



A group-decision making and goal programming-based solution approach for the student-project team formation problem

Fatih Çavdur*^{ID}, Aslı Sebatlı^{ID}, Merve Köse-Küçük^{ID}

Department of Industrial Engineering, Bursa Uludag University, Bursa, 16059, Turkey

Highlights:

- Determination of problem criteria weights using Analytic Hierarchy Process (AHP)
- Using a distance-based non-linear mathematical programming model for group-decision making
- Formation of student-project teams using goal programming

Keywords:

- Student-project team formation
- Multi-criteria decision-making
- Group-decision making
- Analytic hierarchy process
- Goal programming

Article Info:

Research Article
Received: 24.07.17
Accepted: 20.02.18

DOI:

10.17341/gazimmfd.416511

Acknowledgement:

The authors wish to thank the faculty members and the students of the Department of Industrial Engineering of Bursa Uludag University for their support.

Correspondence:

Author: Fatih Çavdur
e-mail:
fatihcavdur@uludag.edu.tr
phone: +90 224 294 2077

Graphical/Tabular Abstract

In this study, an Analytic Hierarchy Process (AHP) and goal programming-based solution approach for the student-project team formation problem is proposed. In the first and second phases of a two-phase goal programming-based approach developed in a recent study of authors, students and advisers are allocated to project teams considering several criteria. The AHP method is used to determine the criteria weights for the goal programming models. Surveys are conducted with students and advisors to determine the criteria weights for each student and advisor. Since the criteria weights are different for different decision makers, a distance-based non-linear (DBNL) mathematical programming model is used to determine a group decision. The proposed approach is implemented on a real-life project-team formation problem. The results are compared with the real-life allocations in terms of the problem criteria considered in the study and it is observed that our approach produces significantly more satisfactory results. Additionally, although it takes a considerable amount of time to perform the allocations in real-life, using the proposed approach, allocations can be performed in a few hours, including the only once-conducted survey time.

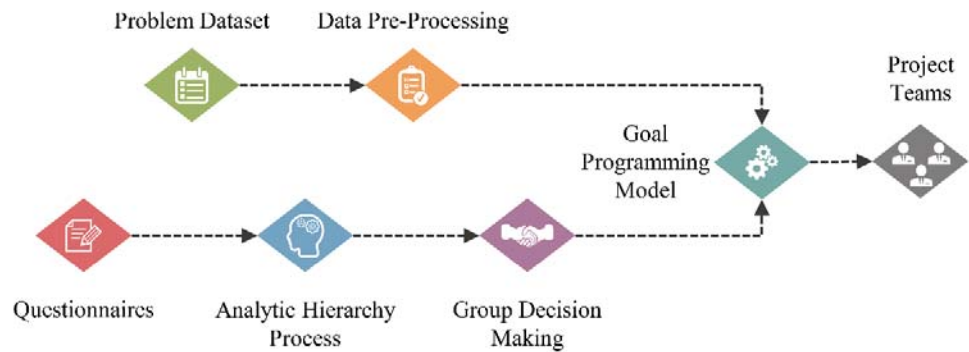


Figure A. Group-decision making and goal programming-based team formation methodology

Purpose: The main purpose of the study is proposing an integrated solution approach for the student-project allocation problem incorporating group-decision making and goal programming.

Theory and Methods: Allocations of students and advisers are performed using the goal programming models proposed in a recent study. The AHP method is used to determine the criteria weights for the goal programming models. Surveys are conducted with students and advisors to determine the criteria weights for each student and advisor. A distance-based non-linear (DBNL) mathematical programming model is used to determine group decisions.

Results: The proposed approach is implemented on a real-life project-team formation problem. The results are compared with the real-life allocations in terms of the problem criteria considered in the study and it is observed that our approach produces significantly more satisfactory results.

Conclusion: In this study, a group-decision making and goal programming-based solution approach for the student-project team formation problem is proposed. The presented approach is proposed for a special problem in this study; however, it can be easily adapted to other project-team formation problems.



Öğrenci-proje takımı oluşturma problemi için grup-karar verme ve hedef programlama temelli çözüm yaklaşımı

Fatih Çavdur* , Aslı Sebatlı , Merve Köse Küçük

Uludağ Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, Bursa, 16059, Türkiye

Ö N E Ç I K A N L A R

- Analitik Hiyerarşi Prosesi (AHP) ile kriter ağırlıklarının belirlenmesi
- Mesafe-bazlı doğrusal-olmayan matematiksel programlama modeli ile grup kararının elde edilmesi
- Hedef programlama ile öğrenci-proje takımlarının oluşturulması

Makale Bilgileri

Araştırma Makalesi

Geliş: 24.07.2017

Kabul: 20.02.2018

DOI:

10.17341/gazimmfd.416511

Anahtar Kelimeler:

Öğrenci-proje takımı oluşturma, çok-kriterli karar verme, grup-karar verme, analitik hiyerarşi prosesi, hedef programlama

ÖZET

Bu çalışmada, öğrenci-proje takımı oluşturma problemi için Analitik Hiyerarşi Prosesi (AHP) ve hedef programlama temelli bir çözüm yaklaşımı önerilmektedir. Yazarlar tarafından daha önce başka bir çalışma kapsamında geliştirilen iki-aşamalı hedef programlama bazlı yaklaşımın birinci ve ikinci aşamalarında, çeşitli kriterler dikkate alınarak, öğrenci ve öğretim üyeleri proje takımlarına atanmışlardır. Bu çalışmada ise hedef programlama modellerinin girdisi olan proje kriter ağırlıklarının belirlenmesi amacıyla AHP yöntemi kullanılmıştır. Bu kapsamda öğrencilerle ve öğretim üyeleriyle anket çalışması yapılarak, her bir öğrenci ve öğretim üyesinin kriterlere verdikleri ağırlıklar belirlenmiştir. Her karar vericinin kriterlere verdikleri ağırlıklar farklı olduğundan, mesafe-bazlı doğrusal-olmayan (MBDO) matematiksel programlama modeli kullanılarak tek bir grup kararı elde edilmiştir. Önerilen yaklaşım, gerçek bir öğrenci-proje takımı oluşturma problemine uygulanmıştır. Sonuçlar, gerçek-hayat atamaları ile çeşitli performans parametreleri açısından karşılaştırılmış ve önerilen yaklaşımın önemli ölçüde daha başarılı sonuçlar ürettiği gözlenmiştir. Buna ilave olarak, atamaların gerçekleştirilme süreleri karşılaştırıldığında, uzun süreler gerektiren gerçek-hayat atama çalışmalarına karşın; önerilen yaklaşım kullanılarak, bir kereye mahsus olan anket çalışmalarının da dikkate alınması durumunda, birkaç saatlik zaman diliminde atamalar gerçekleştirilebilmektedir. Bu çalışmada geliştirilen yöntem özel bir problem için önerilse de kolaylıkla diğer proje takımı oluşturma problemlerine uygulanabilir.

A group-decision making and goal programming-based solution approach for the student-project team formation problem

H I G H L I G H T S

- Determination of problem criteria weights using Analytic Hierarchy Process (AHP)
- Using a distance-based non-linear mathematical programming model for group-decision making
- Formation of student-project teams using goal programming

Article Info

Research Article

Received: 24.07.2017

Accepted: 20.02.2018

DOI:

10.17341/gazimmfd.416511

Keywords:

Student-project team formation, multi-criteria decision making, group-decision making, analytic hierarchy process, goal programming

ABSTRACT

In this study, an Analytic Hierarchy Process (AHP) and goal programming-based solution approach for the student-project team formation problem is proposed. In the first and second phases of a two-phase goal programming-based approach developed in a recent study of authors, students and advisers are allocated to project teams considering several criteria. The AHP method is used to determine the criteria weights for the goal programming models. Surveys are conducted with students and advisors to determine the criteria weights for each student and advisor. Since the criteria weights are different for different decision makers, a distance-based non-linear (DBNL) mathematical programming model is used to determine a group decision. The proposed approach is implemented on a real-life project-team formation problem. The results are compared with the real-life allocations in terms of the problem criteria considered in the study and it is observed that our approach produces significantly more satisfactory results. Additionally, although it takes a considerable amount of time to perform the allocations in real-life, using the proposed approach, allocations can be performed in a few hours, including the only once-conducted survey time. The presented approach is proposed for a special problem in this study; however, it can be easily adapted to other project-team formation problems.

*Sorumlu Yazar/Corresponding Author: fatihcavdur@uludag.edu.tr, aslisebatli@gmail.com, mervekose@uludag.edu.tr /Tel: +90 224 294 2077

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Son yıllarda lisans programlarının sayılarındaki artışla birlikte, özellikle son sınıf öğrencilerinin yer aldıkları ve takım halinde yürütülen bitirme projesi çalışmaları önem kazanmaktadır. Bu çalışmalar ile öğrencilere gerçek hayat problemleri üzerinde uygulama yapma fırsatı sunulur, iş dünyasına girmeden önce deneyim kazanmalarına ve aynı zamanda takım içi çalışma tecrübesi edinmelerine olanak sağlanmaktadır. Söz konusu öğrenci-proje takımları öğrencilerden ve onlara proje çalışmaları süresince danışmanlık sağlayan öğretim üyelerinden oluşmaktadır. Projelerin birtakım kriterleri olduğu gibi takım üyelerinin de bu kriterleri karşılayacak çeşitli niteliklere sahip olması istenmektedir. Bu bağlamda, öğrenci-proje takımı oluşturma problemi; öğrencilerin ve öğrencilere danışmanlık yapacak öğretim üyelerinin tercihlerini ve öğrenci niteliklerini dikkate alarak, proje kriterlerini en yüksek düzeyde karşılayacak takımların oluşturulmasını amaçlayan çok-kriterli bir karar verme problemi olarak tanımlanabilir.

Proje takımı oluşturma problemi birçok alanda karşılaşılan çözümü zor problemlerdendir. Oluşturulan takımlar arasında dengeli ve homojen bir yapının sağlanmasının yanı sıra takım içi çeşitliliğin artırılması da önemli hale gelmektedir. Aksi halde adil şekilde dağılımı yapılmamış takımların projede başarı sağlamaları mümkün olamamaktadır. Takımlar arası sağlanan adaletin takım içinde de geçerliliğini koruması takım üyelerinin motivasyonu açısından önem kazanmaktadır. Dengeli ve homojen proje takım atamalarının kim tarafından, nasıl yapılacağı da bir başka önemli konudur. Geçmişte yapılan takım atamalarında çeşitli stratejiler kullanıldığı görülmektedir. Rastgele atamalar (random assignments), uzman kişilerce yapılan atamalar veya takım üyelerinin kendi gruplarını kendilerinin belirlemesi bunlara örnek gösterilebilir [1]. Bu stratejiler arasında kullanılan en basit takım atama yöntemi rastgele atama yöntemidir [2, 3]. Öğrenci isimlerinin alfabetik olarak sıralanması, öğrencilere rastgele numara verilmesi veya oturdukları yere göre atanması gibi uygulamalar bu yöntemde örnek olarak verilebilir. Rastgele atama yönteminin en büyük avantajı ileri bir planlamaya ihtiyaç duyulmaması ve yöntemin kullanımının oldukça kolay ve adil olmasıdır. Fakat bu yöntemde öğrencilerin farklılık ve yetenekleri dikkate alınmayarak homojen ve dengeli olmayan bir atama yapısı ortaya çıkabilmektedir [4].

Bir diğer takım atama yöntemi ise öğrencilerin kendi gruplarını kendilerinin belirlemesi esasına dayanmaktadır. Bu metotta da ileri bir planlama ihtiyacı duyulmaksızın öğrencilere seçim hakkı verilerek motivasyonlarının arttığı gözlenmektedir. Fakat bu yöntemin uygulanmasıyla istenen yetkinliklere sahip ve dengeli takımların oluşmadığı, iyi öğrencilerin kendi aralarında takım oluşturduğu ve adil olmayan bir yapının ortaya çıktığı söylenebilir [5]. Bu kapsamda uygulanan bir diğer atama yöntemi ise eğitimcilerin puan tabanlı kriter ile takım oluşturulmasına dayanan; yüksek puana sahip öğrencilerin, düşük puana

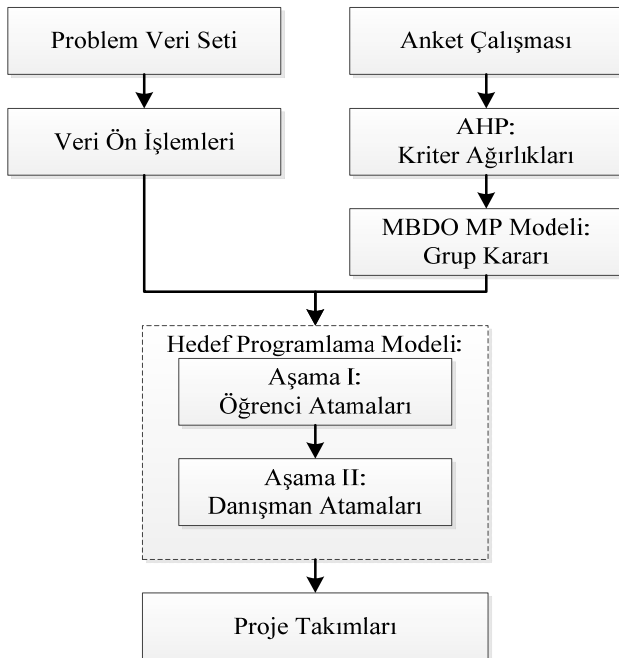
sahip öğrencilerin veya yüksek-düşük puanlı öğrencilerin bir takıma toplandığı uygulamadır. Bu yöntemde de öğrencilerin tercihlerinin dikkate alınmaması ve sınıf içinde takımlar arası dengenin sağlanmaması birer dezavantaj olarak ele alınabilir. Ayrıca her öğrencinin karakteri birbirinden farklıdır. Bazı öğrenciler çekingen ve içe kapanık bir yapıya sahipken; bazı öğrenciler ise dışa dönük ve sosyal kişiliğe sahiptirler. Bu durumda sadece yüksek puanlı veya sadece düşük puanlı öğrencilerden oluşan takımlarda motivasyon kayıpları yaşanabilmektedir. Düşük notlu öğrencilerden oluşan takımlar yaptıkları çalışmaları daha iyi ifade edemeyebilir, buna karşın yüksek notlu öğrenciler daha fazla özgüvenli davranarak çalışmalarında gerekli çabayı göstermeyebilirler. Her iki durumda da takımlardan beklenen proje gerekliliklerinin karşılanamaması söz konusu olacaktır [1].

