



## **Sosyal Ağ Varlığında Takım Oluşturma Problemine Hibrit Bir Genetik Algoritma Önerisi**

### **A Hybrid Genetic Algorithm Proposal for the Team Formation Problem Considering Social Network**

**Şeyda Melis Türkkahraman<sup>1\*</sup>**, **Korhan Karabulut<sup>2</sup>**

<sup>1</sup> Yaşar Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, İzmir, TÜRKİYE

<sup>2</sup> Yaşar Üniversitesi Mühendislik Fakültesi, Yazılım Mühendisliği, İzmir, TÜRKİYE

Sorumlu Yazar / Corresponding Author \*: [seydamelis@outlook.com](mailto:seydamelis@outlook.com)

Geliş Tarihi / Received: 04.06.2022

Araştırma Makalesi/Research Article

Kabul Tarihi / Accepted: 11.08.2022

DOI:10.21205/deufmd.2023257315

Atıf şekli/How to cite : TÜRKKAHRAMAN, Ş.M., KARABULUT, K. (2023). Sosyal Ağ Varlığında Takım Oluşturma Problemine Hibrit Bir Genetik Algoritma Önerisi. DEÜ FMD 25(73), 181-192.

#### **Öz**

Zamanla karmaşıklaşan faaliyetler bireysel çalışmanın yerini takım çalışmasına bırakmasına neden olmuştur. Takımların performansını etkileyen önemli faktörlerden biri ise üyeler arasındaki uyumdur. Bu sebeple sosyal ağ varlığında takım oluşturma problemi, literatürdeki güncel problemlerden biri olmaya başlamıştır. Bu çalışmada probleme, klasik genetik algoritmanın tüm arama uzayını keşfetme gücü ile yerel arama algoritmalarının arama uzayındaki sınırlı bölgeleri inceleme gücünü birleştiren takım oluşturma hibrit genetik algoritma önerilmektedir. Önerilen algoritma, takım oluşturma problemi için literatürde yaygınca kullanılan bir veri seti ile test edilmiş ve elde edilen sonuçlarla algoritmanın etkinliği doğrulanmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** Takım Oluşturma Problemi, Sosyal Ağ, Sezgisel Yöntemler, Genetik Algoritma, Yerel Arama, Hibrit Algoritma

#### **Abstract**

Individual work has been supplanted by teamwork as activities have become more complicated over time. The harmony between team members is one of the key factors impacting team performance. For this reason, the team formation problem considering the social network has been one of the recent problems in the literature. In this study, we propose a team-forming hybrid genetic algorithm combining the strength of the classic genetic algorithm in exploring the whole search space with that of local search algorithms in exploiting a limited portion of the search space. The proposed algorithm is tested with a data set commonly used in the literature for the team formation problem and the efficiency of the algorithm is verified with the obtained results.

**Keywords:** Team Formation Problem, Social Network, Heuristics, Genetic Algorithm, Local Search, Hybrid Algorithm

## 1. Giriş

Gün geçtikçe neredeyse tüm sektörlerdeki faaliyetler karmaşılaşmaktadır. Bu artan karmaşıklık insanları, özellikle birden fazla beceri ve kavrayış gerektiğinde, bireylerden daha iyi performans gösterebilen, takımlar halinde çalışmaya yönlendirir [1]. Takım çalışması hem öğrencilerin hem de çalışanların eğitimindeki başarısında önemli bir rol oynamaktadır [2,3]. Takım içinde diğer kaynakların yanı sıra bilgi ve beceriler de çeşitlidir [4].

İki veya daha fazla kişi bilgi paylaştığında yahut bir karar verdiğinde bu bir takım çalışması olarak kabul edilebilmekte ancak kişileri bir araya toplamak, onların verimli bir şekilde çalışacaklarını ve doğru kararlar alacaklarını garanti edememektedir [5]. Böylece takım oluşturma/formasyon problemi (kısaca TFP) literatürde yer almaya başlamıştır.

TFP, kaynakların, bir görev için gerekli becerilere sahip ve optimal düzeyde uyum sağlayacak bir gruba atanması problemi. Bu, yazılım geliştiricilerin projelere [6], sağlık çalışanlarının pandemiyle mücadele gruplarına [7], taksi şoförlerinin rekabetçi gruplara [8], öğrencilerin çalışma gruplarına [9] veya oyuncuların futbol takımlarına [10] atanması olabilir. TFP yalnızca kişilerin gruplandırılması değil, görevleri yerine getirmeleri için otomatik yönlendirmeli araçların [11] ve nesnelerin internetindeki cihazların [12] gruplandırılması gibi farklı varyasyonlara sahiptir.

Takım oluşturmada takım üyeleri arasındaki uyum, güven ve bağlılığın önemi; performans ve üretkenlik üzerindeki etkileri çeşitli bilimsel araştırmalarda incelenmiştir [1,13]. Takım oluşturma sürecinde üyeler arasındaki sosyal etkileşimlerin dikkate alınması gerektiği açıktır.

Takımların görevleri yerine getirmedeki artan rolü, takım oluşturma probleminin yaygın uygulama alanı ve sosyal etkileşimlerin takım performansına etkisi, bu çalışma kapsamında sosyal ağ varlığında takım oluşturma probleminin hızlı ve etkin bir biçimde çözümü için bir algoritma geliştirilmesi adına motive edici etkenlerdir.

Bu makalenin ikinci bölümünde TFP ile alakalı geçmiş çalışmalara değinilmekte, üçüncü bölümünde problem matematiksel olarak tanımlanmakta, TFHGA'nın yapısı ve yapılan

deneysel çalışma açıklanmakta, dördüncü bölümünde deneysel çalışmadan elde edilen sonuçlar paylaşılmakta ve beşinci bölümünde çalışma özetlenerek gelecekte yapılabilecek çalışma önerileri verilmektedir.

## 2. Literatür taraması

Kişiler arasındaki sosyal ağın varlığını dikkate alan takım oluşturma problemi üzerine ilk hesaplamalı çalışma Lappas, Liu ve Terzi tarafından yapılmış ve farklı becerilere sahip kişileri sosyal uyumu en üst düzeyde olacak şekilde gruplamayı amaçlamıştır [14]. Bu çalışma ile sosyal ağ varlığında TFP'nin NP-hard bir problem olduğunu kanıtlamışlardır. Problemin çözümü için önerilen bazı kesin yöntemlerin (exact methods) [15,16] yanı sıra, özellikle büyük boyutlu NP-hard problemler için daha kısa sürede kabul edilebilir bir çözüm bulma konusunda kesin yöntemlerden daha pratik olan birçok sezgisel ve meta-sezgisel yaklaşım [17-25] sunulmuştur.

Bu çalışmada, Tablo 1'de bahsedilen tek bir takım oluşturmaya amaçlayan diğer çalışmaların çoğunda olduğu gibi, takım oluşturmada adayların yetenekleri ve daha önceki iş birliklerinin sayısal bir değeri baz alınmıştır. Bu doğrultuda problemin etkin çözümü için problemin kısıtlarını dikkate alarak geçerli çözüm üreten bir çözüm oluşturma yöntemi kullanan birisi problemde bağımsız ve diğeri probleme özgü bilgiler kullanan iki yerel arama algoritması ile melezleştirilmiş bir genetik algoritma olan takım oluşturma hibrit genetik algoritma (TFHGA) önerilmiştir. Ek olarak klasik mutasyon operatörü yerine probleme özgü bir mutasyon operatörü tasarlanmıştır. Bu şekilde sosyal ağ varlığında takım oluşturma problemini çözmek için klasik genetik algoritmanın tüm arama uzayını keşfetme gücü ile yerel arama algoritmalarının arama uzayındaki sınırlı bölgeleri inceleme gücü birleştirilmiştir.

