrıca çoğu çalışmada, kriter uzayının farklı çözüm yoğunluğuna sahip farklı bölgelerinin eşit temsil edilmesi amaçlanmaktadır. Farklı özellikteki bölgelerin özelliklerini KV'nin tercihleri ile birlikte dikkate alarak yeni kalite ölçüleri geliştirmek ve bu doğrultuda yeni yaklaşımlar geliştirmek, bu konuda yararlı yeni çalışma alanlarıdır.

## TEŞEKKÜR

1001-Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Projelerini Destekleme Programı 215M844 no'lu Proje kapsamındaki desteklerinden dolayı TÜBİTAK'a teşekkür ederiz.

## KAYNAKÇA

1. **Aktaş, E., Özaydın, Ö., Ülengin, F., Önsel, Ş., Ağaran, B.** 2011. "İstanbul'da İtfaiye İstasyonu Yerlerinin Seçimi İçin Yeni Bir Model," *Endüstri Mühendisliği Dergisi*, sayı 22 (4), s. 2-12.
2. **Armann, R.** 1987. "Solving Multiobjective Programming Problems by Discrete Representation," *Optimization*, vol. 20, p. 483-492.
3. **Aytuğ, H., Sayın, S.** 2009. "Using Support Vector Machines to Learn the Efficient Set in Multiple Objective Discrete Optimization," *European Journal of Operational Research*, vol. 193, p. 510-519.
4. **Bazgan, C., Jamain, F., Vanderpooten, D.** 2015. "Approximate Pareto Sets of Minimal Size for Multi-Objective Optimization Problems," *Operation Research Letters*, vol. 43, p. 1-6.
5. **Boland, N., Charkhgard, H., Savelsbergh, M.** 2015. "A Criterion Space Search Algorithm for Biobjective Integer Programming: The Balanced Box Method," *INFORMS Journal on Computing*, vol. 27 (4), p. 735-754.
6. **Boland, N., Charkhgard, H., Savelsbergh, M.** 2016. "The L-Shape Search Method for Triobjective Integer Programming," *Mathematical Programming Computation*, vol. 8 (2), p. 217-251.
7. **Burkard, R. E., Hamacher, H., Rote, G.** 1991. "Sandwich Approximation of Univariate Convex Functions with an Application to Separable Convex Programming," *Naval Research Logistics*, vol. 38 (6), p. 911-924.
8. **Ceyhan, G.** 2014. "Generating Representative Nondominated Point Subsets in Multiobjective Integer Programs," *Yüksek Lisans Tezi, Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.*
9. **Chen, J., Li, J., Xin, B.** 2017. "DMOEA-εC: Decomposition-Based Multi-Objective Evolutionary Algorithm with the ε-Constraint Framework," *IEEE Transactions on Evolutionary Computation*, DOI 10.1109/TEVC.2017.2671462.
10. **Czyżżak, P., Jaszkiweicz, A.** 1998. "Pareto Simulated Annealing - a Metaheuristic Technique for Multiple-Objective Combinatorial Optimization," *Journal of Multi-Criteria Decision Analysis*, vol. 7, p. 34-47.
11. **Dächert, K., Klamroth, K.** 2015. "A Linear Bound on the Number of Scalarizations Needed to Solve Discrete Tricriteria Optimization Problems," *Journal of Global Optimization*, vol. 61 (4), p. 643-676.
12. **Deb, K.** 2001. *Multiobjective Optimization Using Evolutionary Algorithms*, Chichester, Wiley, U. K.