Proje takımı oluşturma probleminin çözümü için bahsedilen basit atama yöntemlerinden (örneğin, rastgele atama), daha yüksek düzeyde karmaşıklık içeren kapsamlı analitik yöntemlere kadar farklı stratejiler izlenebilir. Bununla birlikte, projelerin etkin şekilde yürütülebilmesi için proje takımlarının çeşitli kriterleri asgari düzeyde sağlaması gerekmektedir. Bu çalışmada, karmaşık bir problemin çözümü için sağlanması gereken her bir proje kriterinin hedef olarak belirlendiği ve kriterlerin ilgili hedef değerlerinden sapmalarını en küçükleyen, Cavdur vd. [6] tarafından geliştirilmiş olan, iki-aşamalı hedef programlama bazlı bir yaklaşım kullanılmıştır. Çözüm yaklaşımının ilk aşamasında, öğrencilerin nitelikleri ve tercihleri ile projelerin kriterleri dikkate alınarak en iyi yapıda öğrenci-proje takımları oluşturulmaktadır. Burada dikkate alınan öğrenci proje tercihleri ile öğrencilerin tercih ettikleri projelere atanması sağlanarak daha başarılı proje çalışmalarının gerçekleştirileceği öngörülmektedir. Benzer şekilde, proje kriterleri ile öğrencilerin bu kriterleri sağlama becerilerinin (niteliklerinin) en iyi şekilde eşleştirildiği bir atama yapısı da takımların başarılarını doğrudan etkilemektedir. Örneğin, proje takımları oluşturulurken homojen dağılım esası göz önüne alınarak, takım içi ve takımlar arası motivasyonu sağlamak amacıyla her takımın ortalama genel akademik not ortalamalarının (GANO) birbirine eşit ve genel sınıf ortalamasını yansıtacak şekilde olması sağlanmaktadır. Benzer şekilde, öğrenci nitelikleri açısından dengeli takımlar oluşturularak diğer proje kriterlerinin de asgari düzeyde karşılanması sağlanmaktadır. Diğer bir deyişle, her takım atandığı projede yerine getirilmesi gereken görevleri, diğer takımlara benzer deneyim ve bilgi-beceri düzeyine sahip olarak, başarıyla yerine getirebilecek seviyeye ulaştırılmaktadır. İkinci aşamada ise ilk aşamada oluşturulan takımlara akademik danışmanlık yapacak olan öğretim üyelerinin tercihleri ve birtakım kriterler dikkate alınarak proje takımlarına atanmaları sağlanmaktadır.

Önerilen çözüm yaklaşımının uygulanmasına ilişkin adımlar Şekil 1'de verilmiş olup, problem veri seti; proje listeleri, öğrenci ve öğretim üyesi tercihleri ve öğrenci niteliklerini

içermektedir. Bu kapsamda, gerekli veriler öğrencilerden ve öğretim üyelerinden elde edilmekte ve birtakım ön işlemlerden geçirilerek takım atamalarının gerçekleştirildiği hedef programlama modellerinde kullanılmak üzere hazırlanmaktadır. Söz konusu sürece paralel olarak, hedef programlama modellerindeki hedef ağırlıklarının belirlenmesi amacıyla, her bir karar verici (öğrenciler ve öğretim üyeleri) ile anket çalışması yapılmaktadır. Böylece, Analitik Hiyerarşi Prosesi (AHP) yöntemi kullanılarak her bir karar vericinin proje kriterlerine vermiş oldukları ağırlıklar belirlenmektedir. Karar vericiler için kriter ağırlıklarının belirlenmesiyle birlikte, mesafe-bazlı doğrusal olmayan (MBDO) matematiksel programlama modeli kullanılarak, çok sayıda ve farklı fikirlere sahip karar vericilerden oluşan grubun kararını yansıtan tek bir karar yapısı elde edilmektedir. Grup kararını ifade eden kriter ağırlıkları ise hedef programlama modellerinin girdisi niteliğinde olup, burada belirlenen kriter ağırlıkları hedef programlamadaki hedef ağırlıkları olarak ele alınmaktadır. Son olarak, hedef programlama modellerinin çözülmesi ile dengeli ve homojen proje takımları oluşturulmaktadır.

Şekil 1 ile özetlenen bu yapı, çalışmanın özgün yönü olan ve öğrenci-proje takımı atama problemi için hedef programlama yaklaşımı ile çok kriterli karar verme ve grup karar verme yöntemlerinin bütünlük bir şekilde ele alındığı önerilen yaklaşıma ilişkin uygulama adımlarını içermektedir. Söz konusu çözüm yaklaşımı aşamaları hakkında detaylı bilgilere ve yöntemler arasındaki girdi-çıkı ilişkilerine ilerleyen bölümlerde yer verilmiştir.



Şekil 1. Önerilen çözüm yaklaşımının adımları
(Steps of the proposed solution approach)

Önerilen yaklaşım, Uludağ Üniversitesi Endüstri Mühendisliği bölümünde yürütülen lisans-bitirme tezi

çalışmaları kapsamında yürütülen, öğrenci-proje takımı oluşturma problemine uygulanmıştır. Hali hazırda gerçek-hayat uygulamalarında oluşturulan öğrenci-proje takımları ile önerilen çözüm yaklaşımı sonucunda elde edilen çözümler çeşitli performans parametreleri açısından karşılaştırılmıştır. Önerilen yaklaşımda iki kavramın üzerinde önemle durulmaktadır; bunlar (i) öğrenci ve öğretim üyesi tercihleri, (ii) dengeli ve homojen takım dağılımıdır. Homojenlik kavramı ile her takımın proje kriterleri açısından eşit bilgi ve beceri düzeyine sahip olması sağlanarak, tüm takımların başarılı projeler gerçekleştirme amaçlanmıştır. Bir diğer önemli kavram olan tercihlerin dikkate alınmasıyla da öğrenci ve öğretim üyesi memnuniyetinin en yüksek düzeyde karşılanması amaçlanmıştır. Ele alınan gerçek hayat uygulamasında, öğrenci-proje takımı oluşturma problemi, birinci aşaması öğrenci atamalarını, ikinci aşaması ise öğretim üyelerinin atamalarını içerecek şekilde iki aşamadan oluşmaktadır. Bu çalışmada da çözüm yaklaşımı benzer şekilde iki aşamalı bir atama yapısına sahiptir. İlk aşamada öğrenci-proje takımı atamaları yapılırken dikkate alınan yedi kriter; (i) öğrenci tercihleri, (ii) bir takımın yer alan toplam öğrenci sayısı, (iii) GANO, (iv) yabancı dil bilgisi, (v) bilgisayar programlama becerisi, (vi) genel ofis yazılımları bilgisi ve (vii) veri tabanı yönetimi bilgisidir. İlk aşamada öğrenci atamaları yapıldıktan sonra, ikinci aşamada takımlara danışmanlık yapacak öğretim üyelerinin atamaları gerçekleştirilmektedir. Bu kapsamda ele alınan üç kriter; (i) danışman tercihleri, (ii) bir danışmana atanan toplam takım sayısı ve (iii) bir takıma atanan toplam danışman sayısıdır. Çalışmanın ilerleyen bölümleri şu şekilde organize edilmiştir: İkinci bölümde, kaynak araştırması sunulmuştur. Üçüncü bölümde, çalışma kapsamında önerilen hedef programlama, AHP ve grup-karar verme yöntemlerinin bütünlük olarak kullanıldığı metodoloji verilmiştir. Önerilen metodolojinin uygulanması sonucunda elde edilen bulgular dördüncü bölümde sunulmuştur. Beşinci bölümde ise sonuç ve önerilerden bahsedilmiştir.

2. KAYNAK ARAŞTIRMASI (LITERATURE REVIEW)

Geçmişte yapılan öğrenci-proje takımı oluşturma çalışmaları incelendiğinde, takım oluşturma sürecinde öğrencilerin projeleri tercih edip etmeme durumlarının dikkate alındığı çalışmaların mevcut olduğu görülmüştür [7]. Önerilen projelere öğrenciler tercih yaptıktan sonra, eğitimciler bu tercihleri dikkate alarak adil bir atama yapmayı hedeflemektedirler. Delson [8] çalışmasında, öğrencilerin tercih ettikleri projelerde çalışmalarının motivasyonlarını artırıcı ve başarıyı destekleyici unsurlardan biri olduğunu vurgulamıştır. Saraç ve Özçelik [9] tarafından yapılan çalışmada ise takım içerisindeki öğrencilerin birbiri ile uyumlu çalışabilmesi ve motivasyonlarının yüksek olabilmesi için takım üyelerinin birbirlerini tercih eden öğrencilerden oluşturulması gerekliliği üzerinde durulmuştur.

Birtakım çalışmalarda ise eğitimciler tarafından öğrencilerin özellikleri göz önüne alınarak takım atamaları yapılmaktadır.

Bu özellikler cinsiyet, ırk, bilgi düzeyi, geçmiş kazanımları vb. olarak belirlenmektedir. Ele alınan özellikler cinsinden takım içerisinde çeşitlilik içeren bir yapı söz konusudur [5]. Bu yöntem öğrencilerin tercihlerinden bağımsız ve uzaktan kontrol mekanizması olarak çalıştığından, takımdan beklenen başarının sağlanıp sağlanamayacağı önceden öngörülememektedir [10].

Öğrenci-proje takımı oluşturma problemi için matematiksel programlama temelli yaklaşım kullanılan ilk çalışmalardan biri, Proll [11] tarafından yapılan öğrencilerin en çok tercih ettikleri projelere atanmasını sağlayan çalışmadır. Bu konuda yapılan bir diğer çalışmada ise öğrencilerin içgüdüsel davranışlarını ve yeteneklerini ölçmeye yarayan Kolbe indeksi (Kolbe index) parametresinden yararlanılarak bir matematiksel model ve sezgisel yöntemle dayalı çözüm yaklaşımı geliştirilmiştir [12]. Geçmiş çalışmalar incelendiğinde, proje takımı oluşturma problemlerinin bir kararlı-eşleştirme problemi (Stable-Matching Problem) olarak ele alındığı çalışmalar görülmektedir. Abraham vd. [13] tarafından eşleştirme probleminin çözümü için etkin bir algoritma önerilmiştir. Dye [14] ise öğrenci-proje atama problemini bir kararlı-eşleştirme problemi olarak ele alıp, kısıt programlama temelli çözüm yaklaşımı sunmuştur. Manlove ve O'Malley [15] tarafından yapılan çalışmada, tercih ve kapasite kısıtları altında farklı boyutta eşleştirme durumlarının dikkate alındığı kararlı-eşleştirme problemi için bir algoritma geliştirilmiştir. Iwama vd. [16] tarafından yapılan çalışmada ise kararlı eşleştirmelerin boyutunun farklılık gösterdiği söz konusu durum için maksimum sayıda eşleşmenin bulunması amacıyla, yakınsama oranının alt ve üst limit değerleri iyileştirilmiştir. Son yıllarda yapılan bazı çalışmalarda öğrenci-proje takımı oluşturma probleminin çözümü için literatürde bulunan matematiksel programlama yaklaşımlarının dikkate alındığı görülmektedir. Örneğin, Bahargam vd. [17] çalışmalarında takım oluşturma problemine, daha önce bu tür problemin çözümünde kullanılmayan ve literatürde yer alan fay hattı minimizasyonu yaklaşımını uygulamıştır. Agrawal vd. [18] tarafından yapılan çalışmada, farklı yetenek seviyelerine sahip öğrencilerin beklenen takım performansını karşılaması amacıyla öğrenci takımı oluşturma probleminin çözümü için iki aşamalı bir çözüm yaklaşımı geliştirilmiştir. Agrawal vd. [19] tarafından yapılan bir diğer çalışmada ise daha önce geliştirilen iki aşamalı yaklaşım genişletilerek problemin çözümü sağlanmıştır. Bahargam vd. [20] tarafından yapılan çalışmada ise takım oluşturma ve eğitim programı hazırlama problemi ele alınarak, önerilen yaklaşımın ilk aşamasında öğrenci takımlarının oluşturulması sağlanırken, ikinci aşamasında oluşturulan öğrenci takımlarının alacağı eğitim programının çizelgelemesi sağlanmıştır.

Literatürde öğrenci-proje takımı oluşturma problemi ile çeşitli benzerlikler içeren diğer takım atama ve çizelgeleme problemlerinin de mevcut olduğu görülmektedir. Aksakal ve Dağdeviren [21] tarafından dikkate alınan yetenek yönetimi temelli personel atama problemi, Wong vd. [22] tarafından yapılan hemşire çizelgeleme çalışması, Tapkan vd. [23] tarafından yapılan raylı sistem personeli planlama ve atama

çalışmaları, Meskens vd. [24] ve Aringhieri vd. [25] tarafından gerçekleştirilen ameliyathane çizelgeleme çalışmaları, Sandhu ve Klabjan [26] tarafından ele alınan uçuş ekibi oluşturma problemi bunlara örnek olarak verilebilir.