Deneysel çalışma olarak önerilen algoritmanın TFP için literatürde yaygın kullanılan bir veri seti üzerinde elde edilen sonuçlar, genel amaçlı bir çözücünün problemin karma tam sayılı formülasyonu için bulduğu optimal sonuçlarla karşılaştırılmıştır. Deney sonuçları TFHGA'nın takım oluşturma problemindeki etkinliğini doğrulamaktadır. Geliştirilen algoritma optimal sonuçlara hızlı ve güvenilir bir biçimde ulaşabilmektedir, dolayısı ile TFP için çözümü için etkin bir yöntem olarak kullanılabilir.

**Tablo 1.** Takım oluşturma problemi için önerilen çözüm metotları**Table 1.** Previously proposed solution methods for the team formation problem

Yazarlar	Yıl	Takım	Objektif Değer Faktörleri	Algoritma
Lappas ve diğerleri	2009	Tek	- Adayların yetenekleri, önceki iş birliği	- İlk Nadir (Rarest First) Algoritması, Geliştirilmiş Steiner Algoritması
Gutiérrez ve diğerleri	2016	Çoklu	- Projenin öncelik değeri; adayların yetenekleri, birlikte çalışıp çalışmama tercihleri	- Yerel Arama Algoritması, Kısıt Programlama, Değişken Komşuluk Arama Algoritması
Selvarajah ve diğerleri	2018	Çoklu	- Adayların yetenekleri, birbirleriyle iletişim kurabilme seviyeleri, coğrafi uzaklıkları, üretkenlik seviyeleri	- Kültürel Algoritma
Costa ve diğerleri	2018	Çoklu	- Adayların yetenekleri	- Genetik Algoritma
El-Ashmawi ve diğerleri	2019	Tek	- Adayların yetenekleri, önceki iş birliği	- Yeni Bir Takas Operatörü ile Geliştirilmiş Parçacık Sürüsü Optimizasyonu
Campêlo ve diğerleri	2020	Çoklu	- Adayların yetenekleri, atandıkları görev sayısı, birbirlerine yakınlık indeksi	- Benzetimli Tavlama Algoritması
El-Ashmawi ve diğerleri	2020	Tek	- Adayların yetenekleri, birbirlerine yakınlık indeksi	- Değiştirilmiş Takas Operatörlü Jaya Algoritması
Kargar ve An	2011	Çoklu	- Lider varlığı; adayların yetenekleri, önceki iş birliği	- En İyi Toplam Mesafe Algoritması, En İyi Lider Algoritması
Berktaş ve Yaman	2020	Tek	- Adayların yetenekleri, önceki iş birliği	- Dal-Sınır Algoritması, TFP'nin Karma Tam Sayılı Formülasyonu İçin Genel Amaçlı Bir Çözücü
Selvarajah ve diğerleri	2021	Çoklu	- Adayların birbirleriyle iletişim kurabilme seviyeleri, coğrafi uzaklıkları, duygusal zeka endeksi, son iş birliğinin sayısı ve yılı, uzmanlık seviyesi, güven indeksi, profil benzerliği	- Kültürel Algoritma
Pandey ve diğerleri	2022	Tek	- Adayların yetenekleri, liderlik vasfı, üretkenlik seviyesi, iş birliği düzeyi	- Genetik Algoritma
Liang ve diğerleri	2022	Çoklu	- Lider varlığı; adayların yetenekleri, birbirini tanıyıp tanımadıkları, coğrafi uzaklıkları	- Sosyal Entegrasyonlu Çalışma Teorisine Dayalı Ekip Oluşturma Yöntemi

### 3. Materyal ve Metot

Bu bölümde, Lappas ve arkadaşlarının takım içi iletişim maliyeti en aza indirmek üzerine yaptığı çalışmadaki [14] sosyal ağ varlığında takım oluşturma probleminin matematiksel tanımı verilmekte ve bu çalışmada verimliliği artırmak amacıyla problemde yapılan değişiklikler açıklanmaktadır. Ayrıca deneysel çalışmada kullanılan veri seti, problem örnekleri, parametre değerleri ve donanım bilgileri paylaşılmaktadır.

#### 3.1. Problem formülasyonu

Problemde iki küme olduğu varsayılmaktadır:  $n$  elemanlı beceri kümesi  $S$  ve her biri bir veya

daha fazla beceriye sahip  $m$  elemanlı aday/kişi kümesi  $V$ . Adayların sosyal ağı, uçların adayları temsil ettiği  $(u, v \in V)$  ve adaylar arasındaki iletişim maliyeti doğrultusunda ağırlıklandırılmış bir kenarla  $(w_{uv} \in E)$  birbirine bağlandığı bir yönlendirilmemiş çizge (undirected graph) olan  $G = (V, E)$  ile gösterilmektedir. Ağırlıklar, aday çiftinin iletişim maliyeti olarak düşünülebilir.  $P_u$  ve  $P_v$  sırasıyla  $u$  ve  $v$  'nin önceden yer aldığı takımların kümesini temsil etmek üzere ağırlıklar adayların birlikte gerçekleştirdikleri görevlerin sayısı ile  $(|P_u \cap P_v|)$  ters orantılı, negatif olmayan değerlerdir. Bir aday çifti için üç olası durum vardır: Daha önce iş birliği yapmış olmaları, doğrudan iş

birliğı yapmamış fakat dolaylı yoldan bağı olmaları ve/veya hiçbir bağına sahip olmamaları. İş birliğı yapan ( $P_u \cap P_v \neq \emptyset$ ) her bir çiftin iletişim maliyeti, Jaccard'ın mesafe ölçütüne [26] göre hesaplanır, dolayısıyla bu ağırlıklar  $w_{uv} = 1 - (|P_u \cap P_v|/|P_u \cup P_v|)$  olmak üzere 0 ile 1 arasındadır. Doğrudan iş birliğı yapmamış ( $P_u \cap P_v = \emptyset$ ) fakat iş birliğı yaptıkları ortak kişiler nedeniyle dolaylı yoldan bağı olan bir çiftin, [14]'deki gibi, iletişim maliyeti  $G$ 'de aralarındaki minimum mesafeye eşittir. Son olarak hiçbir bağına sahip olmayan bir çiftin iletişim maliyeti, yeterince büyük bir sayıya eşittir.  $u = v$  ise tanım gereğı maliyet sıfırdır.

Sosyal ağı çizgesi  $G$ , beceriler kümesi  $S$  ve bir görev  $T \subseteq S$  varlığında takım oluşturma problemi,  $T$  görevi için gerekli her becerinin en az bir üye tarafından karşılanacağı minimum toplam iletişim maliyetine sahip bir grup insan bulmak olarak tanımlanabilir.