13. **Deb, K., Pratap, A., Agarwal, S., Meyarivan, T.** 2002. "A Fast and Elitist Multiobjective Genetic Algorithm: NSGA-II," *IEEE Transactions on Evolutionary Computation*, vol. 6, p. 182-197.
14. **Diakonikolas, I., Yannakakis, M.** 2009. "Small Approximate Pareto Sets for Biobjective Shortest Paths and Other Problems," *SIAM Journal on Computing*, vol. 39 (4), p. 1340-1371.
15. **Ehrgott, M., Gandibleux, X.** 2000. "A Survey and Annotated Bibliography of Multiobjective Combinatorial Optimization," *OR Spectrum*, vol. 22 (4), p. 425-460.
16. **Ehrgott, M., Gandibleux, X.** 2004. "Approximative Solution Methods for Multiobjective Combinatorial Optimization," *Sociedad de Estadística E Investigación Operativa*, vol. 12 (1), p. 1-89.
17. **Ehrgott, M., X. Gandibleux.** 2008. "Hybrid Metaheuristics for Multi-Objective Combinatorial Optimization," *Studies in Computational Intelligence (SCI)*, vol. 114, p. 221-259.
18. **Eusébio, A., Figueira, J. R., Ehrgott, M.** 2014. "On Finding Representative Non-Dominated Points for Bi-Objective Integer Network Flow Problems," *Computers & Operations Research*, vol. 48, p. 1-10.
19. **Faulkenberg, S. L., Wiecek, M. M.** 2010. "On the Quality of Discrete Representations in Multiple Objective Programming," *Optimization and Engineering*, vol. 11 (3), p. 423-440.
20. **Faulkenberg, S. L., Wiecek, M. M.** 2012. "Generating Equidistant Representations in Biobjective Programming," *Computational Optimization and Applications*, vol. 51, p. 1173-1210.
21. **Filippi, C., Stevanato, E.** 2013. "Approximation Schemes for Bi-Objective Combinatorial Optimization and Their Application to the TSP with Profits," *Computers & Operations Research*, vol. 40, p. 2418-2428.
22. **Goldberg, D. E.** 1989. *Genetic Algorithm in Search, Optimisation, and Machine Learning*, Addison-Wesley, Boston.
23. **Goldberg, D. E., Richardson, J.** 1987. "Genetic Algorithms with Sharing for Multimodal Function Optimization," In *Genetic Algorithms and Their Applications: Proceedings of the Second International Conference on Genetic Algorithms*, J. J. Grefenstette, Ed. Hillsdale, NJ: Lawrence, Erlbaum, 1987, p. 41-49.
24. **Hamacher, H. W., Pedersen, C. R., Ruzika, S.** 2007. "Finding Representative Systems for Discrete Bicriterion Problems," *Operations Research Letters*, vol. 35, p. 336-344.
25. **Ishibuchi, H., Murata, T.** 1998. "Multi-Objective Genetic Local Search Algorithm and its Application to Flowshop Scheduling," *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics: Systems*, vol. 28 (3), p. 392-403.
26. **Jorge, J. M.** 2009. "An Algorithm for Optimizing a Linear Function over an Integer Efficient Set," *European Journal of Operational Research*, vol. 195, p. 98-103.