Literatürde yer alan çalışmalar incelendiğinde, takım oluşturma problemi için geliştirilen yaklaşımların, yalnızca nicel unsurlara dayandırılmaksızın, aynı zamanda nitel (sosyal ve psikolojik) unsurların da dikkate alındığı bütünlük bir yapıda olması gerektiği fikri ortaya çıkmaktadır. Örneğin, takımda bulunacak kişi sayısı bir nicel unsur iken, takım üyelerinin proje tercihlerinin dikkate alınması nitel bir unsur olarak değerlendirilebilir. Tüm unsurların dikkate alındığı bir atama yapısı proje başarısını beraberinde getirecektir. Kişiler arası sosyal uyumu dikkate alan Gutierrez vd. [27] tarafından yapılan çalışma bu alanda örnek gösterilebilir. Bunun yanı sıra, takım ataması yapılırken, Hubscher [28] tarafından gerçekleştirilen çalışmada önerildiği gibi takım içi en yüksek düzeyde çeşitlilik ve takımlar arası ise dengeli bir yapı sağlanmalıdır.

Proje takımı oluşturma problemi, yapısı gereği birden fazla kriterin karşılanmasını gerektirdiği için bu problemin çözümünde çok-kriterli karar verme yöntemlerinin kullanıldığı çalışmalar öne çıkmaktadır. Uygulamada en çok kullanılan çok-kriterli karar verme teknikleri arasında AHP [29], ELECTRE [30], TOPSIS [31], VIKOR [31] ve PROMETHEE [32] gibi yaklaşımlardan bahsedilebilir. Bu çalışmada ise AHP ve hedef programlama yöntemlerinin entegre şekilde kullanıldığı bir çözüm yaklaşımı önerilmiştir. Proje kriter ağırlıklarının belirlenmesinde AHP yöntemi uygulanırken, öğrenci-proje takımı oluşturmak amacıyla Cavdur vd. [6] tarafından yapılan çalışma kapsamında geliştirilmiş olan ve Metodoloji bölümünde detayları sunulan hedef programlama modelleri kullanılmıştır.

Hedef programlama karar vericinin bir grup olası çözümünden en iyi çözümü bulurken birçok kriteri dikkate almasına dayanmaktadır. Bu tanım ilk defa Charnes ve Cooper [33] tarafından yapılmıştır. Hedef programlamanın en genel amaç fonksiyonu, hedeflerden sapmaların enküçüklenmesinden oluşmaktadır. Hedef programlama yaklaşımının çeşitli problemlerin çözümünde kullanıldığı görülmektedir. Söz konusu uygulama alanları ile ilgili Aouni ve Kettani [34], Ignizio [35], Tamiz vd [36] tarafından yapılan çalışmalar incelenebilir. Bu çalışmada ele alınan öğrenci-proje takımı oluşturma probleminde de birden fazla proje kriteri göz önünde bulundurulduğundan, bu problemin çözümü için hedef programlama yaklaşımı etkin bir çözüm yöntemidir. Hedef programlamada ele alınan her hedef, ilgili proje kriterlerinin sağlanması şeklinde tanımlanabilir. Literatürde yer alan bazı çalışmalarda proje takımı oluşturma problemi için hedef programlama yaklaşımının uygulandığı görülmektedir. Baykasoglu vd. [37] tarafından yapılan çalışmada proje takımı atama probleminin çözümü için sürdürülebilirliği ve takım boyutunu dikkate alan bulanık-çok-amaçlı bir model önerilmiştir. Badri vd. [38] tarafından yapılan bir başka çalışmada ise ikili-hedef programlama

yaklaşımı kullanılmıştır. Burada ele alınan hedefler toplam proje faydası, maliyeti, riski ve proje tercihleridir. Bu çalışmada da ele alınan öğrenci-proje takımı oluşturma probleminde birçok kriterden bahsedilebilir. Bunlar; öğrenci/öğretim üyesi proje tercihlerinin sağlanması, her takım için istenen proje gerekliliklerinin asgari düzeyde karşılanması olarak belirlenmektedir. Öğrenci-proje takımı oluşturma probleminin çözümü için söz konusu bu kriterlerin istenen düzeylerden sapmalarının enküçüklenmesi amacıyla Cavdur vd. [6] tarafından yapılan çalışma kapsamında geliştirilmiş olan hedef programlama modelleri kullanılmaktadır.

Hedef programlamada ele alınan her hedef, ilgili proje kriterlerinin sağlanması şeklinde tanımlandığından, ele alınan kriter ağırlıklarının ve bu kriterlerin birbirlerine göre önceliklerinin belirlenmesi ayrı bir problem teşkil etmektedir. Kriter ağırlıklarının belirlenmesi amacıyla literatürde; AHP metodu, Analitik Ağ Prosesi (ANP) metodu, uzman görüşü (expert method), Delphi metodu (Delphi method), değişim katsayısı metodu (variation coefficient method) ve entropi-temelli metod (entropy-based method) olmak üzere çeşitli yöntemler mevcuttur [39]. Kriter ağırlıklarının belirlenmesi amacıyla AHP yönteminin sıklıkla kullanıldığı görülmektedir. Örneğin, Karaman ve Çerçioğlu [40] tarafından yapılan çalışmada, hastane projeleri seçimi problemi ele alınmış olup, seçim probleminin doğasında bulunan birçok kriteri çözüme yansıtılabilmek amacıyla ve kriter ağırlıklarının belirlenmesi amacıyla AHP yöntemi kullanılmıştır. Ardından en iyi seçimi elde etmek amacıyla 0-1 hedef programlama modeli önerilmiştir. Büyükoçkan ve Güleriyüz [41] tarafından yapılan çalışmada lojistik firmalarının web sitesi değerlendirme kriterleri ve kriter hiyerarşisi belirlenmiştir. Çalışmanın ikinci aşamasında değerlendirme kriter ağırlıkları ise AHP yönteminin bulanık uygulaması ile hesaplanmıştır. Üstün ve Anagün [42] tarafından yapılan bir diğer çalışmada ise sosyo-ekonomik kriterler, bina yapısı kriterleri, coğrafi ve jeolojik özellikler kriterleri ve altyapı kriterleri ile bu kriterlerin alt kriterleri AHP yöntemi kullanılarak İstanbul'un ilçeleri incelenmiş ve her bir kriter grubu için ve bütünsel olarak risk haritaları oluşturulmuştur. Yüksel [43] tarafından yapılan çalışmada eğitim sisteminin değerlendirilmesinde; yönetim, altyapı, öğretimin etkililiği, öğrenciler, endüstri ve toplumla etkileşim, müfredat dışı etkinlikler ve araştırma geliştirme gibi kriterler dikkate alınmıştır. Bununla birlikte, kriter ağırlıklarının belirlenmesinde ise ANP yöntemi kullanılmıştır.

Bu çalışmada da kriter ağırlıklarının belirlenmesi amacıyla AHP yaklaşımı kullanılmıştır. AHP, önceden belirlenmiş birtakım kriterleri dikkate alarak alternatiflerin ikili karşılaştırılması esasına dayanan çok kriterli karar verme yöntemlerinden biridir. AHP'de öncelikle amaç belirlenmekte ve bu amaç doğrultusunda seçimi etkileyen kriterler ortaya konulmaktadır. Daha sonra kriterler göz önüne alınarak potansiyel alternatifler belirlenerek, karar için hiyerarşik bir yapı oluşturulmaktadır [44]. Öncelikle, kriterler kendi aralarında ikili karşılaştırılarak kriterlerin

ağırlık katsayıları belirlenmektedir. Ardından alternatifler her bir kriter açısından kendi aralarında ikili karşılaştırılarak karar matrisleri oluşturulmakta ve bu matrislerin oluşturulmasında Saaty [44] tarafından önerilen Tablo 1'de yer alan 1-9 önem skalası kullanılmaktadır. Karar matrisinin her bir elemanı karar vericinin *i*. alternatif ile *j*. alternatifi karşılaştırması sonucunda verdiği ağırlığı ifade etmekte ve a_{ij} olarak gösterilmektedir. Bu durumda tutarlı bir karar verici matrisinde $a_{ji} = 1/a_{ij}$ karşılık olma (reciprocity) özelliği bulunmalıdır.

Tablo 1. AHP önem skalası (AHP scale)

Önem Derecesi	Tanımı
1	Eşit önemli
3	Orta derecede önemli
5	Kuvvetli derecede önemli
7	Çok kuvvetli derecede önemli
9	Kesin önemli
2, 4, 6, 8	Ara değerler

Saaty [44]; Saaty ve Kearns [45] çalışmalarında AHP yönteminin uygulanmasına ilişkin yedi temel adımdan bahsetmiştir. Bunlar;

- Problem ve problemin amacı belirlenir.
- Hiyerarşik yapının elemanları olan alternatifler, kriterler ve/veya alt kriterler ve bunlara ilişkin düzeyler belirlenir.
- İkili karşılaştırma matrisleri önem skalasına göre oluşturulur. İkili karşılaştırmada hangi kriter diğerine göre daha baskınsa o kriter daha yüksek ağırlık verilir.
- Toplamda $n(n-1)/2$ adet karşılaştırma elde edilir. İkili karşılaştırma matrisinde köşegen üzerindeki değerler 1'e eşittir. Her bir değer köşegen göre simetrik değeri ile kendisinin çarpımı ise 1'e eşit olmalıdır.
- Özvektör (eigenvector) hesaplanarak kriterlerin ağırlık değerleri belirlenir.
- Özdeğer (eigenvalue) kullanılarak tutarlılık oranı hesaplanır.
- 3-6 numaralı adımlar hiyerarşide yer alan tüm elemanlar (alternatifler, kriterler, alt kriterler vb.) için uygulanır.

Bu çalışmadaki AHP uygulamasında, karar vericiler öğrenci ve öğretim üyeleri olmak üzere iki gruptan oluşmaktadır. Bununla birlikte, çok sayıda öğrencinin/öğretim üyesinin vermiş oldukları kararı yansıtan tek bir grup kararının elde edilmesi önemli bir husustur. Her iki grupta da karar verici sayısı birden fazla olup, farklı karar vericilerin farklı kriterlere vermiş oldukları ağırlıklar belirlenmiştir. Bu bağlamda, farklı fikir yapısına sahip kişilerden alınan kararları yansıtmak amacıyla grup-karar verme yöntemlerine başvurulmuştur. Karar verme probleminin karmaşık yapısı, tek bir karar vericinin seçim sorunlarının tüm önemli yönlerini dikkate almasını zorlaştırmaktadır. Bu nedenle, grup-karar verme, bu tür karar süreçlerinde yanlılığı önlemek ve taraftarlığı en aza indirmek için sıklıkla tercih edilmektedir [46]. Grup-karar verme yöntemi; (i) grupta yer alan karar vericilerin tanımlanması, (ii) her bir karar vericiye standart çok-kriterli karar verme yöntemlerinin uygulanması

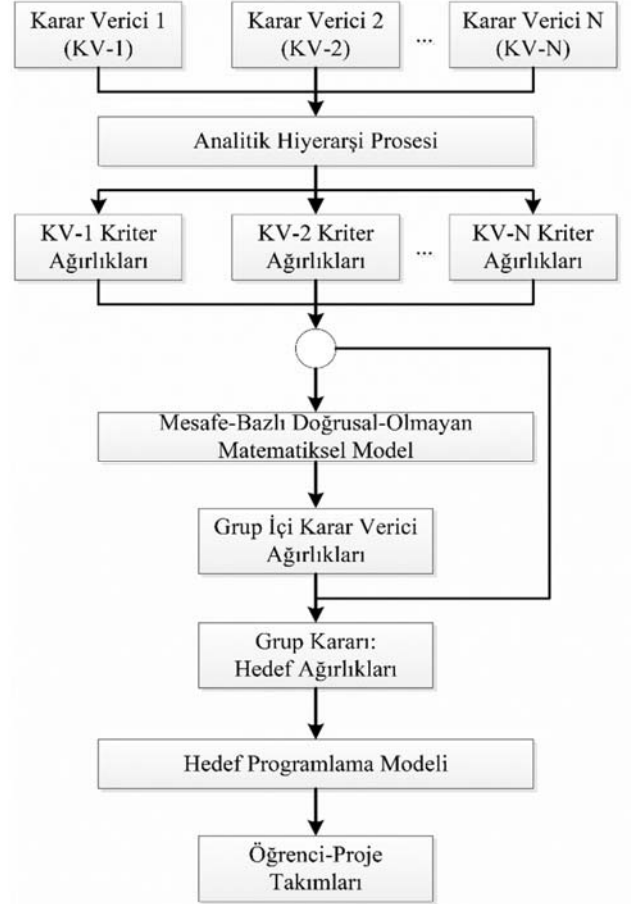
ve (iii) grup kararı için geliştirilen formülün uygulanması olmak üzere üç aşamadan oluşmaktadır. Grup-karar verme yöntemlerinde ortak amaç, farklı kişilerin kararlarını temsil eden ve bu kişilerin birbiriyle olan farklarını en aza indirgeyen tek bir grup kararı oluşturmaktır. Bu sayede, tek karar vericiden alınan kararların incelendiği çalışmalardan farklı olarak, grup kararını dikkate alan çalışmalarda daha tarafsız ve çeşitli kararları bünyesinde barındıran bir yapı elde edilmektedir [47].