Matematiksel olarak  $u \in V$  olmak üzere  $b_u$  ikili (binary) değişkeni  $u$  kişisi takıma dahilse 1, değilse 0 değerine sahiptir ve  $m$  uzunluğundaki bir ikili dizisi  $B = \{b_1 \dots b_u \dots b_m | b_u \in \{0,1\}\}$  şeklinde ifade edilmektedir. Başka bir ikili değişken  $c_{ut}$ ,  $u$  kişisi  $T$  görevi için gerekli  $t \in T$  becerisine sahipse 1'e, değilse 0'a eşittir. Bu değişkenler dahilinde TFP aşağıdaki gibi formüle edilen bir optimizasyon problemi olarak modellenilebilir.

$$\min f(B) = \min \sum_{u=1}^{m-1} \sum_{v=u+1}^m w_{uv} c_{ut} c_{vt} \quad (1)$$

$$k.s. \sum_{u=1}^m c_{ut} b_u \geq 1 \quad \forall t \in T \quad (2)$$

$$w_{ut} \in E \quad (3)$$

$$c_{ut}, c_{vt}, b_u \in \{0,1\} \quad (4)$$

Bir takımın toplam iletişim maliyeti (objektif değeri), takımdaki her bir çift arasındaki iletişim maliyetlerinin toplamı olarak hesaplanır (1). Kısıt (2), gerekli her beceri için takımın o beceriye sahip en az bir üyesi olmasını sağlamaktadır. Kısıt (3),  $w_{ut}$ 'yi sosyal ağıdaki iletişim maliyetleri kümesi  $E$ 'nin bir elemanı olarak sınırlamaktadır. Son olarak kısıt (4), beceriye sahip olma durumunun ( $c_{ut}$  ve  $c_{vt}$ ) ve adayların üyelik durumunun ( $b_u$ ) ikili değişken olmasını sağlamaktadır.

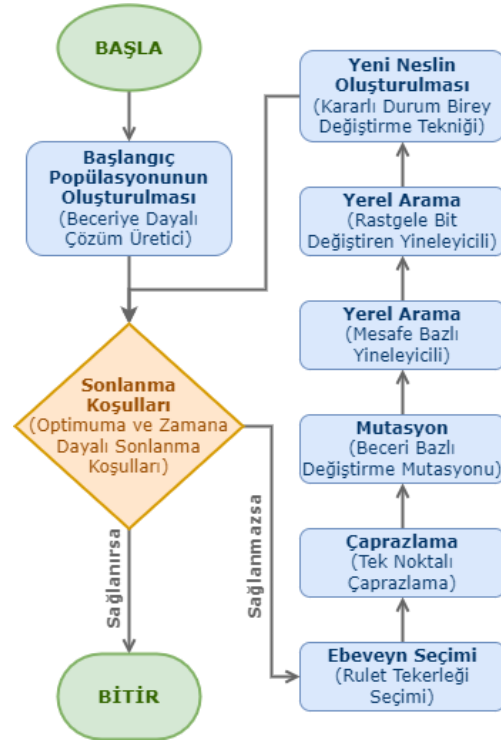
### 3.2. Verim arttırıcı modifikasyonlar

Çalışmamızda [27]'de olduğu gibi, gerekli becerilerden en az birine sahip aday nitelikli aday olarak adlandırılmakta ve bir görevi yerine getirebilecek takım üyeleri nitelikli adaylar kümesi  $V' \subseteq V$  içinden seçilmektedir. Ayrıca nitelikli kişi sayısı  $|V'|$  problemin boyutu hakkında fikir vermektedir.

Bu çalışmada kullanılan veri seti ve problem örnekleri (instance) dikkate alındığında niteliksiz adayların ayrıştırılması, toplam aday sayısını 4 ile 12 arasında  $|T|$ 'ye sahip örneklerde ortalama %37,0; 14 ile 20 arasında  $|T|$ 'ye sahip örneklerde ise %14,3 azaltabilmektedir.

### 3.3. Metot

Klasik genetik algoritma ile iki yerel arama algoritmasının melezleştirildiği takım oluşturuç hibrit genetik algoritmanın temsili Algoritma 1'deki ve akış diyagramı Şekil 1'deki gibidir.



Şekil 1. Takım oluşturuç hibrit genetik algoritmanın akış diyagramı

Figure 1. Flowchart of the team-forming hybrid genetic algorithm

**Algoritma 1:** Takım Oluşturucu Hibrit Genetik Algoritma (TFHGA)**Girdiler:**

Matris (double×double):  $G$   
Nesne (görev):  $T$

**Parametreler:**

Tamsayı (int):  $byt_{ds}$ ,  $byt_{eh}$ ,  $byt_{mbya}$ ,  $byt_{mut}$ ,  
 $byt_{pop}$ ,  $bytrbda$ ,  $byt_{ts}$   
Ondalık sayı (double):  $p_c$ ,  $p_m$ ,  $ksceza$ ,  $süre_{sk}$

**Değişkenler:**

Çözüm:  $\zeta_{en\_iyi}$ ,  $\zeta_{komşu}$ ,  $\zeta_{kötü}$ ,  $\zeta_{yavru}$   
Dizi (çözüm):  $P$ ,  $EH$ ,  $YP$

1. **Başla.**
2. Nitelsiz adayları sosyal ağdan ( $G$ ) çıkar.
3. Süreyi başlat.
4.  $P \leftarrow$  Başlangıç popülasyonundaki çözümleri üret ( $byt_{pop}$ ).
5.  $\zeta_{en\_iyi} \leftarrow P$ 'deki en iyi çözümü bul.
6. Geçen süre  $< süre_{sk}$  **ve**  
 $f(\zeta_{en\_iyi}, ksceza) > T_{optimum}$  iken **yinele**
7.  $EH \leftarrow$  Rulet tekerleği seçimi ile ebeveynleri seç ( $P$ ,  $byt_{eh}$ ).
8.  $YP \leftarrow$  Tek noktali çaprazlama ile yavrular üret ( $EH$ ,  $p_c$ ).
9.  $YP$ 'deki yavrulara beceri bazlı değiştirme mutasyonu uygula ( $T$ ,  $YP$ ,  $byt_{mut}$ ,  $p_m$ ).
10.  $YP$ 'deki her  $\zeta_{yavru}$  için **yinele**
11.  $\zeta_{komşu} \leftarrow$  Mesafe bazlı yineleyicili yerel arama yap ( $T$ ,  $\zeta_{yavru}$ ,  $byt_{mbya}$ ).
12. **Eğer**  $f(\zeta_{komşu}, ksceza) < f(\zeta_{yavru}, ksceza)$  **ise**  
 $YP$ 'den  $\zeta_{yavru}$ 'yu çıkar.
13.  $YP$ 'ye  $\zeta_{komşu}$ 'yu ekle.
14.  $YP$ 'deki her  $\zeta_{yavru}$  için **yinele**
15.  $\zeta_{komşu} \leftarrow$  Rastgele bit değiştiren yineleyicili yerel arama yap ( $\zeta_{yavru}$ ,  $bytrbda$ ).
16. **Eğer**  $f(\zeta_{komşu}, ksceza) < f(\zeta_{yavru}, ksceza)$  **ise**  
 $YP$ 'den  $\zeta_{yavru}$ 'yu çıkar.
17.  $YP$ 'ye  $\zeta_{komşu}$ 'yu ekle.
18.  $byt_{ds}$  kez **yinele**
19.  $\zeta_{kötü} \leftarrow$  Turnuva seçimi ile elenecek bir çözüm seç ( $P$ ,  $byt_{ts}$ ).
20.  $\zeta_{kötü}$ 'yü  $P$ 'den çıkar.
21.  $YP$ 'deki en iyi  $byt_{ds}$  tane yavruyu  $P$ 'ye ekle.
22.  $\zeta_{en\_iyi} \leftarrow P$ 'deki en iyi çözümü bul.
23.  $\zeta_{en\_iyi}$ 'yi döndür.
24. **Sonlandır.**