27. **Kamışlı Öztürk, Z., Kasimbeyli, N., Sağır Özdemir, M., Soyuo z Acar, M.,  zçetin, E., Aleg z, M., Ceylan, G.** 2016. "Kullanıcı Tercihlerinin Dikkate Alınması Durumunda  niversite Ders  izelgeleme Problemi," *Endüstri M hendisliđi Dergisi*, sayı 27 (1), s. 2-16.
28. **Karasakal, E., Köksalan, M.** 2009. "Generating a Representative Subset of the Nondominated Frontier in Multiple Criteria Decision Making," *Operations Research*, vol. 57 (1), p. 187-199.
29. **Kırlık, G., Sayın, S.** 2014. "A New Algorithm for Generating all Nondominated Solutions of Multiobjective Discrete Optimization Problems," *European Journal of Operational Research*, vol. 232 (3), p. 479-488.
30. **Kırlık, G., Sayın, S.** 2015. "Computing the Nadir Point for Multiobjective Discrete Optimization Problems," *Journal of Global Optimization*, vol. 62 (1), p. 79-99.
31. **Koçanlı, M. M., Aydınbeyli, Y. E., Saraç, T.** 2012. "Eti Şirketler Grubu'nda  retim  izelgeleme Problemi İçin Bir Hedef Programlama Modeli ve Genetik Algoritma," *Endüstri Mühendisliği Dergisi*, sayı 23 (3), p. 4-21.
32. **Kohonen, T.** 1998. "The self-Organizing Map," *Neurocomputing*, vol. 21 (1-3), p. 1-6.
33. **Kouvelis, P., Sayın, S.** 2006. "Algorithm Robust for the Bicriteria Discrete Optimization Problem: Heuristic Variations and Computational Evidence," *Annals of Operation Research*, vol. 147, p. 71-85.
34. **Köksalan, M.** 1999. "A Heuristic Approach to Bicriteria Scheduling," *Naval Research Logistics*, vol. 46 (7), p. 777-789.
35. **Köksalan, M., Lokman, B.** 2009. "Approximating the Nondominated Frontiers of Multi-Objective Combinatorial Optimization Problems," *Naval Research Logistics*, vol. 56, p. 191-198.
36. **Köksalan, M., Lokman, B.** 2015. "Finding Nadir Points for Multi-Objective Integer Programs," *Journal of Global Optimization*, vol. 62, p. 55-77.
37. **Lokman, B., Köksalan, M.** 2013. "Finding all Nondominated Points of Multi-Objective Integer Programs," *Journal of Global Optimization*, vol. 57, p. 347-365.
38. **Masin, M., Bukchin, Y.** 2008. "Diversity Maximization Approach for Multiobjective Optimization," *Operations Research*, vol. 56 (2), p. 411-424.
39. **Mavrotas, G., Florios, K.** 2013. "An Improved Version of the Augmented e-Constraint Method (AUGMECON2) for Finding the Exact Pareto Set in Multi-Objective Integer Programming Problems," *Applied Mathematics and Computation*, vol. 219, p. 9652-9669.
40. **Miettinen, K., Eskelinen, P., Ruiz, F., Luque, M.** 2010. "NAUTILUS Method: An Interactive Technique in Multi-Objective Optimization Based on the Nadir Point," *European Journal of Operational Research*, vol. 206 (2), p. 426-434.