Literatürde grup-karar verme yöntemlerinin uygulandığı doğrusal ve doğrusal olmayan farklı yöntemler ele alınmaktadır [48]. Yu ve Lai [49] tarafından yapılan çalışmada, çoklu karar vericinin dikkate alındığı çok kriterli karar verme problemi için mesafe-bazlı bir grup-karar verme yaklaşımı önerilmiştir. Alfares ve Duffuaa [50] tarafından yapılan çalışmada ise farklı bireylerin çoklu kriterleri sıralamaları bir toplam fonksiyonu ile birleştirilerek, grup kararının yansıtıldığı kriter ağırlıkları belirlenmiştir. Delgado vd. [51] tarafından sunulan çalışmada ise kişilerin sayısal ve sözel ifadelerle belirttikleri tercihleri, bir birleştirme operatörü aracılığıyla bütünlük bir şekilde ele alınmıştır. Escobar ve Moreno-jimenez [52] ise çok sayıda karar vericinin yanı sıra bireylerin belirsizliği unsurunu da dikkate almışlardır. Bu çalışmada ise AHP yaklaşımı ile her bir karar vericinin kişisel değerlendirmeler sonucunda kriterlere verdiği ağırlık katsayılarının belirlenmesinin ardından, farklı karar vericilerin grup içerisindeki ağırlıklarının belirlenmesi amacıyla Yu ve Lai [49] tarafından önerilen, karar vericiler arasındaki farkı (mesafeyi) en aza indirgeyen MBDO matematiksel programlama modeli kullanılmıştır. Bu yöntem ile grup içerisindeki çeşitliliğin ve tüm grup üyelerinin fikirlerinin tek bir grup kararı bünyesinde yansıtıldığı bir yapı elde edilmiştir.

3. METODOLOJİ (METHODOLOGY)

Bu çalışmada, öğrenci-proje takımı oluşturma problemi için birden fazla kriterin dikkate alındığı ve bu kriterlerin ağırlıkları göz önünde bulundurularak en iyi atamaların gerçekleştirilmesini amaçlayan, AHP ve hedef programlama temelli bir çözüm yaklaşımı geliştirilmiştir. Şekil 2’de görüldüğü gibi önerilen çözüm yaklaşımı üç temel bileşenden oluşmaktadır. Bunlardan ilki her bir karar vericiye uygulanan AHP yöntemi olup, anketler aracılığıyla toplanan veriler değerlendirilerek her karar verici için kriter ağırlıkları belirlenmiştir. AHP ile kriter ağırlıkları hesaplandıktan sonra MBDO matematiksel programlama modeli kullanılarak tek bir grup kararı elde edilmiştir. Böylelikle farklı fikir yapısına sahip ve birbirinden bağımsız karar vericilerden elde edilen kararlar, söz konusu bu karar vericilerin fikirlerini yansıtan tek bir grup kararına dönüştürülmüştür. Son olarak, proje kriterlerini maksimum düzeyde sağlamayı amaçlayan hedef programlama temelli yaklaşım uygulanmıştır. Grup-karar verme yöntemi ile belirlenen kriter ağırlıkları, hedef programlama modellerinde ele alınan hedeflerin ağırlıklarını yansıtmaktadır. Burada dikkat edilmesi gereken nokta, AHP

yaklaşımında kriter başlığında toplanan kavramların, hedef programlama yaklaşımında bu kriterlerin sağlanmasını amaçlayan birer hedef olarak değerlendirilmesidir. Örneğin; AHP yaklaşımı ile karar verme aşamasında GANO bir kriter olarak ele alınırken, birinci hedef programlama modelinde her bir proje takımının ortalama GANO değerinin belirli bir değere eşit olması bir hedef olarak değerlendirilmektedir.



Şekil 2. Çözüm yöntemleri arasındaki ilişkinin gösterilmesi (Representation of the relationship between solution methods)

3.1. İki-Aşamalı Hedef Programlama Modeli (Two-Phase Goal Programming Model)

Çalışmada ele alınan öğrenci-proje takımı oluşturma problemi, yapısı itibarıyla ardışık iki aşamadan oluşmaktadır. Birinci aşamada öğrenci-proje takımı atamaları, ikinci aşamada ise oluşan bu takımlara danışmanlık yapacak öğretim üyelerinin atamaları gerçekleştirilmektedir. Dolayısıyla iki aşamadan oluşan bir hedef programlama bazlı yaklaşım kullanılmıştır. Hedef programlamada, tek bir kriterin dikkate alındığı matematiksel programlama modellerinden farklı olarak, ele alınan birden fazla hedef birer kısıt olarak modelde yer almakta ve amaç fonksiyonunda bu hedeflerden sapmaların en küçüklenmesi amaçlanmaktadır. Hedef programlamanın kısıt yapısı incelendiğinde iki çeşit kısıttan bahsedilebilir. Problemin doğasından kaynaklanan sınırlandırmalar zorunlu

kısıtlar (hard constraints) olarak tanımlanmaktadır. Her bir hedefe ait hedef değere yakınsamayı ifade eden kısıtlar ise esnek kısıtlardır (soft constraints) ve hedef programlamada bu kısıtlar, sapma değişkenleri eklenerek zorunlu kısıtlara dönüştürülmektedir. Bu çalışmada ele alınan öğrenci-proje takımı oluşturma probleminde, sağlanması gereken her bir proje kriteri birer hedef olarak ele alınmıştır. Öğrenci atamalarının yapıldığı ilk aşamada yedi hedef ele alınırken bunlar; (i) öğrenci tercihleri, (ii) bir takımında yer alan toplam öğrenci sayısı, (iii) GANO, (iv) yabancı dil bilgisi, (v) bilgisayar programlama becerisi, (vi) genel ofis yazılımları bilgisi ve (vii) veri tabanı yönetimi bilgisidir. Öğrenci atamalarının dikkate alındığı birinci hedef programlama modelinde, bu yedi hedefin minimum sapma ile sağlanması amaçlanarak, öğrencilerin hangi projeye atandığına karar verilmektedir. Cavdur vd. [6] tarafından yapılan çalışma kapsamında geliştirilmiş olan söz konusu hedef programlama modelinin ilk aşaması aşağıda yer alan bileşenleri içermektedir.

İndisler:

- i : Öğrenci indisi, $i = 1, \dots, n_i$
- j : Proje indisi, $j = 1, \dots, n_j$
- k : Tercih indisi, $k = 1, \dots, n_k \leq n_j$

Parametreler:

- p_{ij} : i . öğrencinin j . projeyi tercih etme sırası
- K_{ij} : k indeksindeki elemanların i . öğrencinin j . projeyi tercih etme sırasını gösteren bir alt kümesi, $K_{ij} = \{k \mid k = p_{ij}\}$
- g_i : i . öğrencinin GANO değeri
- g_i^L : i . öğrencinin yabancı dil puanı
- q_i^1 : i . öğrencinin bilgisayar programlama becerisi; i . öğrencinin bilgisayar programlama becerisi var ise 1, aksi durumda 0
- q_i^2 : i . öğrencinin genel ofis yazılımları becerisi; i . öğrencinin genel ofis yazılımları becerisi var ise 1, aksi durumda 0
- q_i^3 : i . öğrencinin veri tabanı yönetimi becerisi; i . öğrencinin veri tabanı yönetimi becerisi var ise 1, aksi durumda 0
- N_S : bir takımında olması gereken öğrenci sayısı
- $N_{S-min}(N_{S-max})$: bir takımında olması gereken öğrenci sayısı alt (üst) limiti
- G_T : bir takımında olması gereken ortalama GANO değeri
- $G_{T-min}(G_{T-max})$: bir takımında olması gereken ortalama GANO değeri alt (üst) limiti
- G_T^L : bir takımında olması gereken ortalama yabancı dil puanı değeri

Değişkenler:

- x_{ijk} : {1, i . öğrenci k . sırada tercih ettiği j . projeye atanıyorsa 0, & aksi durumda}-

- $d_i^{\mp 1}$: ilgili kriterlere (1) ait sapma değişkenleri
- $d_j^{\mp 2}, \dots, d_j^{\mp 7}$: ilgili kriterlere (2, ..., 7) ait sapma değişkenleri

Amaç fonksiyonu:

$$\begin{aligned} \min z_1 & (d^-, d^+) \\ & = w_1 \left(\sum_{i=1}^{n_i} d_i^{+1} \right) \\ & + w_2 \left(\sum_{j=1}^{n_j} d_j^{-2} + d_j^{+2} \right) + w_3 \left(\sum_{j=1}^{n_j} d_j^{-3} + d_j^{+3} \right) \\ & + w_4 \left(\sum_{j=1}^{n_j} d_j^{-4} \right) + w_5 \left(\sum_{j=1}^{n_j} d_j^{-5} \right) \\ & + w_6 \left(\sum_{j=1}^{n_j} d_j^{-6} \right) + w_7 \left(\sum_{j=1}^{n_j} d_j^{-7} \right) \end{aligned} \quad (1)$$

Kısıtlar:

$$\sum_{j=1}^{n_j} \sum_{k=1}^{n_k} x_{ijk} = 1, \forall i \quad (2)$$

$$\sum_{j=1}^{n_j} \sum_{k \in K_{ij}} k x_{ijk} + d_i^{-1} - d_i^{+1} = 1, \forall i \quad (3)$$

$$\sum_{i=1}^{n_i} \sum_{k=1}^{n_k} x_{ijk} + d_j^{-2} - d_j^{+2} = N_S, \forall j \quad (4)$$

$$N_{S-min} \leq \sum_{i=1}^{n_i} \sum_{k=1}^{n_k} x_{ijk} \leq N_{S-max}, \forall j \quad (5)$$

$$\begin{aligned} \sum_{i=1}^{n_i} \sum_{k=1}^{n_k} g_i x_{ijk} - \sum_{i=1}^{n_i} \sum_{k=1}^{n_k} G_T x_{ijk} \\ + d_j^{-3} - d_j^{+3} = 0, \forall j \end{aligned} \quad (6)$$

$$\begin{aligned} \sum_{i=1}^{n_i} \sum_{k=1}^{n_k} G_{T-min} x_{ijk} \leq \sum_{i=1}^{n_i} \sum_{k=1}^{n_k} g_i x_{ijk} \\ \leq \sum_{i=1}^{n_i} \sum_{k=1}^{n_k} G_{T-max} x_{ijk}, \forall j \end{aligned} \quad (7)$$

$$\begin{aligned} \sum_{i=1}^{n_i} \sum_{k=1}^{n_k} g_i^L x_{ijk} - \sum_{i=1}^{n_i} \sum_{k=1}^{n_k} G_T^L x_{ijk} \\ + d_j^{-4} - d_j^{+4} = 0, \forall j \end{aligned} \quad (8)$$

$$\sum_{i=1}^{n_i} \sum_{k=1}^{n_k} q_i^1 x_{ijk} + d_j^{-5} - d_j^{+5} = 1, \forall j \quad (9)$$

$$\sum_{i=1}^{n_i} \sum_{k=1}^{n_k} q_i^2 x_{ijk} + d_j^{-6} - d_j^{+6} = 1, \forall j \quad (10)$$

$$\sum_{i=1}^{n_i} \sum_{k=1}^{n_k} q_i^3 x_{ijk} + d_j^{-7} - d_j^{+7} = 1, \forall j \quad (11)$$

$$x_{ijk} \in \{0, 1\}, \forall i, j, k \quad (12)$$

$$d_i^{\mp 1} \geq 0, \forall i \quad (13)$$

$$d_j^{\mp 2}, \dots, d_j^{\mp 7} \geq 0, \forall j \quad (14)$$

Eş. 1 ile birinci hedef programlama modelinde dikkate alınan kriterlerin, hedef değerlerinden sapmaları minimize edilmektedir. Burada dikkate alınan hedefe bağlı olarak; pozitif, negatif veya pozitif hem negatif sapma değişkenlerinin minimize edilmesi söz konusudur. Eş. 2 ile her öğrenci mutlaka bir adet projeye atanmaktadır. Eş. 3 ile her öğrencinin ilk sırada tercih ettiği projeye atanması hedeflenmektedir. Eş. 4 ile her takımında istenen sayıda öğrenci olması hedeflenirken, Eş. 5 ile her takımındaki toplam

öğrenci sayısının belirlenen alt ve üst limit değerlerinin arasında olması sağlanmaktadır. Eş. 6 ile her takımın ortalama GANO değerinin sınıfın ortalama GANO değerine eşit olması hedeflenirken, Eş. 7 ile bu değer belirlenen alt ve üst değerlerin arasında olması sağlanmaktadır. Eş. 8 ile her takımın ortalama yabancı dil bilgisinin belirli bir değere eşit olması hedeflenmektedir. Eş. 9, Eş. 10 ve Eş. 11 ile her takımında en az bir kişinin sırasıyla bilgisayar programlama becerisine, genel ofis yazılımları bilgisine ve veri tabanı yönetimi bilgisine sahip olması hedeflenmektedir. Eş. 12, Eş. 13 ve Eş. 14 ise genel işaret kısıtlarını ifade etmektedir.

Öğrenci atamaları yapıldıktan sonra oluşturulan takımlara çalışma süresince danışmanlık yapacak öğretim üyelerinin atamaları da benzer şekilde yapılmaktadır. İkinci aşamada ele alınan üç hedef; (i) danışman tercihleri, (ii) bir danışmana atanan toplam takım sayısı ve (iii) bir takıma atanan toplam danışman sayısıdır. Bu aşamada kullanılan hedef programlama modeli söz konusu üç hedeften minimum sapmayı sağlayacak şekilde, danışmanlık yapacak öğretim üyelerinin hangi projeye atandığına karar vermektedir. İkinci hedef programlama modeli aşağıdaki bileşenleri içermektedir.