BPO başlangıç popülasyonunun oluşturulması, ODH objektif değer hesabı, BBDM beceri bazlı

değiştirme mutasyonu, TNÇ tek noktali çaprazlama, MBYA ve RBDYA iki yerel arama algoritması olmak üzere önerilen algoritmanın zaman karmaşıklığı  $O((O(BPO) + O(ODH)) * (O(BBDM) + O(TNÇ) + O(MBYA) + O(RBDYA)))$  şeklinde hesaplandığında  $O(g * byt_{eh} * byt_{mbya} * |V'|^2 * |T|^4 * ort_{ys})$  olarak bulunmaktadır. ( $g$  nesil sayısını ve  $ort_{ys}$  adayların yetenek sayılarının ortalamasını ifade etmektedir.) Bahsedilen tüm algoritma bileşenleri bu bölümün devamında incelenmektedir.

**3.3.1. Çözümlerin temsili ve karşılaştırılması**

Her indeksin bir aday ve indeksteki 0 veya 1 değerinin adayın takıma dahil edilip edilmediğini gösterdiği  $|V'|$  boyutlu bir bit dizisi ile takım oluşturma probleminin tüm olası çözümleri, yani takımlar, temsil edilebilir.

Bitler (üyelik)  $\rightarrow$ 

1	0	1	1	0	0	0	1	0	0
---	---	---	---	---	---	---	---	---	---

  
İndeksler (kişi)  $\rightarrow$  1 2 3 4 5 6 7 8 9 10

**Şekil 2.** 10 kişi arasından 1, 3, 4 ve 6 numaralı kişiler seçilerek oluşturulan bir takımın temsili

**Figure 2.** Representation of a team formed by choosing person 1, 3, 4 and 6 out of 10 people

Çalışmada, olası iki çözüm  $B_1$  ve  $B_2$ 'nin olurlulukları (feasibility) göz ardı edilerek  $f(B_1) < f(B_2)$  ise  $B_1$  daha iyi, aksi takdirde  $B_2$  daha iyi kabul edilmektedir.

**3.3.2. Başlangıç popülasyonunun oluşturulması**

Başlangıç popülasyonu beceriye dayalı çözüm üretici ile üretilen çözümlerden (birey) oluşur. Üretici, takımın ilk üyesi olarak en az üç kişiyle bağlantısı olan rastgele bir kişiyi seçerek başlar. Verilen görev için gerekli hiçbir beceri açıkta kalmayınca dek rastgele kişi seçmeye devam eder. Seçilen kişi hiçbir takım üyesinin sahip olmadığı gerekli becerilerden en az birine sahip ve en az bir üyeye bağlantılıysa takıma kabul edilir. Bu sayede üretilen bireyler için üç şey garanti edilir.

- Başlangıç popülasyonundaki her çözüm tüm becerileri kapsadığı için olurlu, bunun yanı sıra optimal veya optimale yakındır.
- Beceriye dayalı çözüm üretici tarafından oluşturulan bir takımdaki kişi sayısı, en fazla gerekli beceri sayısına eşit olabilir.
- Bağlantısız çiftlerin birlikteliği engellenmiştir.

Sınırlı sayıda kişiye ve önceden iş birliği yapmış çiftlere sahip takımların iletişim maliyetinin, rastgele oluşturulmuş takımlarinkine kıyasla daha az olması olağandır.

### 3.3.3. Ebeveyn seçimi

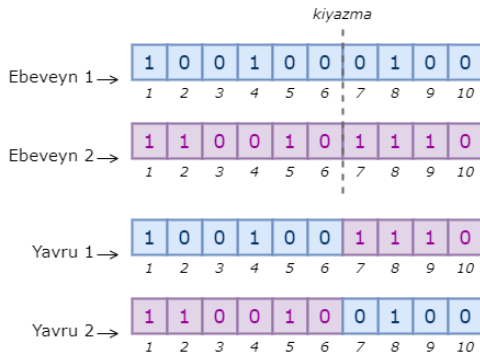
TFHGA'da bireyler, kendilerine atanan seçilme olasılıkları doğrultusunda rulet tekerleği seçimi ile  $byt_{eh}$  boyutundaki bir eşleşme havuzuna seçilir. Algoritmada kullanılan rulet tekerleği seçiminde  $B$  bireyine, seçilme olasılığı  $P(B)$  formül (5) kullanılarak atanır. Formülde  $ODT$ ,  $byt_{pop}$  boyutundaki popülasyondaki bireylerin objektif değerlerinin toplamıdır (6).

$$P(B) = \frac{ODT - f(B)}{(byt_{pop} - 1) \times ODT} \quad (5)$$

$$ODT = \sum_{s=1}^{byt_{pop}} f(B) \quad (6)$$

### 3.3.4. Çaprazlama

Popülasyondan bazı bireyler (ebeveynler) seçildikten sonra çaprazlama operatörü kullanılarak bir dizi yeni çözüm (yavru) oluşturulur. TGHGA'da tek noktalı çaprazlama operatörü kullanılır. Olasılık parametresi  $p_c \in [0,1]$  doğrultusunda çaprazlanmasına karar verilen iki ebeveyn, kiyazma adı verilen rastgele bir noktadan iki parçaya bölünür. Daha sonra ebeveyn 1'in ilk parçası ebeveyn 2'nin ikinci parçası ile birleştirilir ve yavru 1 oluşturulur. Benzer şekilde, ebeveyn 2'nin ilk parçası ebeveyn 1'in ikinci parçası ile



Şekil 3. Tek noktalı çaprazlama ile yavru oluşum örneği

Figure 3. A sample one-point crossover operation

birleştirilerek yavru 2 oluşturulur. Çaprazlanmayacak olan ebeveynler ise doğrudan yavru popülasyonuna dahil edilir.

### 3.3.5. Mutasyon

Elde edilen yavrular, beceri bazı değiştirme mutasyonu (BBDM) adı verilen mutasyon operatörü kullanılarak  $p_m \in [0,1]$  olasılığı ile mutasyona uğratılır. BBDM'de kontrol edilecek bit (kişi) sayısı olan  $byt_{mut}$  parametresine bağlıdır. Popülasyondan rastgele seçilen  $byt_{mut}$  kişiden, minimum sayıda gerekli beceriye sahip üye takımdan çıkarılıp yerine takım üyesi olmayan ve hiçbir üyenin sahip olmadığı maksimum sayıda gerekli becerisi olan kişi alınır. Bu işlem yüzde elli olasılıkla gerçekleştirilir. Mutasyona uğramış bir yavrunun objektif değerini, yavrunun orijinal formuna dayalı olarak bulmak için bölüm 3.3.10'da açıklanan fark hesaplaması kullanılır.