41. **Osman, I., Laporte, G.** 1996. "Metaheuristics: A Bibliography," *Annals of Operations Research*, vol. 63, p. 513-623.
42. ** zcelik, F., Saraç, T.** 2011. "Sıra Bağımlı Hazırlık S reli İki  l tl  Tek Makine  izelgeleme Problemi İçin Sezgisel Bir  z m Yöntemi," *Endüstri M hendisliđi Dergisi*, sayı 22 (4), s. 48-57.
43. ** zlen, M., Burton B. A., MacRae, C. A. G.** 2014. "Multi-Objective Integer Programming: An Improved Recursive Algorithm," *Journal of Optimization Theory and Applications*, vol. 160 (2), p. 470-482.
44. **Papadimitriou, C. H., Yannakakis, M.** 2000. "On the Approximability of Trade-Offs and Optimal Access of Web Sources," In: *Proceedings of the 41<sup>st</sup> IEEE FOCS*, IEEE Computer Society Press, p. 86-92.
45. **Ponte, A., Paquete, L., Figueira J.** 2012. "On Beam Search for Multicriteria Combinatorial Optimization Problems," In: *Beldiceanu N, Jussien N, Pinson E, editors. Proceedings of the 9th International Conference on Integration of AI and OR Techniques in Constraint Programming for Combinatorial Optimization Problems, CPAIOR 2012, May 28-June 1, 2012, Nantes, France; Lecture Notes in Computer Science, Springer, Berlin, Germany*, p. 307-321.
46. **Pospelov, A.** 2009. "Approximating the Convex Edgeworth-Pareto Hull in Integer Multi-Objective Problems with Monotone Criteria," *Computational Mathematics and Mathematical Physics*, vol. 49 (10), p. 1686-1699.
47. **Ruhe, G., Fruhwirth, B.** 1990. "ε-Optimality for Bicriteria Programs and its Application to Minimum Cost Flows," *Computing*, vol. 44 (1), p. 21-34.
48. **Ruzika, S., Wiecek, M. M.** 2005. "Survey Paper: Approximation Methods in Multi-Objective Programming," *Journal of Optimization Theory and Applications*, vol. 126 (3), p. 473-501.
49. **Sayın, S.** 2000. "Measuring the Quality of Discrete Representations of Efficient Sets in Multiple Objective Mathematical Programming," *Mathematical Programming*, vol. 87 (3), p. 543-560.
50. **Sayın, S., Kouvelis, P.** 2005. "The Multi-Objective Discrete Optimization Problem: A Weighted Min-Max Two-Stage Optimization Approach and a Bicriteria Algorithm," *Management Science*, vol. 51 (10), p. 1572-1581.
51. **Schaffer, J. D.** 1984. "Multiple Objective Optimization with Vector Evaluated Genetic Algorithms," Ph. D. Dissertation, Vanderbilt University, Nashville, TN.
52. **Schott, J. R.** 1995. "Fault Tolerant Design Using Single and Multicriteria Genetic Algorithm Optimization," Master's Thesis, Massachusetts Institute of Technology.
53. **Shukla, P. K., Deb, K.** 2007. "On Finding Multiple Pa-