İndisler:

- i : Danışman indisi, $i = 1, \dots, n_I$
- j : Proje indisi, $j = 1, \dots, n_J$
- k : Tercih indisi, $k = 1, \dots, n_K \leq n_j$

Parametreler:

- p_{ij} : i . danışmanın j . projeyi tercih etme sırası
- K_{ij} : k indeksindeki elemanların i . danışmanın j . projeyi tercih etme sırasını gösteren bir alt kümesi, $K_{ij} = \{k \mid k = p_{ij}\}$
- N_A : bir takıma atanması gereken danışman sayısı
- $N_{A-min}(N_{A-max})$: bir takıma atanması gereken danışman sayısı alt (üst) limiti
- N_T : bir danışmana atanması gereken toplam takım sayısı
- $N_{T-min}(N_{T-max})$: bir danışmana atanması gereken toplam takım sayısı alt (üst) limiti

Değişkenler:

- x_{ijk} : $\begin{cases} 1, & i. \text{ danışman } k. \text{ sırada tercih ettiği } j. \text{ projeye atanıyorsa} \\ 0, & \text{aksi durumda} \end{cases}$
- $d_j^{\mp 1}$: ilgili kritere (1) ait sapma değişkenleri
- $d_i^{\mp 2}, d_i^{\mp 3}$: ilgili kriterlere (2, 3) ait sapma değişkenleri

Amaç fonksiyonu:

$$\min z_2 (d^-, d^+) = w_1 \left(\sum_{j=1}^{n_J} d_j^{-1} + d_j^{+1} \right)$$

$$+ w_2 \left(\sum_{i=1}^{n_I} d_i^{+2} \right) + w_3 \left(\sum_{i=1}^{n_I} d_i^{-3} + d_i^{+3} \right) \quad (15)$$

Kısıtlar:

$$\sum_{k=1}^{n_K} x_{ijk} \leq 1, \forall i, j \quad (16)$$

$$\sum_{i=1}^{n_I} \sum_{k=1}^{n_K} x_{ijk} + d_j^{-1} - d_j^{+1} = N_A, \forall j \quad (17)$$

$$N_{A-min} \leq \sum_{i=1}^{n_I} \sum_{k=1}^{n_K} x_{ijk} \leq N_{A-max}, \forall j \quad (18)$$

$$\sum_{j=1}^{n_J} \sum_{k \in K_{ij}} x_{ijk} + d_i^{-2} - d_i^{+2} = 1, \forall i \quad (19)$$

$$\sum_{j=1}^{n_J} \sum_{k=1}^{n_K} x_{ijk} + d_i^{-3} - d_i^{+3} = N_T, \forall i \quad (20)$$

$$N_{T-min} \leq \sum_{j=1}^{n_J} \sum_{k=1}^{n_K} x_{ijk} \leq N_{T-max}, \forall i \quad (21)$$

$$x_{ijk} \in \{0,1\}, \forall i, j, k \quad (22)$$

$$d_j^{\mp 1} \geq 0, \forall j \quad (23)$$

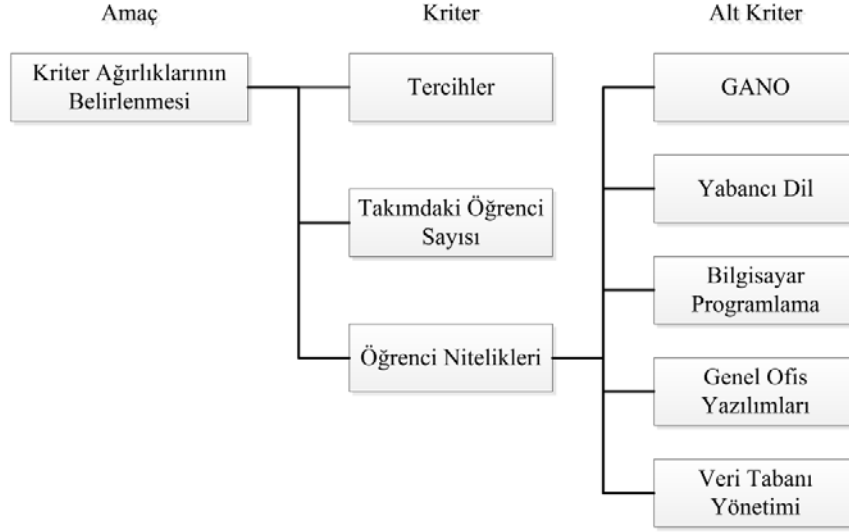
$$d_i^{\mp 2}, d_i^{\mp 3} \geq 0, \forall i \quad (24)$$

Eş. 15 ile ikinci hedef programlama modelinde dikkate alınan kriterlerin, hedef değerlerinden sapmaları minimize edilmektedir. Burada dikkate alınan hedefe bağlı olarak; ilgili sapma değişkenlerinin minimize edilmesi söz konusudur. Eş. 16 bir öğretim üyesine atanan projelerin birbirinden farklı olması sağlanmaktadır. Eş. 17 ile her proje takımına atanan toplam öğretim üyesi sayısının belirli bir değere eşit olması hedeflenirken, Eş. 18 ile bu sayının belirlenen alt ve üst limit değerlerinin arasında olması sağlanmaktadır. Eş. 19 ile her öğretim üyesinin ilk sırada tercih ettiği projeye atanması hedeflenmektedir. Eş. 20 ile her öğretim üyesine atanan toplam proje takımı sayısının belirli bir değere eşit olması hedeflenirken; Eş. 21 ile bu sayının belirlenen alt ve üst limit değerlerinin arasında olması sağlanmaktadır. Eş. 22, Eş. 23 ve Eş. 24 ise genel işaret kısıtlarını ifade etmektedir.

3.2. AHP ve MBDO Matematiksel Programlama Modeli ile Kriter Ağırlıklarının Belirlenmesi (Determination of Criteria Weights via AHP and DBNL Mathematical Programming Model)

Önceki bölümde anlatılan hedef programlama yaklaşımı ile en iyi öğrenci-proje takımı ataması için gerekli kriterlerin en yüksek düzeyde karşılanması amaçlanmaktadır. Bu kapsamda ele alınan farklı kriterlerin ağırlıklarının belirlenmesi hedef programlama modellerinin çözümü için oldukça önemli bir aşamadır. Bu çalışmada söz konusu kriter ağırlıklarının belirlenmesi amacıyla AHP yaklaşımı kullanılmıştır.

Şekil 3'te görüldüğü gibi hedef programlama bazı yaklaşımın birinci (öğrenci atama) aşaması, AHP yönteminin hiyerarşik yapısına uygun üç düzeyden oluşmaktadır. Hiyerarşinin amaç düzeyi, en iyi öğrenci-proje



Şekil 3. Öğrenci-proje takımı atama probleminin öğrenci aşamasının üç düzeyli hiyerarşik yapısı
(3-stage hierarchical structure of student phase of the student-project team formation problem)

takımı atamasını sağlamak için kriter ağırlıklarının belirlenmesidir. Hiyerarşinin ikinci düzeyi olan kriter düzeyinde ise (i) tercihler, (ii) takımdaki öğrenci sayısı ve (iii) öğrenci nitelikleri olmak üzere üç tane kriter ele alınmaktadır. Öğrenci nitelikleri ise kendi arasında (i) GANO, (ii) yabancı dil, (iii) bilgisayar programlama, (iv) genel ofis yazılımları ve (v) veri tabanı yönetimi olmak üzere beş alt kriterle ayrılmaktadır. Kriter ağırlıklarının belirlenmesi amacıyla karar vericilere (öğrencilere) bir anket yöneltilerek AHP skalası ile karar matrislerini oluşturmaları istenmiştir. Karar matrislerinin elde edilmesinin ardından özvektör hesaplanarak kriter ağırlıkları belirlenmiştir. Özvektör hesabı için öncelikle elde edilen karar matrisinin kuvvetleri alınarak her bir satır değeri, ilgili satır toplamına bölünüp normalizasyon yapılarak ağırlık vektörü elde edilmiştir. Bu işlem tekrarlı olarak iterasyonlar arasındaki fark önceden belirlenen bir değerden küçük oluncaya kadar devam etmektedir. Böylelikle her bir kriterin ağırlık değerleri hesaplanmıştır. Alt kriterler de benzer şekilde kendi aralarında karşılaştırılarak bir ağırlık vektörü elde edilmiştir. Elde edilen alt kriterlerin ağırlık değerleri ile hiyerarşik yapıda bağlı oldukları kriterlere ilişkin ağırlık değeri çarpılarak her bir alt kriterin nihai ağırlık değeri hesaplanmıştır. Örneğin; “öğrenci nitelikleri” kriterine bağlı “GANO” alt kriterinin nihai ağırlık değeri, öğrenci niteliklerinin kriter ağırlığı ile GANO alt kriterinin diğer alt kriterler ile karşılaştırılması sonucunda elde edilen ağırlık değeri çarpılarak hesaplanmıştır.

Oluşturulan proje takımlarına danışman atama sürecinde de öğrenci atama sürecine benzer işlemler uygulanmaktadır. Burada öğrenci atama sürecinden farklı olarak daha basit iki düzeyli hiyerarşik bir AHP yapısı bulunmaktadır. Hiyerarşinin amaç düzeyi, en iyi danışman-proje takımı atamasını sağlamak için kriter ağırlıklarının belirlenmesidir. Hiyerarşinin ikinci düzeyi olan kriter düzeyinde ise (i) tercihler, (ii) bir danışmana atanan toplam proje sayısı ve (iii)

bir proje takımına atanan toplam danışman sayısı olmak üzere üç tane kriter ele alınmaktadır. Kriter ağırlıklarının belirlenmesi amacıyla karar vericilere (danışmanlara) anket yöneltilerek AHP skalası ile karar matrislerini oluşturmaları istenmektedir. Karar matrislerinin elde edilmesinin ardından öğrenci atama sürecinde olduğu gibi öz vektör hesabı ile kriter ağırlıkları belirlenmektedir.

AHP uygulamalarının geçerli olması için karar vericinin belirli bir tutarlılık oranına (consistency ratio) sahip olması gerekmektedir. Aksi halde tutarlı olmayan bir karar vericinin kararlarının değerlendirilmesi mümkün olmayacaktır. Tutarlılık, karar vericinin kendi kendisiyle çelişki içinde olmaması, verdiği kararın her koşulda aynı niteliği taşıması olarak tanımlanabilir. Tutarlı bir karar vericinin karşılık olma özelliği gereğince, i . kriter ile j . kriteri karşılaştırması sonucunda vermiş olduğu karar a_{ij} ise j . kriter ile i . kriteri karşılaştırması sonucunda vermiş olduğu kararın $a_{ji} = 1/a_{ij}$ eşitliğini sağlaması gerekmektedir. Örneğin, karar verici “tercih” kriteri ile “takımdaki öğrenci sayısı” kriterini kıyasladığında, tercihin daha önemli olduğunu düşünüp karar matrisinde ilgili alan için 3 değerini verdiyse, takımdaki öğrenci sayısı ile tercih kriterini kıyasladığında 1/3 değerini vermesi beklenmektedir. Tutarlı bir karar vericiden beklenen bir başka özellik ise geçişlilik (transitivity) özelliğidir. Burada karar vericinin i . kriter ile j . kriteri karşılaştırması sonucunda vermiş olduğu karar a_{ij} , ve j . kriter ile k . kriteri karşılaştırması sonucunda vermiş olduğu karar a_{jk} ise i . kriter ile k . kriteri karşılaştırması sonucunda vermiş olduğu a_{ik} kararının Eş. 25’te yer alan eşitliği sağlaması beklenmektedir.

$$a_{ij}a_{jk} = a_{ik} \quad (25)$$

Bahsedilen bu özelliklerin kontrolü ve karar vericinin tutarlılığının ölçülmesi için tutarlılık oranı (CR)

hesaplanmaktadır. Hesaplanan tutarlılık oranı değerinin 0,1 değerinden küçük olması durumunda, karar vericinin tutarlı olduğu sonucuna varılarak karar matrisi değerlendirmeye alınmaktadır. Tutarlılık hesabı için öncelikle karar matrisinin (A) her bir sütun değeri ilgili sütunun toplam değerine bölünerek normalizasyon işlemi uygulanmaktadır. Ardından normalize edilen matrisin satır ortalamalarını içeren W vektörü elde edilmektedir. $A \times W = \lambda_{\max}W$ eşitliğinden en büyük özdeğer (λ_{\max}) elde edilmektedir. Bu değer tutarlılık indeksi (CI) hesaplanmasında kullanılmaktadır. n toplam kriter sayısı, CR tutarlılık oranı ve RI rassal tutarlılık indeksi olmak üzere, ilgili hesaplamalar sırasıyla Eş. 26 ve Eş. 27’de yer almaktadır [53]. RI rassal tutarlılık indeksi ise n değerine bağlı olarak Tablo 2’den elde edilmektedir.

$$CI = \frac{\lambda_{\max} - n}{n - 1} \quad (26)$$

$$CR = \frac{CI}{RI} \quad (27)$$

AHP yaklaşımı ile karar vericilerin kriterlere vermiş oldukları ağırlıklar belirlenmiştir. Daha önce de belirtildiği üzere çalışmada, karar verici sayısı birden fazla olup, farklı karar vericilerin kriterlere vermiş oldukları ağırlıklar da birbirinden farklı ve ayrı bir yapıdadır. Bu kararların tek bir grup kararı olarak belirlenmesi için karar vericiler arasındaki benzerliği en yüksek düzeye ulaştırmak gerekmektedir. Bu bağlamda; farklı fikir yapısına sahip kişilerden alınan kararları yansıtmak amacıyla grup-karar verme yöntemlerine başvurulmuştur. Karar vericiler arasındaki benzerliği en yüksek düzeye ulaştırmak amacıyla, karar vericiler arasındaki farkı (mesafeyi) en aza indiren MBDO matematiksel programlama modeli kullanılarak, tüm grup üyelerinin fikirlerini yansıtan tek bir grup kararı elde edilmiştir.