### 3.3.6. Yardımcı metasezgisel algoritmalar

Mutasyon uygulanarak çeşitliliği artırılan popülasyondaki yavrular, sırasıyla biri problemden bağımsız ve diğeri probleme özgü bilgiler kullanan iki yerel arama algoritması ile iyileştirilir. Bu iki algoritma sırasıyla mesafe bazı yineleyicili yerel arama (MBYA) ve rastgele bit değiştiren yineleyicili yerel arama (RBDYA) olarak adlandırılır.

MBYA, yavru popülasyonundaki bir takımdan (çözümde), diğer üyeler ile arasında maksimum iletişim maliyeti olan bir kişiyi eleyip elenen kişinin sahip olduğu gerekli becerilere sahip bir veya daha fazla kişiyi takıma ekleyerek yeni takım üretmeye devam eder. Bu işlem üretilen yeni takımlardan biri, başlangıç takımından daha düşük bir toplam iletişim maliyetine sahip bir takım bulana dek sürer. Bu şekilde kontrol edilecek en fazla takım sayısı  $byt_{mbya}$  parametresi ile kontrol edilir. Daha düşük maliyetli bir takım üretilirse popülasyondaki takım (yavru) ile yer değiştirilir.

Öte yandan RBDYA, önceki yerel arama algoritması ile geliştirilmiş çözümlerden biri ile başlayıp bu çözümdeki rastgele bir biti değiştirerek yeni çözümler oluşturur. MBYA'da olduğu gibi, RBDYA'nın kontrol edebileceği en fazla çözüm sayısı  $byt_{rbdya}$  parametresi ile kontrol edilir. MBYA'dan farklı olarak tüm  $byt_{rbdya}$  çözümler üretildikten sonra üretilen en iyi çözüm yavrudan daha iyi bir objektif değere

sahipse popülasyondaki yavru bu çözüm ile değiştirilir.

### 3.3.7. Yeni neslin oluşturulması

Yeni nesilde önceki neslin iyi bireylerini kaybetmemek için yeni nesil, kararlı durum birey değiştirme tekniği (steady-state replacement method) ile oluşturulur. Önceki nesilden rastgele seçilen  $byt_{ts}$  tane birey arasından en kötü birey, klasik bir turnuva metodu ile tespit edilir. Bu bireyin yerine yavru popülasyonunun en iyi bireyi nesle dahil edilir. Bu işlem  $byt_{ds}$  kez tekrarlanır. Başka bir deyişle birey değiştirme aşamasının sonunda yeni nesil, önceki neslin nispeten kötü bireyleri ile değiş tokuş edilen en iyi  $byt_{ds}$  yavruyu içerir.

### 3.3.8. Sonlanma koşulları

Ebeveyn seçimi, çaprazlama, mutasyon, iki yerel arama ve birey değiştirmeden oluşan döngü; optimuma ulaşılmasına ya da zamana dayalı sonlanma koşullarından en az biri sağlandığında sona erer. Optimuma dayalı sonlanma koşulu, ilgili problem için bilinen bir optimum çözüm varsa o ana dek kadar elde edilen en iyi çözüm optimum çözümün objektif değerine sahip olduğunda sağlanır. Zamana dayalı sonlanma koşulu ise TFHGA'nın çalışma zamanı  $süre_{sk}$  parametresi ile kontrol edilen süreye ulaştığında sağlanır.

### 3.3.9. Kısıt yönetim metotları

Çalışmamızda iyi objektif değerlere sahip olursuz (infeasible) çözümlerin hakimiyetini önlemek ancak bunun yanında, bu çözümlerde saklı olan potansiyel bilgileri kullanmak için ihlale dayalı bir cezalandırma yaklaşımı kullanılır. Bu yaklaşımda olursuz bir çözümün objektif değeri,  $ks_{ceza}$  katsayısına ve çözümün kısıtlamayı ne kadar ihlal ettiğine bağlı olarak bir miktar artırılır. İhlal miktarı, bir görev için hiçbir takım üyesinin sahip olmadığı gerekli becerilerin sayısıdır ve bu sayı  $ks_{ceza}$  ile çarpılıp çözümün objektif değerine eklenir. İhlale dayalı cezalandırma yöntemi sayesinde olursuz çözümler, kısıtları ihlal etme miktarlarına göre sonraki nesil üzerinde etkiye sahiptir.

### 3.3.10. Bit değiştirme mutasyonu için fark hesabı

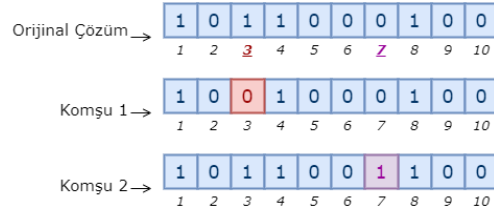
Bit değiştirme operatörü, mevcut bir çözüm üzerinde küçük bir değişiklikle yeni bir çözüm (komşu) elde etmek için yaygın kullanılan bir

operatördür. Rastgele bir indeks seçer ve bu indeksteki değeri 0 ise 1'e, 1 ise 0'a değiştirir.

$|V'|$  uzunluğundaki  $B$  çözümünün  $u$  indeksindeki bit değeri  $b_u$ 'nun değiştirilmesiyle oluşan çözüm  $B'$  olmak üzere bu çözümlerin objektif değeri arasındaki fark,  $\Delta(B, u) = -\Delta(B', u) = f(B') - f(B)$ , (7) formülü ile hesaplanabilir. Bu sayede  $B$ 'nin komşularının objektif değer hesaplaması lineer zamanda yapılabilir.

$$\Delta(B, u) = \begin{cases} d & \text{if } b_u = 0 \\ -d & \text{if } b_u = 1 \end{cases} \quad (7)$$

$$d = \sum_{v=1}^{|V'|-1} w_{uv} c_{ut} c_{vt} \quad (8)$$



**Şekil 4.** Bir çözümünden bit değiştirme mutasyonu ile üretilebilecek iki komşu çözüm örneği

**Figure 4.** Two neighbors that can be generated from a sample solution by bit-flip mutation

## 3.4. Deneysel çalışma

Önerilen algoritmanın sosyal ağ varlığında takım oluşturma problemindeki verimliliğini ölçmek için bir deney tasarlanmıştır. Bu bölümün devamında deneyde kullanılan veri seti, problem örnekleri, parametre değerleri ve donanım bilgileri hakkında bilgi verilmektedir.

### 3.4.1. Veri seti ve problem örnekleri

Bu çalışmadaki deneylerde, sosyal ağ varlığında TFP üzerinde yapılan mevcut çalışmalarda [15,27-29] da kullanılan İnternet Film Veri Tabanı'ndan (IMDb) çıkarılmış bir veri seti kullanılmıştır. Veri seti 2000-2002 yılları arasında en az sekiz filmde rol almış bazı oyuncular ve oyuncuların oynadıkları filmler ile ilgili bilgileri içerir. Toplam 1021 oyuncu ve beceri olarak kabul ettiğimiz 27 film türü vardır ( $m = 1021$  ve  $n = 27$ ). Sosyal ağ grafiğinde,  $u$  ve  $v$  oyuncuları bir filmde birlikte çalıştıysa, bu iki  $u, v \in V$  ucu arasında bir kenar vardır. Bölüm



3.1'de açıklandığı gibi, kenarların ağırlıkları Jaccard mesafe metriğine göre atanır.