- reto-Optimal Solutions Using Classical and Evolutionary Generating Methods,” *European Journal of Operational Research*, vol. 181, p. 1630-1652.
54. **Silverman, B. W.** 1986. *Density Estimation for Statistics and Data Analysis*, Chapman and Hall, London.
  55. **Sipahioğlu, A., Saraç, T.** 2010. “Çok Amaçlı Sırt Çantası Probleminin Çözümüne Yeni Bir Yaklaşım: Konik Skalerleştirme,” *Endüstri Mühendisliği Dergisi*, sayı 21 (4) s. 2-12.
  56. **Srinivas, N., Deb, K.** 1995. “Multiobjective Optimization Using Nondominated Sorting in Genetic Algorithms,” *Evolutionary Computation*, vol. 2 (3), p. 221-248.
  57. **Steiner, S., Radzik, T.** 2008. “Computing all Efficient Solutions of the Biobjective Minimum Spanning Tree Problem,” *Computers & Operations Research*, vol. 35 (1), p. 198-211.
  58. **Steuer, R. E.** 1986. *Multiple Criteria Optimization: Theory, Computation, and Application*, John Wiley & Sons, Inc., New York, NY.
  59. **Sylva, J., Crema, A.** 2007. “A Method for Finding Well-Dispersed Subsets of Non-Dominated Vectors for Multiple Objective Mixed Integer Linear Programs,” *European Journal of Operational Research*, vol. 180 (3), p. 1011-1027.
  60. **Tuytens, D., Teghem, J., Fortemps, P., Nieuwenhuize, K. V.** 2000. “Performance of the Mosa Method for the Bicriteria Assignment Problem,” *Journal of Heuristics*, vol. 6 (3), p. 295-310.
  61. **Ulungu, E. L., Teghem, J.** 1995. “The Two-Phases Method: An Efficient Procedure to Solve Bi-Objective Combinatorial Optimization Problems,” *Foundations of Computing and Decision Sciences*, vol. 20 (2), p. 149-165.
  62. **Ulungu, E. L., Teghem, J., Fortemps, P. H., Tuytens, D.** 1999. “MOSA Method: A Tool for Solving Multiobjective Combinatorial Optimization Problems,” *Journal of Multi-Criteria Decision Analysis*, vol. 8, p. 221-236.
  63. **Van Veldhuizen, D. A.** 1999. “Multiobjective Evolutionary Algorithms: Classifications, Analyses, and New Innovations,” Ph. D. Thesis, Department of Electrical and Computer Engineering, Graduate School of Engineering, Air Force Institute of Technology, Wright-Patterson AFB, Ohio.
  64. **Vassilvitskii, S., Yannakakis, M.** 2005. “Efficiently Computing Succinct Trade-off Curves,” *Theoretical Computer Science*, vol. 348 (2-3), p. 334-356.
  65. **Vaz, D., Paquete, L., Fonseca, C. M., Klamroth, K., Stiglmayr, M.** 2015. “Representation of the Nondominated Set in Bi-Objective Discrete Optimization,” *Computers & Operations Research*, vol. 63, p. 172-186.
  66. **Visee, M., Teghem, J., Pirlot, M., Ulungu, E. L.** 1998. “Two-Phases Method and Branch and Bound Procedures to Solve the Bi-Objective Knapsack Problem,” *Journal of Global Optimization*, vol. 12, p.139-155.
  67. **Wang, H.** 2015. “Direct Zigzag Search for Discrete Multi-Objective Optimization,” *Computers & Operations Research*, vol. 61, p. 100-109.
  68. **Wierzbicki, A. P.** 1980. “The Use of Reference Objective in Multiobjective Optimization,” G. Fandel, T. Gal, eds. *Multiple Criteria Decision Making, Theory and Application*, Springer-Verlag, Berlin, p. 468-486.
  69. **Wu, J., Azarm, S.** 2001. “Metrics for Quality Assessment of a Multiobjective Design Optimization Solution Set,” *Journal of Mechanical Design, Transactions of the ASME*, vol. 123 (1), p. 18-25.
  70. **Zhang, Q., Li, H.** 2007. “MOEA/D: A Multiobjective Evolutionary Algorithm Based on Decomposition,” *IEEE Transactions on Evolutionary Computation*, vol. 11 (6), p. 712-731.
  71. **Zhang, H., Zhou, A., Song, S., Zhang, Q., Gao, X., Zhang, J.** 2016. “A Self Organizing Multiobjective Evolutionary Algorithm,” *IEEE Transactions on Evolutionary Computation*, vol. 20 (5), p. 792-806.
  72. **Zhou, A., Qu, B.-Y., Li, H., Zhao, S.-Z., Suganthan, P. N., Zhang, Q.** 2011. “Multiobjective Evolutionary Algorithms: A Survey of the State of the Art,” *Swarm and Evolutionary Computation*, vol. 1, p. 32-49.
  73. **Zitzler, E.** 1999. “Evolutionary Algorithms for Multi-Objective Optimization: Methods and Applications,” Ph. D., Swiss Federal Institute of Technology, Zurich.
  74. **Zitzler, E., Laumanns, M., Thiele, L.** 2002. “SPEA2: Improving the Strength Pareto Evolutionary Algorithm for Multiobjective Optimization,” In: Giannakoglou, K., et al. (eds.) *Evolutionary Methods for Design, Optimisation and Control with Application to Industrial Problems (EUROGEN 2001)*, p. 95-100. International Center for Numerical Methods in Engineering, Spain.
  75. **Zitzler, E., Thiele, L.** 1998. “Multiobjective Optimization Using Evolutionary Algorithms - A Comparative Case Study,” In: *Parallel Problem Solving from Nature - PPSN V*, volume 1498 of the series *Lecture Notes in Computer Science*, Springer, Berlin, p. 292-301.
  76. **Zitzler, E., Thiele, L.** 1999. “Multiobjective Evolutionary Algorithms: A Comparative Case Study and the Strength Pareto Approach,” *IEEE Transactions on Evolutionary Computation*, vol. 3 (4), p. 257-271.
  77. **Zitzler, E., Thiele, L., Laumanns, M., Fonseca, C. M., Grunert da Fonseca, V.** 2003. “Performance Assessment of Multiobjective Optimizers: An Analysis and Review,” *IEEE Transactions on Evolutionary Computation*, vol. 7 (2), p. 117-132.



## ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ DERGİSİ YAYIN POLİTİKASI

Endüstri Mühendisliği Dergisi, TMMOB-MMO tarafından üç ayda bir yayımlanan süreli ve hakemli bir yayındır.

### Hedef Okuyucu Kitleleri

Endüstri Mühendisliği (EM) ve Yöneylem Araştırması (YA) konularında araştırma yapan, eğitim veren, eğitim gören ve bu alanlarda çalışanlardan oluşur.

### Yayın Amaçları

EM ve YA alanlarındaki gelişmeler, çalışmalar ve araçlarla ilgili akademik nitelikli yayın yapar.

EM ve YA alanlarındaki başarılı uygulamaların yaygınlaştırılması ve deneyimlerin paylaşılması için yayın yapar.

Meslek ile ilgili görüşlerin aktarılmasını ve tartışılmasını sağlar. EM ve YA alanlarında ortak bir dilin oluşmasına katkıda bulunur.

### Yayın İlkeleri

EM Dergisi, Yayın Kurulu (YK) tarafından yayına hazırlanır. YK yazıların seçimini hakem görüşlerini alarak yapar.

Yazarlara, okurlara ve kurumlara tarafsız yaklaşır.

Konu zenginliğinin korunup geliştirilmesini teşvik eder.

İçerik, dil ve biçim açısından nitelikli yayın yapar. Yayın dili Türkçe ve İngilizce'dir.

Yazının EM Dergisine gönderilmesi,

- yazının herhangi bir yayın organında yayımlanmamış olduğunu,
  - EM Dergisindeki değerlendirme süreci boyunca başka bir yayın organının değerlendirme sürecinde yer almayacağını,
  - yazı kabul edildiğinde yazının basım haklarının EM Dergisine geçtiğini ve başka bir dilde ve/veya ortamda, yayıncının onayı olmaksızın yayımlanamayacağını
- gösterir.

### Yazı Türleri ve Değerlendirme

EM Dergisi, yayın amaçları ve ilkeleri doğrultusunda hedef okuyucu kitlesini ilgilendiren *Makale, Uygulama, Teknik Not, İletişim, Doktora Tez Özeti ve Ödül Almış Çalışma* gibi farklı türde yazılara yer verir.

Makale, literatüre katkı sağlayan özgün yazıdır.

Uygulama, mesleki pratiğe katkı sağlayan ve mesleki bir konuda tutarlı, rasyonel ve başarılı uygulamaları anlatan yazıdır.

Teknik Not, Makale'ye göre dar kapsamlı, literatüre katkı sağlayan özgün yazıdır.

İletişim, eğitime, mesleğin icrası ve uygulamalarına genel anlamda katkı sağlayan; mesleğe yönelik felsefi tartışmalar başlatma ve mesleğe yeni açılımlar kazandırma potansiyeli taşıyan yazıdır. Meslek ve alanla ilgili eser, kitap ve yazılımları tanıtan değerlendiren yazılar da bu kapsamdadır.

Doktora Tez Özeti, doktorasının son iki yıl içerisinde tamamlamış araştırmacıların doktora tez özeti'dir.

Ödül Almış Çalışma, (bilinen) bir ödül için jüri tarafından belirli ölçütlere göre değerlendirilmiş ve ödüle layık bulunmuş yazıdır.

Makale, Uygulama, Teknik Not ve İletişim yazıları EM Dergisi yayın amaçları ve ilkeleri ışığında YK tarafından ön değerlendirmeye alınır, hakemlik sürecinin başlatılmasına ya da yazının ret edilmesine karar verilir. Hakemlik sürecine alınan yazı en az iki hakem tarafından değerlendirilir. Bu süreçte adlar iki taraftan da gizlenir. YK, hakemlerin görüşleri doğrultusunda yazıyı kabul veya ret eder veya yazının revize edilmesini ister. Değerlendirme sırasında tüm haberleşme iletişim yazarı ile yapılır.