Bu çalışmada kullanılan çok kriterli grup-karar verme yönteminde, AHP yaklaşımı ile kişisel değerlendirmeler sonucunda her bir karar vericiden elde edilen kriter ağırlıkları, ele alınan MBDO matematiksel programlama modeli kullanılarak tek bir grup kararına dönüştürülmüştür. Burada her bir k karar vericisinin i. kriterine vermiş olduğu ağırlığı gösteren değer z_{ki} olmak üzere, ilgili karar vericinin ağırlığını (w_k) belirlemek amacıyla, k ve l karar vericilerin kriterlere verdikleri ağırlıklar arasındaki fark Eş. 28’de yer alan ifade ile hesaplanmaktadır.

$$d_{kl}^2 = \sum_i (w_k z_{ki} - w_l z_{li})^2, \forall k, l; k \neq l \quad (28)$$

Bu kapsamda kullanılan matematiksel modelin amaç fonksiyonu Eş. 29’da görüldüğü gibi karar vericiler arasındaki toplam farkın (mesafenin) en küçüklemesini sağlamaktadır.

$$\min D = \sum_k \sum_{l \neq k} d_{kl}^2 \quad (29)$$

Modelin kısıtları ise Eş. 30’da görüldüğü gibi karar vericilerin ağırlık değerlerinin normalizasyon koşulunu sağlamasını esas almaktadır. Bir başka deyişle, karar vericilerin toplam ağırlık değerlerinin 1’e eşit olmasını sağlamaktadır. Eş. 31 ise genel işaret kısıtıdır.

$$\sum_k w_k = 1 \quad (30)$$

$$w_k \geq 0, \forall k \quad (31)$$

Bu model sonucunda elde edilen karar vericilerin grup içerisindeki ağırlıkları ile karar vericilerin ilgili kriterlere vermiş oldukları ağırlık değerleri çarpılarak, hedef programlama modellerine girdi oluşturacak hedef ağırlıkları elde edilmiştir. Ardından hedef programlama modelleri çözümlenerek öğrenci-proje takımları oluşturulmuştur.

4. SONUÇLAR VE TARTIŞMALAR (RESULTS AND DISCUSSIONS)

Bu çalışmada öğrenci-proje takımı oluşturma problemi için önerilen çözüm yaklaşımı gerçek bir problem üzerinde uygulanarak, önerilen yaklaşımın performansı analiz edilmiştir. Uludağ Üniversitesi Endüstri Mühendisliği bölümünde lisans-bitirme tezi çalışmaları kapsamında yürütülen, öğrenci-proje takımı oluşturma problemi ele alınmıştır. Bu kapsamda üç farklı yıla ait veri setinden yararlanılmıştır ve Tablo 3’te söz konusu veri setlerine ilişkin bilgiler yer almaktadır.

Problem veri setleri proje bilgileri, öğrenci niteliklerine ilişkin tabloları, öğrenci ve öğretim üyesi tercihlerini içermektedir. Projenin yapılacağı sanayi kuruluşları tarafından proje konuları ilan edildikten sonra öğrencilerden anketler aracılığıyla tercih ettikleri ilk 5 projeyi sıralamaları istenmektedir. Öğrencilerden en çok tercih ettikleri projeyi 1. sırada yazmaları en az tercih ettikleri projeyi ise 5. sırada yazmaları istenmektedir. Geriye kalan ve öğrenci tarafından

Tablo 2. Kriter sayısı-rassal tutarlılık indeksi (Number of criteria – random consistency index)

n	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
RI	0,00	0,00	0,58	0,90	1,12	1,24	1,32	1,44	1,45	1,49

Tablo 3. Problem veri setleri (Problem data sets)

	Veri Seti 1	Veri Seti 2	Veri Seti 3
Öğrenci Sayısı	78	50	70
Danışman Sayısı	11	11	12
Proje Sayısı	23	18	25

hiç tercih edilmeyen tüm projelerin ise 6. sırada tercih edildikleri varsayılmaktadır. Bu sayede her öğrencinin hangi projeyi kaçınıcı sıradan tercih ettiğini gösteren bir öğrenci-proje tercih matrisi oluşturulmaktadır. Öğrenciye sunulan aynı anket formları ile öğrenci niteliklerine (GANO, yabancı dil, bilgisayar programlama, genel ofis yazılımları ve veri tabanı yönetimi bilgisi) ait veriler elde edilmiştir. Benzer şekilde öğretim üyelerinin proje tercihleri anketler aracılığıyla elde edilip, uygun formatta hazırlanarak, hedef programlama için gerekli girdiler oluşturulmuştur.

Elde edilen matrisler ve diğer veriler düzenlendikten sonra, bu bilgiler hedef programlama modellerinin girdisi olarak kullanılmıştır. Hedef programlama modellerinin bir diğer girdisi kriter ağırlıkları olup, önceki bölümde bahsedildiği gibi AHP yöntemi ve MBDO matematiksel programlama modelinin entegrasyonu ile söz konusu bu kriterlerin ağırlıkları elde edilmiştir. 30 öğrenciden anketler yoluyla elde edilen karar matrisleri için öncelikle tutarlılık oranı hesaplanmıştır. 26 öğrencinin tutarlı olduğu gözlenmiş ve bu karar matrisleri değerlendirmeye alınmıştır. Örnek olarak, bir öğrencinin kriter ve alt kriterlere vermiş olduğu ağırlıklar sırasıyla Tablo 4 ve Tablo 5’te verilmiştir. Burada dikkat edilmesi gereken nokta; alt kriterlerin nihai ağırlık değerlerinin, hiyerarşik yapıda bağlı oldukları kriter ağırlığı ile alt kriterlerin kendi aralarında karşılaştırılmaları sonucunda elde edilen ağırlık değerlerin çarpımı sonucunda elde edilmesidir. Örneğin; “öğrenci nitelikleri” (kriter 3) kriterine bağlı “GANO” alt kriterinin (alt kriter 1) nihai ağırlık değeri hesaplanırken, öğrenci niteliklerinin kriter ağırlığı ile GANO alt kriterinin diğer alt kriterler ile karşılaştırılması sonucunda elde edilen ağırlık değeri çarpılmıştır. Bir başka deyişle, kriterlerin karşılaştırılması sonucunda, öğrenci nitelikleri kriteri 0,258 değerini ve GANO alt kriteri 0,513 değerini aldığı; GANO alt kriterinin hedef programlama bazlı yaklaşımın birinci aşamasında kullanılmak üzere elde edilen nihai ağırlık değeri 0,132 olarak hesaplanmıştır. Benzer şekilde her bir öğrenci için kriter ağırlıkları hesaplanmıştır. Söz konusu nihai alt kriter ağırlıklarının hesaplanmasına ilişkin adımlar genel olarak aşağıdaki gibi özetlenebilir.

- Alt kriterlerin (GANO, yabancı dil, bilgisayar programlama, genel ofis yazılımları ve veri tabanı yönetimi) kendi aralarında değerlendirilmesi
- Her alt kriterin ağırlığının AHP yöntemi kullanılarak hesaplanması
- Bir üst seviyedeki ana kriterlerin (tercih, takımdaki öğrenci sayısı ve öğrenci nitelikleri) kendi aralarında değerlendirilmesi
- Her ana kriterin ağırlığının AHP yöntemi kullanılarak hesaplanması
- Her alt kriter ağırlığının bağlı olduğu ana kriter ağırlığı ile çarpımı sonucu nihai alt kriter ağırlığının hesaplanması

Hesaplanan bu kriter ağırlıkları grup kararının belirlenmesi için kullanılan matematiksel modelin girdisi niteliğinde olup, her bir öğrencinin her kriterine vermiş oldukları ağırlıkları (z_{ki}) içeren bir matris elde edilmiştir. 26 öğrencinin kararlarının yansıtıldığı tek bir grup kararının elde edilmesi amacıyla, öğrenciler arasındaki farkı en aza indireyen MBDO matematiksel programlama modeli çözümlenerek her bir karar vericinin (öğrencinin) grup içerisindeki ağırlığı (w_k) elde edilmiştir. AHP ile belirlenen, öğrencilerin kriterlere verdiği ağırlıklar (z_{ki}) ile, MBDO matematiksel programlama modeli sonucunda elde edilen öğrencilerin grup içerisindeki ağırlıklarının (w_k) çarpımı sonucunda elde edilen ve grup kararını yansıtan kriter ağırlıkları Tablo 6’da verilmiştir. Grubun kararını yansıtan kriter ağırlıkları, daha önce de bahsedildiği gibi birinci hedef programlama modelinde hedef ağırlığı olarak ele alınmıştır. Tabloda görüldüğü gibi tercih kriterinin diğer kriterlere göre baskın bir şekilde önemli olduğu söylenebilir. Karar vericilerin (öğrencilerin) bakış açısını yansıtan bu hedef ağırlıkları, söz konusu kriterlere verdikleri önemi yansıttığından, daha etkin proje çalışmalarına ortam hazırladığı düşünülmektedir. Örneğin, burada en yüksek düzeyde dikkate alınmakta olan tercih kriteri ile öğrencilerin daha çok tercih ettikleri projelere atanması sağlanarak, daha başarılı proje çalışmalarının gerçekleştirileceği öngörüldüğü anlaşılmaktadır. Öğrenci nitelikleri açısından değerlendirildiğinde ise öğrencilerin GANO değerlerinin, karar vericiler tarafından en düşük öneme sahip kriterlerden birisi olduğu

Tablo 4. İkili karşılaştırma matrisi – kriterler (Comparison matrice - criteria)

	Kriter 1	Kriter 2	Kriter 3	Kriter Ağırlıkları
Kriter 1	1	5	3	0,637
Kriter 2	1/5	1	1/3	0,105
Kriter 3	1/3	3	1	0,258

Tablo 5. İkili karşılaştırma matrisi – alt kriterler (Comparison matrice – sub criteria)

	Alt Kriter 1	Alt Kriter 2	Alt Kriter 3	Alt Kriter 4	Alt Kriter 5	Alt Kriter Ağırlıkları	Nihai Alt Kriter Ağırlıkları
Alt Kriter 1	1	7	3	5	9	0,513	0,132
Alt Kriter 2	1/7	1	1/5	1/3	3	0,063	0,016
Alt Kriter 3	1/3	5	1	3	7	0,261	0,068
Alt Kriter 4	1/5	3	1/3	1	5	0,129	0,033
Alt Kriter 5	1/9	1/3	1/7	1/5	1	0,033	0,009

gözenmiştir. Bu durum, karar vericilerin (öğrencilerin) başarılı proje takımlarının oluşturulmasında GANO değerinin diğer kriterlerle kıyaslandığında, daha az etkili olduğu yargısına vardıklarını göstermektedir.

Tablo 6. Hedef ağırlıkları – öğrenci atamaları
(Goal weights - student assignments)

Hedef	Hedef Ağırlığı
Tercih	0,568
Takımdaki öğrenci sayısı	0,095
GANO	0,051
Yabancı dil	0,089
Bilgisayar programlama	0,098
Genel ofis yazılımları	0,077
Veri tabanı yönetimi	0,023

Uygulama aşamasında kullanılan üç farklı yıla ait veri seti için geliştirilen iki-aşamalı hedef programlama modeli çözümlenerek; elde edilen sonuçlar, uzman kişi tarafından yapılan atamaların sonucu ile çeşitli performans parametreleri açısından karşılaştırılmıştır. Performans değerlendirmesi yapılırken izlenen yaklaşım, her veri seti için uzman kişi ataması ve önerilen yaklaşım sonuçlarının ikili karşılaştırılması şeklindedir. Her bir veri seti için dikkate alınan öğrenci ve öğretim üyesi sayıları, öğrenci profili ve nitelikleri (GANO, yabancı dil bilgisi vs.) değiştiğinden, performans sonuçlarının veri seti bazında değişiklik göstermesinin beklenen bir durum olduğu dikkate alınmalıdır. Karşılaştırma sonuçları Tablo 7’de gösterilmiştir. Hedef programlama modelinin ilk (öğrenci atama) aşamasına ait performans sonuçları aşağıdaki gibi özetlenebilir:

Öğrenci tercihlerinin hangi düzeyde karşılandığını göstermek amacıyla her bir öğrencinin atandığı projeyi tercih sırası dikkate alınarak tüm öğrenciler için ağırlıklı ortalama değeri hesaplanmıştır. Burada tabloda elde edilen değerler küçük değer olması daha iyi bir sonuç alındığını göstermektedir. Tabloda görüldüğü gibi tüm veri setleri için, tercih kriteri açısından önerilen yaklaşım uzman kişi tarafından yapılan atamalara göre daha iyi sonuç vermektedir. Bir diğer ifadeyle, öğrencilerin kaçınıcı sırada tercih ettikleri projeye atandıkları değerlendirildiğinde, önerilen yaklaşım sonucunda ortalama tercih değerlerinin 1 değerine daha yakın olduğu (öğrencilerin ilk sırada tercih ettikleri projeye daha yüksek oranda atandıkları)

görülmektedir. Yukarıda da belirtildiği gibi tercih kriterinin diğer kriterlere göre baskın bir şekilde önemli olması nedeniyle, hedef programlama modelinin tercih kriterini en yüksek düzeyde karşılaması beklenen bir sonuçtur.