TFHGA ile elde edilen sonuçları Berktaş'ın kesin bir yöntem kullanarak elde ettiği sonuçlarla karşılaştırabilmek için çalışmada [28] paylaştığı veri seti dosyaları ve problem örnekleri (görevler) [30] baz alınmıştır. Her gerekli beceri sayısı için 100 problem örneği ve  $|T| \in \{2k | k \in Z \wedge 2 \leq k \leq 10\}$  olmak üzere rastgele oluşturulmuş 900 örnek vardır.

#### 3.4.2. Deneysel konfigürasyonu

Java programlama dilinde geliştirilen TFHGA Intel Core2 Quad Q9400 2.66 GHz işlemci ve 16 GB RAM'e sahip bir bilgisayarda çalıştırılmıştır.

Farklı parametre değerlerinin kombinasyonları ile çok sayıda denemeden sonra bu kombinasyonlar arasından optimum objektif değerden minimum ortalama bağlı sapmaya (*OBS*) sahip bir kombinasyon seçilmiştir (Tablo 2).  $Opt_p$ ,  $P$  problem örneği için [27]'de paylaşılan optimum objektif değer ve  $f(B_p)$  ilgili örnek için TFHGA'nın bulduğu en iyi çözümün objektif değeri olmak üzere *OBS*'ler formül (9) kullanılarak hesaplanmıştır. Parametre ayarlama (parameter tuning) aşamasında her  $|T|$ 'den

**Tablo 2.** Takım oluşturucu hibrit genetik algoritmanın deneysel çalışmada kullanılan parametre değerleri

**Table 2.** Values of team-forming hybrid genetic algorithm parameters used in experiment

Parametre	Değer
$byt_{pop}$	300
$byt_{eh}$	20
$p_c$	0,75
$byt_{mut}$	$ T $
$p_m$	0,25
$byt_{mbya}, byt_{rbadya}$	$3 *  T $
$byt_{ts}$	3
$byt_{ds}$	15
$ks_{ceza}$	10
$süre_{sk}$	$5000 *  T $

seçilmiş rastgele iki problem örneği olacak şekilde toplam 18 örnek kullanılır ( $PS = 18$ ).

$$OBS = \frac{\sum_{P=1, Opt_P \neq 0}^{PS} \frac{f(B_P) - Opt_P}{Opt_P}}{PS} \quad (9)$$

#### 4. Bulgular

TFHGA, problem örneklerinin her biri için 10 kez çalıştırılmıştır. Her çalıştırmada en iyi çözümün objektif değeri (EİOD), en iyi çözüm bulunana kadar geçen süre ve döngü sayısı kaydedilmiştir. Bölüm 3.2'de bahsedildiği gibi belirli bir görev için niteliksiz kişilerin elenmesiyle sosyal ağ küçülür. TFHGA bu eleme işlemi bittikten sonra çalışır, bu nedenle kaydedilen süreler eleme işlemi için harcanan zamanı içermemektedir.

Her bir problem örneği için on EİOD'nin en kötüsü, en iyisi ve ortalaması bulunmuştur. Elde edilen sonuçların analizini kolaylaştırmak amacıyla bulunan bu değerlerin, kaydedilen sürelerin ve döngü sayılarının  $|T|$  değerleri için ortalaması alınmıştır. Ayrıca [27]'de paylaşılan optimum değerler kullanılarak formül (9) uygulanmış, ardından her bir  $|T|$  için ortalama bağlı sapmalar hesaplanmıştır. Tablo 3 tüm bu sapmaları da içermektedir.

Yine Tablo 3'te, TFHGA'nın elde edebildiği en iyi çözüm bulunana dek geçen sürelerin ve döngü sayılarının ortalamaları ile algoritmanın gerçek çalışma sürelerinin ortalamaları paylaşılmıştır.

Deneysel sonuçlara göre TFHGA, 10 çalışmadan ortalama 6,81'inde MIP-GS ile elde edilen objektif değerlerle aynı veya bu değerlerden daha iyi objektif değere sahip bir çözüm sunabilmektedir. Algoritma problem örneklerinin %39,3'ü için her çalıştırmada, örneklerin %71,7'si için çalışmaların en az yarısında optimum objektif değere sahip bir çözüm bulmaktadır. TFHGA'nın optimum objektif değere sahip bir çözüm bulamadığı çalışmaların %89,8'i için EİOD, optimum objektif değerden 0,5'ten daha az sapmaktadır. Tüm çalışmaların %98,7'sinde bağlı sapma 1,0'ı geçmemektedir ki bu sapma miktarı sosyal ağdaki ortalama iletişim maliyetinin dörtte birinden azdır.

TFHGA, problem örneklerinin %82,0'ında en iyi çözümü bulmak için bir dakikadan az zaman harcamıştır ve en uzun ortalama süre 94,64 saniye olarak kaydedilmiştir. En iyi çözüm ortalama 269'uncu döngüde bulunmuştur.



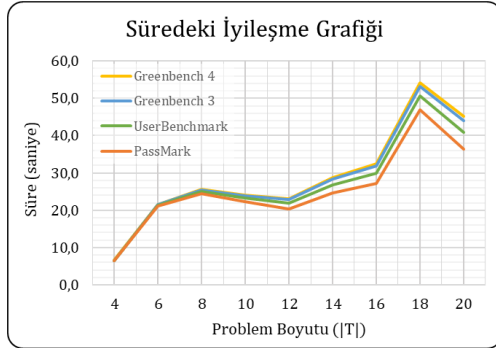
**Tablo 3.** TFHGA tarafından elde edilen ortalama objektif değerler, bağıl sapmalar, en iyi çözüme ait süre ve döngü sayıları, algoritmanın gerçek çalışma süreleri**Table 3.** Averages of the objective values obtained by team-forming hybrid genetic algorithm, relative deviations, elapsed times and iteration counts until the best solution is found and the real runtimes of the algorithm

T	Optimum Objektif Değer	Objektif Değer (En Kötü)	Objektif Değer (Ortalama)	Objektif Değer (En İyi)	Ortalama Bağıl Sapma	Gerçek Çalışma Süresi	En İyi Çözüme Ait Süre	En İyi Çözüme Ait Döngü Sayısı
4	1,886	1,984	1,914	1,886	0,037	3,428	1,231	137,190
6	4,361	4,543	4,392	4,361	0,011	6,988	3,482	159,870
8	7,543	8,209	7,744	7,581	0,025	18,073	8,529	192,360
10	10,974	12,378	11,365	10,997	0,029	27,090	14,967	212,980
12	13,909	16,136	14,603	13,954	0,039	37,195	21,981	226,730
14	18,374	22,645	19,835	18,591	0,062	52,384	33,797	250,720
16	22,526	28,622	24,680	22,797	0,081	62,653	43,692	259,900
18	26,812	36,322	30,483	27,184	0,112	76,122	57,363	270,660
20	30,629	46,128	37,156	31,690	0,180	87,649	71,136	263,940

**Tablo 4.** Takım oluşturma probleminin karma tam sayılı formülasyonu için genel amaçlı bir çözücünün ortalama çalışma süreleri ve TFHGA'nın işlemci puan oranlarına bölünmüş ortalama süreleri**Table 4.** Average runtimes of a general-purpose solver for mixed-integer formulation of team formation problem and those of team-forming hybrid genetic algorithm divided by ranking ratios