Doktora Tez Özeti ve Ödül Almış Çalışma türü yazılar YK tarafından değerlendirilir. Gerekirse hakem görüşü alınır.

Ayrıca, EM Dergisinde tanıtım yazısı, haber, söyleşi, anı ve çeviri gibi farklı yazı türleri YK değerlendirmesi ile yayımlanabilir.

### Yazı Gönderme

EM Dergisi Yazı Kuralları'na uygun bir şekilde yazılmış yazılar, elektronik ortamda <http://omys.mmo.org.tr/endustri/> adresinden gönderilir. İletişim yazılarının e-posta ve posta adresleri, faks ve telefon numaraları açıkça belirtilmelidir.

## JOURNAL OF INDUSTRIAL ENGINEERING EDITORIAL POLICY

Journal of Industrial Engineering (EMD) is a refereed periodical which is published quarterly by TMMOB-MMO (Turkish Chamber of Mechanical Engineers).

### Target Audience

The targeted audience of the journal comprises researchers, educators and practitioners in the fields of Industrial Engineering (IE) and Operations Research (OR).

### Objectives of Publication

It publishes academic manuscripts on the developments, processes, and tools in the fields of IE and OR.

It publishes for the purpose of extending the successful practices in IE and OR and enabling the sharing of experiences.

It provides a ground to transfer different views on the profession and discuss these viewpoints.

It promotes the formation of a common professional language in the fields of IE and OR.

### Principles of Publication

EMD is prepared for publication by the Editorial Board. The Editorial Board selects the material to be published by consulting the referees.

It holds an objective attitude towards authors, readers, and institutions.

It ensures and encourages variety in topics.

It publishes manuscripts which are qualified in terms of content, language and form.

Publication language is Turkish and English.

The fact that a manuscript is sent to EMD indicates that:

- The relevant manuscript has not been published previously in another journal.
- It will not be under the editorial evaluation of another journal as long the evaluation process in EMD continues.
- Once it has been approved for publication, EMD acquires the right to publish the manuscript and the manuscript cannot be published in a different language or domain without the approval of the publisher.

### Types of Publication and Evaluation

In accordance with its publication objectives and principles, EMD gives place to a diversity of studies that are of interest to its readers such as manuscripts, applications, technical notes, communication articles, dissertation abstracts, and works which have received an award.

A manuscript is an original work which contributes to the relevant literature.

An application is an article that describes the consistent, rational and successful applications related with a professional topic, and thus, contributes to the practice of the profession.

A technical note is an original article which contributes to the relevant literature but which is limited in scope compared to a manuscript.

A communication article is an article which contributes to the practice and applications of the profession and which has a potential to initiate philosophical discussions and bring in new developments regarding the profession. Reviews of an article, a book or software related with the field are treated in this category.

A dissertation abstracts is the summary of the dissertations of the researchers who completed their PhD within last 2 years.

A prize-awarded work is an article which has been evaluated according to certain criteria by a jury and deemed worthy for a prize (that is acknowledged).

Manuscripts, applications, technical notes, and communication articles are first taken under pre-evaluation by the Editorial Board in accordance with the EMD objectives and principles of publication and a decision is made whether to initiate the process of referee evaluation or to reject the work. In the process of referee evaluation, the work is evaluated by at least two referees. The names of the both parties are kept anonymous in this process. The Editorial Board approves or rejects the articles in accordance with the comments of the referees or it asks for further revision of the articles. Throughout the evaluation process, all the communication is carried out with the contact author.

Dissertation summary and prize-awarded articles are evaluated by the Editorial Board. If needed, referee opinion can be asked.

In addition, works as diverse as reviews, news, interviews, and memoirs can be published in EMD as long as they are evaluated by the Editorial Board.

### Manuscript Submission

The manuscripts complying with the norms of publication in EMD are sent electronically to <http://omys.mmo.org.tr/endustri/>. E-mail and postal addresses and fax and telephone numbers of the contact author should be clearly stated.