Takımdaki öğrenci sayısı kriteri için tabloda parantez içinde gösterilen değerler kaç adet grubun hedeflenen değerde öğrenci sayısına sahip olduğunu göstermektedir. Parantezin sol tarafındaki değerler belirlenen alt limit değerindeki öğrenci sayısına sahip grup adedini gösterirken; parantezin sağ tarafındaki değerler ise belirlenen üst limit değerindeki öğrenci sayısına sahip grup adedini göstermektedir. Dolayısıyla parantez içindeki değerler daha büyük sayıda, parantez dışındaki değerlerin ise daha küçük sayıda olması beklenmektedir. Tabloda görüldüğü gibi, bir veri seti için önerilen yaklaşımla elde edilen değerler uzman kişi tarafından yapılan atamadan daha iyi sonuç verirken, diğer veri setlerinde uzman kişi tarafından yapılan atama daha iyi sonuç vermektedir. Bu durumun nedeni hedef programlama modelinde ilgili hedef ağırlığının söz konusu kriter için oldukça düşük olması (0,095) ve hedef programlama modelinde ilgili kritere karşılık gelen hedefin daha az öncelikli olarak ele alınması ile açıklanabilir. Bir diğer ifadeyle, grup kararından elde edilen hedef ağırlıkları ile uzman kişinin önem sıralaması farklı olduğundan, söz konusu olumsuz durum meydana gelmektedir. Bu durum önerilen yaklaşımın başarısızlığı ile ilgili olmayıp, kriter ağırlıklarının belirlenmesi sürecinde farklı bakış açılarının ve sıralamalarının kullanılmasından kaynaklanmaktadır.

Öğrenci niteliklerini gösteren diğer beş kriter (GANO, yabancı dil, bilgisayar programlama, genel ofis yazılımları ve veri tabanı yönetimi bilgisi) için performans parametreleri yüzdelik olarak hesaplanmıştır ve buradaki yüksek bir yüzdelik değer daha üstün performans ifade etmektedir. Bir diğer ifadeyle, söz konusu hedef değerlerin tüm takımların yüzde kaçını tarafından sağlandığı hesaplanmaktadır. Önerilen yaklaşımın, bu beş kriter açısından çoğu durumda uzman kişi tarafından yapılan atama sonuçlarına göre daha iyi sonuç verdiği, birkaç durumda ise eşit performansa sahip olduğu görülmektedir. Örneğin, her proje takımında en az bir öğrencinin bilgisayar programlama bilgisine sahip olması hedeflenmektedir. Veri seti 1 için uzman kişi tarafından yapılan atama sonucunda takımların %87’si bu özelliğe sahipken, önerilen yaklaşımla elde edilen sonuçta takımların %91’i bu hedefi sağlamaktadır.

Tablo 7. Sonuçlar – öğrenci atamaları (Results - student assignments)

Hedef	Veri Seti 1		Veri Seti 2		Veri Seti 3	
	UK	ÖY	UK	ÖY	UK	ÖY
Tercih	2,58	1,64	2,18	1,32	2,44	1,67
Takımdaki öğrenci sayısı	2-(10)-11	4-(6)-13	5-(12)-1	4-(14)-0	6-(18)-1	10-(10)-5
GANO	%95	%96	%95	%96	%94	%96
Yabancı dil	%100	%100	%100	%100	%100	%100
Bilgisayar programlama	%87	%91	%61	%67	%68	%80
Genel ofis yazılımları	%100	%100	%89	%100	%100	%100
Veri tabanı yönetimi	%57	%65	%28	%33	%36	%40

UK: Uzman kişi tarafından yapılan atama, ÖY: Önerilen yaklaşım ile yapılan atama

Hedef programlama bazlı yaklaşımın ikinci (danışman atama) aşaması için hedef ağırlıklarının belirlenmesi amacıyla ilk aşamada olduğu gibi karar vericiler (öğretim üyeleri) ile anket çalışması yapılarak her bir öğretim üyesinin kriterlere verdikleri ağırlıklar (z_{ki}) AHP yaklaşımı ile belirlenmiştir. Bu amaçla, öncelikle uygulamanın yapıldığı akademik birimdeki süreç hakkında bilgi sahibi olan beş öğretim üyesinden anketler yoluyla elde edilen karar matrisleri için tutarlılık oranları hesaplanmıştır. Anket çalışmasına katılan bütün öğretim üyelerinin tutarlı olduğu gözlenmiş ve bu karar matrisleri değerlendirmeye alınarak, her bir öğretim üyesinin kriterlere verdikleri ağırlıklar hesaplanmıştır. Bu aşamada dikkate alınan kriterler (i) danışman öğretim üyesi tercihleri, (ii) bir danışmana atanan toplam takım sayısı ve (iii) bir takıma atanan toplam danışman sayısıdır. Burada ilk aşamadan farklı olarak iki düzeyli basit bir hiyerarşik AHP yapısı vardır. AHP ile her bir karar vericinin kriterlere vermiş oldukları ağırlıklar belirlendikten sonra, öğrenci atama aşamasında olduğu gibi, her bir öğretim üyesinden anket sonucunda elde edilen kriter ağırlıkları dikkate alınarak, MBDO matematiksel programlama modeli çözülerek her bir karar vericinin (öğretim üyesinin) grup içerisindeki ağırlığı (w_k) elde edilmiştir. AHP ile belirlenen, öğretim üyelerinin kriterlere verdiği ağırlıklar (z_{ki}) ile, MBDO matematiksel programlama modeli sonucunda elde edilen öğretim üyelerinin grup içerisindeki ağırlıklarının (w_k) çarpımı sonucunda elde edilen ve grup kararını yansıtan kriter ağırlıkları Tablo 8’de verilmiştir.

Tablo 8. Hedef ağırlıkları – danışman atamaları
(Goal weights - advisor assignments)

Hedef	Hedef Ağırlığı
Tercih	0,550
Danışmana atanan takım sayısı	0,194
Takıma atanan danışman sayısı	0,255

Grubun kararını yansıtan kriter ağırlıkları, daha önce de bahsedildiği gibi ikinci hedef programlama modelinde hedef ağırlığı olarak ele alınmıştır. Tabloda görüldüğü gibi tercih kriterinin öğrenci aşamasında olduğu kadar baskın olmamakla birlikte, diğer kriterlere göre daha önemli olduğu görülmektedir. Hedef ağırlıklarının belirlenmesinin ardından hedef programlama modeli çözülerek elde edilen sonuçlar uzman kişi tarafından yapılan atama sonuçları ile Tablo 9’da görüldüğü gibi çeşitli performans parametreleri açısından karşılaştırılmıştır. Hedef programlama bazlı yaklaşımın

ikinci (danışman atama) aşamasına ait performans sonuçları aşağıdaki gibi özetlenebilir:

Danışman tercihlerinin hangi düzeyde karşılandığını göstermek amacıyla her bir danışmanın atandığı projeyi tercih sırası dikkate alınarak bütün öğretim üyeleri için tercih kriterinin ağırlıklı ortalama değeri hesaplanmıştır. Burada tabloda elde edilen değer küçük değer olması (1 değerine yakınsaması) daha iyi bir sonuç alındığını göstermektedir. Tabloda görüldüğü gibi tercih kriterinde, tüm veri setleri için önerilen yaklaşım uzman kişi tarafından yapılan atamadan daha iyi sonuç vermektedir. Yukarıda da belirtildiği gibi tercih kriterinin diğer kriterlere göre daha önemli olması nedeniyle, hedef programlama modelinin tercih kriterini en yüksek düzeyde karşılaması beklenen bir sonuçtur.

Bir danışmana atanan toplam takım sayısı kriteri için tabloda parantez içinde gösterilen değerler kaç tane danışmanın hedeflenen değerde takım sayısına sahip olduğunu göstermektedir. Parantezin sol tarafındaki değerler belirlenen alt limit değerindeki takım sayısına sahip danışman adedini gösterirken; parantezin sağ tarafındaki değerler ise belirlenen üst limit değerindeki takım sayısına sahip danışman adedini göstermektedir. Dolayısıyla parantez içindeki değerler daha büyük sayıda parantez dışındaki değerlerin ise daha küçük sayıda olması beklenmektedir. Tabloda görüldüğü gibi, bir veri seti için önerilen yaklaşımla elde edilen değer, uzman kişi tarafından yapılan atamadan daha iyi sonuç verirken, diğer veri setlerinde uzman kişi tarafından yapılan atama sonucu daha üstündür. Bu durumun nedeni ilgili hedef ağırlığının söz konusu kriter için oldukça düşük (0,194) olması ve hedef programlama modelinde ilgili kriterlere karşılık gelen hedefin daha az öncelikli olarak ele alınması ile açıklanabilir. Bir diğer ifadeyle, grup kararından elde edilen söz konusu hedefin ağırlığı ile uzman kişinin önem sıralaması farklı olduğundan nispeten olumsuz bir durum meydana gelmektedir. Bu durum önerilen yaklaşımın başarısızlığı ile ilgili olmayıp, kriter ağırlıklarının belirlenmesi sürecinde farklı bakış açılarının ve sıralamalarının kullanılmasından kaynaklanmaktadır.

Bir takıma atanan toplam danışman sayısını ifade eden kriter için tabloda parantez içinde gösterilen değerler kaç tane takımın hedeflenen değerde danışman sayısına sahip olduğunu göstermektedir. Parantezin sol tarafındaki değerler belirlenen alt limit değerindeki danışman sayısına sahip takım adedini gösterirken, parantezin sağ tarafındaki değerler ise belirlenen üst limit değerindeki danışman sayısına sahip takım adedini göstermektedir. Dolayısıyla parantez içindeki değerler daha büyük sayıda, parantez

Tablo 9. Sonuçlar – danışman atamaları (Results – advisor assignments)

Hedef	Veri Seti 1		Veri Seti 2		Veri Seti 3	
	UK	ÖY	UK	ÖY	UK	ÖY
Tercih	3,78	2,11	1,33	1,12	3,74	2,28
Danışmana atanan takım sayısı	0-(9)-2	7-(4)-0	0-(8)-3	0-(11)-0	1-(8)-3	8-(4)-0
Takıma atanan danışman sayısı	-	9-(14)-0	-	3-(15)-0	-	10-(15)-0

UK: Uzman kişi tarafından yapılan atama, ÖY: Önerilen yaklaşım ile yapılan atama

dışındaki değerlerin ise daha küçük sayıda olması beklenmektedir. Gerçek hayat uygulamasında bu kriter dikkate alınmamakla birlikte her projeye belirli bir değerle danışman atanarak alt ve üst değerlere izin verilen esnek bir yapı sağlanmamaktadır. Bu nedenle söz konusu kriter için karşılaştırma yapılması uygun değildir.

Hedef programlama bazlı yaklaşımın ikinci aşamasında, üç kriterin sağlanmasını amaçlayan daha karmaşık bir yapı varken, gerçek hayatta yalnızca iki kriteri dikkate alan bir yapı mevcuttur. İkinci kriter olan bir danışmana atanan toplam takım sayısı kriterinde gerçek hayat uygulamasının daha iyi sonuçlara sahip olmasının nedeni, bu basit yapıdan ve uzman kişinin bu kriterde yüksek düzeyde önem vermesinden kaynaklanmaktadır. Bununla birlikte, bu durum, karar vericilere yapılan anketler sonucunda, bu kriter ağırlığının daha düşük önem derecesine sahip olması ve hedef programlama modelinde daha az öncelikli olarak ele alınmasıyla açıklanabilir.

5. SONUÇLAR (CONCLUSIONS)

Bu çalışmada, öğrenci-proje takımı oluşturma problemi için AHP ve hedef programlama temelli bir çözüm yaklaşımı geliştirilmiştir. Problem, yapısı itibarıyla iki aşamadan oluşmaktadır. Bu nedenle problemin çözümü için yazarlar tarafından başka bir çalışma kapsamında geliştirilmiş olan iki-aşamalı bir hedef programlama modeli kullanılmıştır. Hedef programlama modelinin ilk aşamasında, öğrencilerin tercihleri ve nitelikleri dikkate alınarak proje kriterleri doğrultusunda, proje takımlarının oluşturulması sağlanırken; ikinci aşamasında ise oluşturulan takımlara akademik danışmanlık yapacak öğretim üyeleri atanmıştır. Dikkate alınan proje kriterlerinin her biri iki-aşamalı hedef programlama bazlı yaklaşımda bir hedefe karşılık gelmektedir. Bu kapsamda, öğrenciler ve öğretim üyeleriyle anket çalışması yapılarak, AHP yaklaşımı ile proje kriter ağırlıkları belirlenmiştir. Ardından, farklı karar yapısına sahip karar vericilerden (öğrencilerden ve öğretim üyelerinden) gelen kriter ağırlıklarını tek bir grup kararı olarak yansıtmak amacıyla MBDO matematiksel programlama modeli kullanılmıştır. Bu model ile karar vericiler arasındaki değişkenlik (mesafe) enküçüklenerek tüm grup üyelerinin farklı fikirleri tek bir yapıda birleştirilmiş ve farklı kişilerin fikirlerinin yansıtıldığı kriter ağırlıkları elde edilmiştir. Belirlenen kriter ağırlıkları, hedef programlama modellerindeki hedeflerin ağırlıkları olarak ele alınmış ve hedef programlama modelleri çözülmüştür. Özetle, bu çalışmada öğrenci-proje takımı oluşturma problemi için literatürde ve gerçek hayat uygulamalarında ele alınan birçok kriterin dikkate alındığı, ve problemin çözümü için hedef programlama yaklaşımı ile çok kriterli karar verme ve grup-karar verme yöntemlerinin bütünlük bir yapıda sunulduğu özgün bir metodoloji önerilmektedir.