T	GPS-MIP	TFHGA			
		Geekbench 4	Geekbench 3	UserBenchmark	PassMark
4	7,140	0,578	0,598	0,653	0,730
6	23,210	1,636	1,692	1,846	2,065
8	29,540	4,009	4,145	4,523	5,059
10	31,120	7,035	7,274	7,938	8,878
12	33,470	10,331	10,682	11,657	13,038
14	44,700	15,884	16,424	17,924	20,046
16	53,040	20,535	21,233	23,172	25,915
18	81,040	26,961	27,877	30,422	34,024
20	78,540	33,434	34,570	37,726	42,193

Berktaş, çalışmasında [27] sosyal ağ varlığında TFP'nin karma tam sayılı formülasyonu için genel amaçlı bir çözücünün (GPS-MIP) çalışma sürelerini paylaşmaktadır. GPS-MIP'nin çalışma süreleri, 4 çekirdekli Intel(R) Core(TM) i7-6700HQ 2.6 GHz işlemci kullanılarak kaydedilmiştir. Ayrıca GPS-MIP'in Java'da CPLEX 12.7 kullandığı belirtilmiştir. Dolayısıyla işlemcinin tüm çekirdeklerini kullandığına dikkat edilmelidir. Çok çekirdekli işlemci kullanımı dışında Geekbench, UserBenchmark ve PassMark gibi farklı donanım performans kıyaslama programlarına göre [27]'de kullanılan işlemcinin performansı bizim kullandığımızdan ortalama iki kat daha yüksektir. Geekbench 4, Geekbench 3, UserBenchmark ve PassMark'a göre Intel Core i7-6700HQ puanını kullandığımız işlemcinin puanına bölerek hesapladığımız oranlar sırasıyla 2,128, 2,058, 1,886 ve 1,686'dır. Tablo 4'te GPS-MIP'nin ortalama süreleri ve TFHGA tarafından en iyi çözüm bulunana kadar geçen ortalama sürelerin işlemci puan oranlarına bölünmesiyle elde edilen süreler yer almaktadır. Geekbench 4, Geekbench 3, UserBenchmark ve PassMark puanlarına göre hesaplanan ortalama süreler baz alındığında TFHGA 900 problem örneğinden sırasıyla 795, 780, 761 ve 727'si için GPS-MIP'den daha hızlı çözümler elde etmiştir. Şekil 5'te görüldüğü gibi



**Şekil 5.** Genel amaçlı çözücünün ortalama çalışma sürelerinden TFHGA'nın işlemci puanlarına göre düzenlenmiş ortalama sürelerinin çıkarılmasıyla hesaplanan iyileşmenin grafiği

**Figure 5.** Visualization of the improvement in time calculated for each problem size by subtracting the adjusted average time of the team-forming hybrid genetic algorithm from the average time of the general-purpose solver for the mixed-integer formulation

genel amaçlı çözücü ile TFHGA arasındaki zaman farkı büyük problem boyutları için daha fazladır. Geekbench 4 puanına göre TFHGA, süre bağlamında en fazla iyileştirmeye sahip problem boyutu olan  $|T| = 18$  için bulabildiği en iyi çözümü ortalama 54,079 saniye daha hızlı bulmuştur. TFHGA'nın daha kısa süre harcadığı tüm örnekler göz önüne alındığında süredeki iyileşme ortalama 29,044 saniye olarak ölçülmüştür.

## 5. Tartışma ve Sonuç

Bu çalışmada, biri probleme özel bazı bilgileri kullanırken diğerinin problemden bağımsız olduğu iki yerel arama algoritması ile hibritleştirilmiş bir genetik algoritma olan takım oluşturu hibrit genetik algoritma önerilmiştir. Böylece, sosyal ağ varlığında takım oluşturma problemini çözmek için geleneksel genetik algoritmanın tüm arama uzayının keşfindeki gücü ile yerel arama algoritmalarının arama uzayının küçük bir bölgesinin incelenmesindeki gücü birleştirilmiştir. Ayrıca yeni bir olurlu çözüm üretici ve probleme özgü mutasyon operatörü tasarlanarak önerilen algoritmada kullanılmıştır.

Deneysel çalışma, literatürde yaygın olarak kullanılan İnternet Film Veri Tabanı'ndan alınan bir veri seti ile yapılmıştır. Elde edilen sonuçlar, önerilen algoritmanın takım oluşturmadaki etkinliğini doğrular niteliktedir.

Daha kapsamlı ve sistematik bir parametre ayarlama sürecinin önerilen algoritmanın sonuçlarını daha da iyileştirebileceği kanaatindeyiz. Ayrıca TFHGA'nın performansını başka veri setleri ile test etmek ve diğer sezgisel yöntemlerle karşılaştırmak yapılabilecek faydalı çalışmalar olacaktır.

## 6. Discussion and Conclusion

In this study, we propose a team-forming hybrid genetic algorithm, TFHGA, which is a genetic algorithm hybridized with two local search algorithms, where one of them uses some problem-specific information while the other is problem-independent. Thus, to solve the team formation problem considering the social network, we combine the strength of the traditional genetic algorithm in exploring the whole search space with that of the local search algorithms in the exploitation of a small region of the search space. A feasible solution generator and problem-specific mutation operator are also

designed and employed in the proposed algorithm.

For the experimental work, a dataset extracted from the Internet Movie Database is chosen due to its common usage in the literature. The results validate the efficiency of the proposed algorithm in team formation. The TFHGA can be utilized as a successful method for solving the TFP considering social networks.

We believe that a more comprehensive and systematic parameter tuning process can further enhance the results of our algorithm. Also, experimenting with the TFHGA on various datasets and comparing its performance with other heuristic methods will be good future works.

## 7. Etik Kurul Onayı ve Çıkar Çatışması Beyanı

Hazırlanan makalede etik kurul izni alınmasına gerek yoktur ve herhangi bir kişi/kurum ile çıkar çatışması bulunmamaktadır.

## Kaynakça

- [1] B. K. Baiden ve A. D. F. Price, "The Effect of Integration on Project Delivery Team Effectiveness", *Int. J. Proj. Manag.*, c. 29, sayı 2, ss. 129-136, Şub. 2011, doi: 10.1016/j.ijproman.2010.01.016.
- [2] C. Lairamore vd., "Impact of Team Composition on Student Perceptions of Interprofessional Teamwork: A 6-Year Cohort Study", *J. Interprof. Care*, c. 32, sayı 2, ss. 143-150, 2018, doi: 10.1080/13561820.2017.1366895.
- [3] J. Zhang, P. S. Yu, ve Y. Lv, "Enterprise Employee Training via Project Team Formation", içinde *WSDM 2017 - Proceedings of the 10th ACM International Conference on Web Search and Data Mining*, 2017, ss. 3-12, doi: 10.1145/3018661.3018682.
- [4] J. E. Driskell ve E. Salas, "Collective Behavior and Team Performance", *Hum. Factors*, c. 34, sayı 3, ss. 277-288, Kas. 1992, doi: 10.1177/001872089203400303.
- [5] M. Samuel, "High Performance Teams: Separating Truths From Myths", *IMPAQ Corp. Los Angeles*, 1996.
- [6] R. Colomo-Palacios, I. González-Carrasco, J. L. López-Cuadrado, ve Á. García-Crespo, "Resyster: A Hybrid Recommender System for Scrum Team Roles Based on Fuzzy and Rough Sets", *Int. J. Appl. Math. Comput. Sci.*, c. 22, sayı 4, ss. 801-816, 2012, doi: 10.2478/v10006-012-0059-9.
- [7] M. A. Kader ve K. Z. Zamli, "Comparative Study of Five Metaheuristic Algorithms for Team Formation Problem", *Lect. Notes Mech. Eng.*, ss. 133-143, 2022, doi: 10.1007/978-981-16-4115-2\_10/FIGURES/3.
- [8] L. Zhang vd., "Recommendation-Based Team Formation for On-Demand Taxi-Calling Platforms", içinde *International Conference on Information and Knowledge Management, Proceedings*, 2019, ss. 59-68, doi: 10.1145/3357384.3357869.
- [9] J. M. Alberola, E. Del Val, V. Sanchez-Anguix, A. Palomares, ve M. Dolores Teruel, "An Artificial Intelligence Tool for Heterogeneous Team Formation in the Classroom", *Knowledge-Based Syst.*, c. 101, ss. 1-14, 2016, doi: 10.1016/j.knosys.2016.02.010.
- [10] G. Budak, İ. Kara, Y. Tansel İç, ve R. Kasımbeyli, "Optimization of Harmony in Team Formation Problem for Sports Clubs: A Real-Life Volleyball Team Application", *Int. J. Appl. Sci. Technol.*, c. 8, sayı 2, ss. 10-18, 2018, doi: 10.30845/ijast.v8n2a2.
- [11] G. Fortino, F. Messina, D. Rosaci, G. M. L. Sarne, ve C. Savaglio, "A Trust-Based Team Formation Framework for Mobile Intelligence in Smart Factories", *IEEE Trans. Ind. Informatics*, c. 16, sayı 9, ss. 6133-6142, Eyl. 2020, doi: 10.1109/TII.2020.2963910.
- [12] G. Fortino, L. Fotia, F. Messina, D. Rosaci, ve G. M. L. Sarné, "A Meritocratic Trust-Based Group Formation in an Iot Environment for Smart Cities", *Futur. Gener. Comput. Syst.*, c. 108, ss. 34-45, Tem. 2020, doi: 10.1016/J.FUTURE.2020.02.035.
- [13] I. Maurer, "How to Build Trust in Inter-Organizational Projects: The Impact of Project Staffing and Project Rewards on the Formation of Trust, Knowledge Acquisition and Product Innovation", *Int. J. Proj. Manag.*, c. 28, sayı 7, ss. 629-637, Eki. 2010, doi: 10.1016/j.ijproman.2009.11.006.
- [14] T. Lappas, K. Liu, ve E. Terzi, "Finding a Team of Experts in Social Networks", *Proc. ACM SIGKDD Int. Conf. Knowl. Discov. Data Min.*, ss. 467-475, 2009, doi: 10.1145/1557019.1557074.
- [15] M. Kargar ve A. An, "Discovering Top-K Teams of Experts With/Without a Leader in Social Networks", *Int. Conf. Inf. Knowl. Manag. Proc.*, ss. 985-994, 2011, doi: 10.1145/2063576.2063718.
- [16] N. Berktaş ve H. Yaman, "A Branch-and-Bound Algorithm for Team Formation on Social Networks", *INFORMS J. Comput.*, sayı January 2021, 2020, doi: 10.1287/ijoc.2020.1000.
- [17] J. H. Gutiérrez, C. A. Astudillo, P. Ballesteros-Pérez, D. Mora-Melià, ve A. Candia-Véjar, "The Multiple Team Formation Problem Using Sociometry", *Comput. Oper. Res.*, c. 75, ss. 150-162, 2016, doi: 10.1016/j.cor.2016.05.012.
- [18] K. Selvarajah, P. M. Zadeh, Z. Kobti, M. Kargar, M. T. Ishraque, ve K. Pfaff, "Team Formation in Community-Based Palliative Care", *2018 IEEE Int. Conf. Innov. Intell. Syst. Appl. INISTA 2018*, Eyl. 2018, doi: 10.1109/INISTA.2018.8466272.
- [19] A. Costa, F. Ramos, M. Perkusich, A. Freire, H.

- Almeida, ve A. Perkusich, "A Search-Based Software Engineering Approach to Support Multiple Team Formation for Scrum Projects", içinde *Proceedings of the International Conference on Software Engineering and Knowledge Engineering, SEKE*, 2018, c. 2018-July, sayı June, ss. 474-479, doi: 10.18293/SEKE2018-108.
- [20] M. Campêlo, T. Figueiredo, ve A. Silva, "The Sociotechnical Teams Formation Problem: A Mathematical Optimization Approach", *Ann. Oper. Res.*, c. 286, sayı 1-2, ss. 201-216, Oca. 2020, doi: 10.1007/s10479-018-2759-5.
- [21] W. H. El-Ashmawi, A. F. Ali, ve A. Slowik, "An Improved Jaya Algorithm With a Modified Swap Operator for Solving Team Formation Problem", *Soft Comput.*, c. 24, sayı 21, ss. 16627-16641, 2020, doi: 10.1007/s00500-020-04965-x.
- [22] W. H. El-Ashmawi, A. F. Ali, ve M. A. Tawhid, "An Improved Particle Swarm Optimization With a New Swap Operator for Team Formation Problem", *J. Ind. Eng. Int.*, c. 15, sayı 1, ss. 53-71, 2019, doi: 10.1007/s40092-018-0282-6.
- [23] K. Selvarajah, P. M. Zadeh, Z. Kobti, Y. Palanichamy, ve M. Kargar, "A Unified Framework for Effective Team Formation in Social Networks", *Expert Syst. Appl.*, c. 177, s. 114886, Eyl. 2021, doi: 10.1016/j.eswa.2021.114886.
- [24] V. Pandey, S. V. Murthy, ve S. N. Corona, "Work Alone Then Meet: Cognitive Attributes and Team Interaction in Engineering Design Using Evolutionary Algorithms", *Appl. Soft Comput.*, c. 124, s. 108989, Tem. 2022, doi: 10.1016/j.asoc.2022.108989.
- [25] Y. Liang, Z. Zou, P. Zhang, D. Li, T. Lu, ve N. Gu, "Team Formation and Task Recommendation for Disabled People in Crowdsourcing Systems", *2022 IEEE 25th Int. Conf. Comput. Support. Coop. Work Des. CSCWD 2022*, ss. 1372-1377, 2022, doi: 10.1109/CSCWD54268.2022.9776093.
- [26] P. Jaccard, "The Distribution of the Flora in the Alpine Zone", *New Phytol.*, c. 11, sayı 2, ss. 37-50, 1912, doi: 10.1111/j.1469-8137.1912.tb05611.x.
- [27] N. Berktaş, "Deterministic and Stochastic Team Formation Problems", Bilkent University, 2021.
- [28] A. Anagnostopoulos, L. Becchetti, C. Castillo, A. Gionis, ve S. Leonardi, "Online Team Formation in Social Networks", *WWW'12 - Proc. 21st Annu. Conf. World Wide Web*, ss. 839-848, 2012, doi: 10.1145/2187836.2187950.
- [29] X. Wang, Z. Zhao, ve W. Ng, "A Comparative Study of Team Formation in Social Networks", içinde *Database Systems for Advanced Applications*, 2015, ss. 389-404.
- [30] N. Berktaş, "TFP-data", *GitHub Repository*, 2020. <https://github.com/nihalberktas/TFP-data.git>.