Önerilen bu yaklaşımın geçerliliğini sınamak amacıyla, Bursa Uludağ Üniversitesi Endüstri Mühendisliği bölümünde yürütülen lisans-bitirme tezi çalışmaları kapsamında yürütülen, öğrenci-proje takımı oluşturma

problemine uygulanmıştır. Elde edilen sonuçlar üç farklı yıla ait veri seti kullanılarak mevcut durumda uzman kişi tarafından yapılan atama sonuçları ile çeşitli performans parametreleri açısından karşılaştırılmıştır. Yapılan karşılaştırma sonuçlarına göre önerilen yaklaşımın proje kriterlerinin sağlanması açısından uzman kişi tarafından yapılan atamaya kıyasla üstün bir performansla sahip olduğu görülmüştür. Bu kapsamda, her bir proje kriterine ait hedef değerlerin sağlanmasına ilişkin karşılanma düzeyleri sayısal olarak hesaplanmış ve birkaç kriter dışında kalan diğer tüm kriterlerde önerilen yaklaşımın üstün bir performansla sahip olduğu gözlenmiştir. Önerilen yaklaşımla elde edilen nispeten olumsuz sonuçların (örneğin, takımdaki öğrenci sayısı kriteri) direkt olarak önerilen yaklaşımın başarısızlığı ile ilgili olmayıp, kriter ağırlıklarının belirlenmesi sürecinde farklı bakış açılarının ve sıralamalarının kullanılmasından kaynaklandığı söylenebilir. Bunun yanı sıra, atamaların gerçekleştirilme süreleri karşılaştırıldığında, uzman kişi tarafından yapılan ve uzun süreler gerektiren gerçek-hayat atama çalışmalarına karşın; önerilen yaklaşım kullanılarak, *bir kereye mahsus olan* anket çalışmalarının da dikkate alınması durumunda, birkaç saatlik zaman diliminde atamalar gerçekleştirilebilmektedir. Bununla birlikte, bahsi geçen anket çalışması bir defaya mahsus olmak üzere, farklı karar vericilerin bakış açılarını yansıtabilmek amacıyla gerçekleştirilmektedir. Dolayısıyla farklı problem veri setleri için oldukça makul sürelerde (yalnızca birkaç dakika içerisinde) öğrenci-proje takımı atamaları gerçekleştirilmektedir. Anket süresi dışında kalan bu kısa çözüm süresinin, gerçek hayatta uzman kişi tarafından harcanan uzun süreler dikkate alındığında, kullanılan insan kaynağı açısından da önemli katkısı olduğu düşünülmektedir.

Bu çalışmada ele alınan iki-aşamalı atama yapısı bir örnek uygulama olarak özel bir problem için önerilse de kolaylıkla diğer proje takımı atama problemlerine uyarlanabilir. Önerilen çözüm yaklaşımının gerçek hayattaki farklı ve daha büyük boyutlu bir problem üzerinde uygulanması ise gelecek çalışmalarda ele alınabilir. Gelecek çalışmalarda, öğrenciler ve öğretim üyeleri arasındaki sosyal ilişkilerin (örneğin, bireyler arası uyumun) yeni bir kriter olarak dikkate alındığı daha kapsamlı bir atama modeli geliştirilebilir. Buna ilave olarak, yapılacak olan çalışmalarda danışmanların uzmanlık alanları göz önünde bulundurularak projelere atanmaları dikkate alınabilir. Hali hazırda danışmanlar uzmanlık alanlarına göre tercihte bulunsalar da olası uygunsuz durumları engellemek amacıyla böyle bir yapının ele alınması ile daha detaylı bir atama yapısı oluşturulabilir. Benzer şekilde öğrencilerin de niteliklerinin belirlenmesinde, öğrencilerin geçmiş eğitim hayatında yönlendikleri alanlar belirlenip buna göre bir atama yapılması sağlanabilir. Bu çalışmada ele alınan öğrenci niteliklerinin yanında, özellikle aldıkları seçmeli dersler ilgi duydukları çalışma alanları konusunda fikir verebilir. Buna ilave olarak, takım içi çeşitliliği sağlamak ve takım üyeleri arasındaki iş yükünü dengelemek amacıyla, ele alınan hedef programlama bazlı yaklaşım genişletilerek yeni bir uygulama olarak sunulabilir.

TEŞEKKÜR (ACKNOWLEDGMENT)

Çalışma kapsamında katkılarından dolayı başta Prof. Dr. Erdal Emel olmak üzere, Bursa Uludağ Üniversitesi Endüstri Mühendisliği Bölümü öğretim üyeleri ve öğrencilerine teşekkürlerimizi sunarız.

KAYNAKLAR (REFERENCES)

1. Blowers P., Using student skill self-assessments to get balanced groups for group projects, *College Teaching*, 51 (3), 106-110, 2003.
2. Smith K.A., The craft of teaching cooperative learning: An active learning strategy, *Proceedings of the Conference Frontiers in Education*, Binghamton-NY-USA, 188-193, 15-17 October, 1989.
3. Thomas M., Hughes, S.G., Hart, P. M., Schollar, J., Keirle, K., Griffith, G. W., Group project work in biotechnology and its impact on key skills, *Journal of Biological Education*, 35 (3), 133-140, 2001.
4. Bacon D.R., Stewart K.A., Anderson E.S., Methods of assigning players to teams: A review and novel approach, *Simulation & Gaming*, 32 (1), 6-17, 2001.
5. Oakley B., Felder R. M., Brent R., Elhadj I., Turning student groups into effective teams, *Journal of student centered learning*, 2 (1), 9-34, 2004.
6. Cavdur F., Sebatli A., Kose-Kucuk M., Rodoplu C., A two-phase binary-goal programming-based approach for optimal project-team formation, *Journal of the Operational Research Society*, (In Press), 2018.
7. Wesner J.W., Amon C.H., Bigrigg M.W., Subrahmanian E., Westerberg A.W., Filipski K., Student team formation and assignment in a multi-disciplinary engineering design projects course: a pair of suggested best practices, *Int. J. Eng. Educ.*, 23 (3), 517-526, 2007.
8. Delson N.J., Increasing team motivation in engineering design courses, *Int. J. Eng. Educ.*, 17 (4/5), 359-366, 2001.
9. Sarac T., Ozcelik F., A mathematical model for course project team formation problem, *Journal of Industrial Engineering (Turkish Chamber of Mechanical Engineers)*, 24, 2013.
10. Borges J., Dias T.G., Cunha J.F.E., A new group-formation method for student projects, *Eur. J. Eng. Educ.*, 34 (6), 573-585, 2009.
11. Proll L.G., A simple method of assigning projects to students, *Journal of the Operational Research Society*, 23 (2), 195-20, 1972.
12. Fitzpatrick E., Askin R., Goldberg J., Using student conative behaviors and technical skills to form effective project teams, *31st Annual Frontiers in Education Conference*, Reno-NV-USA, 8-13, 10-13 October, 2001.
13. Abraham D.J., Irving R.W., Manlove D.F., Two algorithms for the student-project allocation problem, *J. Discrete Algorithms*, 5 (1), 73-90, 2007.
14. Dye J., A constraint logic programming approach to the stable marriage problem and its application to student-project allocation, *Bsc Honours project report*, University of York, Department of Computer Science, 2001.
15. Manlove D.F., O'Malley G., Student-project allocation with preferences over projects, *J. Discrete Algorithms*, 6 (4), 553-560, 2008.
16. Iwama K., Miyazaki S., Yanagisawa H., Improved approximation bounds for the student-project allocation problem with preferences over projects, *J. Discrete Algorithms*, 13, 59-66, 2012.
17. Bahargam S., Golshan B., Lappas T., Terzi E., A team-formation algorithm for faultline minimization, *Expert Syst. Appl.*, 119, 441-455, 2019.
18. Agrawal R., Golshan B., Terzi E., Forming beneficial teams of students in massive online classes. In *Proceedings of the first ACM conference on Learning scale conference*, 155-156, March, 2014.
19. Agrawal, R., Golshan, B., & Terzi, E., Grouping students in educational settings. In *Proceedings of the 20th ACM SIGKDD international conference on Knowledge discovery and data mining*, 1017-1026, August, 2014.
20. Bahargam S., Erdos D., Bestavros A., Terzi, E., Personalized Education; Solving a Group Formation and Scheduling Problem for Educational Content, *International Educational Data Mining Society*, 2015.
21. Aksakal E., Dagdeviren M., Talent management based personnel assignment model and solution proposal, *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, 30 (2), 249-262, 2015.
22. Wong T.C., Xu M., Chin K.S., A two-stage heuristic approach for nurse scheduling problem: A case study in an emergency department, *Computers & Operations Research*, 51, 99-110, 2014.
23. Tapkan P., Özbakır L., Kulluk S., Telcioğlu B., Modelling and solving railway crew rostering problem, *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, 33 (3), 953-965, 2018.
24. Meskens N., Duvivier D., Hanset A., Multi-objective operating room scheduling considering desiderata of the surgical team, *Decision Support Systems*, 55 (2), 650-659, 2013.
25. Aringhieri R., Landa P., Soriano P., Tanfani E., Testi, A., A two level metaheuristic for the operating room scheduling and assignment problem, *Computers & Operations Research*, 54, 21-34, 2015.
26. Sandh, R., Klabjan D., Integrated airline fleetling and crew-pairing decisions, *Oper. Res.*, 55 (3), 439-456, 2007.
27. Gutierrez J. H., Astudillo C.A., Ballesteros-Perez P., Mora-Melia D., Candia-Vejar A. The multiple team formation problem using sociometry, *Computers & Operations Research*, 75, 150-162, 2016.
28. Hubscher R., Assigning students to groups using general and context-specific criteria, *IEEE Trans. Learn. Technol.*, 3 (3), 178-189, 2010.
29. Saaty T.L., *The analytic hierarchy process*, McGraw Hill, New York, USA, 1980.
30. Triantaphyllou E., Multi-criteria decision making methods, *Multi-criteria Decision Making Methods: A*

- Comparative Study, Springer, Boston-MA-USA, 5-21, 2000.
31. Opricovic S., Tzeng G.H., Compromise solution by MCDM methods: A comparative analysis of VIKOR and TOPSIS, *Eur. J. Oper. Res.*, 156 (2), 445-455, 2004.
 32. Brans J.P., Vincke P., Note—A preference ranking organisation method: The PROMETHEE method for multiple criteria decision-making, *Manage. Sci.*, 31 (6), 647-656, 1985.
 33. Charnes A., Cooper W.W., Management models and industrial applications of linear programming, *Manage. Sci.*, 4 (1), 38-91, 1957.
 34. Aouni B., Kettani O., Goal programming model: A glorious history and a promising future, *Eur. J. Oper. Res.*, 133 (2), 225-231, 2001.
 35. Ignizio J.P., A review of goal programming: A tool for multiobjective analysis, *Journal of the Operational Research Society*, 29 (11), 1109-1119, 1978.
 36. Tamiz M., Jones D., Romero C., Goal programming for decision making: An overview of the current state-of-the-art, *Eur. J. Oper. Res.*, 111 (3), 569-581, 1998.
 37. Baykasoglu A., Dereli T., Das S., Project team selection using fuzzy optimization approach, *Cybernetics and Systems: An International Journal*, 38 (2), 155-185, 2007.
 38. Badri M.A., Davis D., Davis D., A comprehensive 0–1 goal programming model for project selection, *Int. J. Project Manage.*, 19 (4), 243-252, 2001.
 39. Pomerol J.C., Barba-Romero S., *Multicriterion decision in management: principles and practice*, 25, Springer Science & Business Media, New York, USA, 2012.
 40. Karaman B., Cercioğlu H., 0-1 goal programming aided AHP-VIKOR integrated method: an application of hospital investment project selection, *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, 30 (4), 567-576, 2015.
 41. Büyüközkan G., Güteryüz S., Multi criteria evaluation of logistics firms' web site performance, *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, 31 (4), 2016.
 42. Üstün A.K., Anagün A.S., Determination of importance weights of İstanbul's districts using analytic hierarchy process, *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, 31 (1), 119-128, 2016.
 43. Yüksel M., An integrated approach for evaluating performance by multi-criteria, *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, 30 (3), 429-441, 2015.
 44. Saaty T.L., How to make a decision: The analytic hierarchy process, *Eur. J. Oper. Res.*, 48 (1), 9-26, 1990.
 45. Saaty T.L., Kearns K.P., *Analytical planning: The organization of system*, 7, Rodin, E.Y., Pergamon, Oxford, 2014.
 46. Büyüközkan G., Güteryüz S., A new GDM based AHP framework with linguistic interval fuzzy preference relations for renewable energy planning, *J. Intell. Fuzzy Syst.*, 27 (6), 3181-3195, 2014.
 47. Kou G., Peng Y., Chen Z., Shi Y., Multiple criteria mathematical programming for multi-class classification and application in network intrusion detection, *Information Sciences*, 179 (4), 371-381, 2009.
 48. Koksalan M., Tuncer C., A DEA-based approach to ranking multi-criteria alternatives, *International Journal of Information Technology & Decision Making*, 8 (01), 29-54, 2009.
 49. Yu L., Lai K.K., A distance-based group decision-making methodology for multi-person multi-criteria emergency decision support, *Decision Support Systems*, 51 (2), 307-315, 2011.
 50. Alfares H.K., Duffuaa S.O., Determining aggregate criteria weights from criteria rankings by a group of decision makers, *International Journal of Information Technology & Decision Making*, 7 (04), 769-781, 2008.
 51. Delgado M., Herrera F., Herrera-Viedma E., Martinez L., Combining numerical and linguistic information in group decision making, *Information Sciences*, 107 (1-4), 177-194, 1998.
 52. Escobar M.T., Moreno-jimenez J.M., Aggregation of individual preference structures in AHP-group decision making, *Group Decision and Negotiation*, 16 (4), 287-301, 2007.
 53. Saaty T.L., Decision-making with the AHP: Why is the principal eigenvector necessary, *Eur. J. Oper. Res.*, 145 (1), 85-91, 2003.

