

ÖĞRENCİ-PROJE ATAMA PROBLEMİNDE FARKLI GRUP KARARLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ

Gülveren TABANSIZ^{1*}, Aslı SEBATLI SAĞLAM², Fatih ÇAVDUR³

¹ Bursa Uludağ Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, Bursa,

ORCID No : <https://orcid.org/0000-0003-4204-1364>

² Mudanya Üniversitesi, Mühendislik, Mimarlık ve Tasarım Fakültesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, Bursa,

ORCID No : <https://orcid.org/0000-0002-9445-6740>

³ Bursa Uludağ Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, Bursa,

ORCID No : <https://orcid.org/0000-0001-8054-5606>

Anahtar Kelimeler	Öz
<p>Öğrenci-Proje Atama (ÖPA) Grup Kararı Matematiksel Programlama Tamsayılı Programlama Hedef Programlama</p>	<p>Öğrenci-Proje Atama (ÖPA), genel olarak, çeşitli kriterlerin dikkate alınmasıyla öğrenci-proje gruplarının oluşturmasını ve bu gruplara projelerin atanmasını içeren çok-kriterli bir problem olarak tanımlanabilir. Bu çalışmada, problemin çözümü için üç aşamadan oluşan bir yaklaşım önerilmektedir. Yakın tarihli başka bir çalışmada geliştirilmiş olan bir 0-1 tamsayılı-hedef programlama formülasyonundan adapte edilmiş olan matematiksel programlama modeliyle, çalışmanın ilk aşamasında çeşitli kriterler dikkate alınarak öğrenci-proje gruplarının oluşturulması gerçekleştirilmektedir. Söz konusu kriterler ise (i) bir gruptaki öğrenci sayısı, (ii) genel akademik not ortalaması (GANO) değeri, (iii) yabancı dil, (iv) bilgisayar programlama, (v) genel ofis yazılımları ve (vi) veri tabanı yönetimi yetenekleridir. Sonraki aşamada, grup-proje eşleştirmeleri gerçekleştirilmeden önce, oluşturulan grupların proje tercihleri için grup üyelerinin farklı bakış açılarını yansıtan grup kararları belirlenmektedir. Son olarak, öğrenci-proje gruplarının proje tercihlerine yönelik olarak oluşturulan grup kararları kullanılarak bir 0-1 tamsayılı program ile grup-proje atamaları gerçekleştirilmektedir. Çalışmanın literatüre olan katkısı, önerilen üç aşamalı yaklaşımla, grup kararlarının dikkate alınarak ÖPA probleminin çözülmesi şeklinde özetlenebilir. Böylelikle, farklı bakış açılarına sahip çok sayıdaki öğrencinin tercihleri, ÖPA sürecinde önemli bir kriter olan tercih kriteri için yansız ve tek bir grup kararı olarak ele alınabilmektedir. Önerilen yaklaşım, akademik bir kurumdaki gerçek bir ÖPA problemine uygulanmıştır. Elde edilen sonuçlar, ilgili literatürde bulunan diğer atama yaklaşımlarının sonuçları ile çeşitli performans parametreleri açısından karşılaştırılmıştır ve kriterlerin performans skorlarında ortalama %9 oranında iyileşme olduğu gözlemlenmiştir.</p>

EVALUATION OF DIFFERENT GROUP DECISIONS FOR THE STUDENT-PROJECT ALLOCATION PROBLEM

Keywords	Abstract
<p>Student-Project Allocation (SPA) Group Decision Mathematical Programming Integer Programming Goal Programming</p>	<p>In general, Student-Project Allocation (SPA) might be defined as a multi-criteria problem of formation of student-project groups and allocation of projects to these groups by considering different criteria. In this study, an approach including three phases is proposed for the solution of the problem. In the first phase, student-project groups are formed using a mathematical programming model adapted from a 0-1 integer-goal programming formulation in the literature. These criteria are (i) the number of students in a group, (ii) grade points average (GPA) value, (iii) language, (iv) computer programming, (v) general office software and (vi) database management skills. In the next phase, before performing group-project matchings, group decisions of the formed-groups for their project preferences are determined representing different point of views the group members. Finally, group-project allocations are performed via a 0-1 integer program using the corresponding group decisions. The contribution of the study may be summarized as solving the problem using the proposed three-phase approach by taking into account group decisions. Thus, the preferences of many students with different perspectives can be considered as an unbiased and single group decision for the preference criterion, which is an important criterion in the SPA process.</p>



Bu eser, Creative Commons Attribution License (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>) hükümlerine göre açık erişimli bir makaledir.

This is an open access article under the terms of the Creative Commons Attribution License (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

Proposed approach is implemented on a real-life SPA problem in an academic institution. The results are compared with those of the existing approaches in the related-literature with respect to some performance parameters and an average of 9% improvement is observed in the performance scores of the criteria.

Araştırma Makalesi		Research Article	
Başvuru Tarihi	: 19.07.2022	Submission Date	: 19.07.2022
Kabul Tarihi	: 24.02.2023	Accepted Date	: 24.02.2023

* Sorumlu yazar: gulverentabansiz@gmail.com
<https://doi.org/10.31796/ogummf.1145417>

1. Giriş

Genel olarak, üniversite lisans programlarının son sınıfında öğrenim gören öğrenciler, lisans bitirme projesi dersleri kapsamında, grup halinde ilgili proje çalışmalarını gerçekleştirmektedir. Bu proje çalışmaları sayesinde, öğrencilere gerçek hayat uygulamaları üzerinde çalışma yapma, iş dünyasında yer almadan önce tecrübe kazanma ve takımlar halinde çalışma deneyimi edinme olanağı verilmektedir. İlgili projeler genellikle takım çalışması olarak gerçekleştirilmekte ve bir projeye birden fazla sayıda öğrenci atanması gerekmektedir. Bu süreç genel olarak Öğrenci-Proje Atama (ÖPA) olarak adlandırılmaktadır. ÖPA, genel bir ifadeyle çeşitli kriterlerin dikkate alınmasıyla öğrenci-proje gruplarının oluşturulmasını ve bu gruplara projelerin atanmasını içeren bir problem olarak tanımlanabilir.

İlgili literatür incelendiğinde, ÖPA probleminin farklı versiyonlarından bahsedilebilir. Bu çalışma kapsamında dikkate alınan ÖPA problemi, öğrenci-grup atamaları, grup kararlarının belirlenmesi ve grup-proje atamaları olmak üzere üç aşamadan oluşmaktadır. (Çavdur, Sebatli, Kose-Kucuk ve Rodoplu, 2019; Çavdur, Bağlarbaşı-Mutlu, Sebatli-Sağlam, 2020) tarafından yapılan çalışmalarda sunulan bir 0-1 tamsayılı-hedef programlama formülasyonundan adapte edilmiş olan matematiksel programlama modeliyle, çalışmanın ilk aşamasında çeşitli kriterler dikkate alınarak öğrenci-proje gruplarının oluşturulması gerçekleştirilmektedir. Sonraki aşamada, grup-proje eşleştirmeleri gerçekleştirilmeden önce, oluşturulan grupların proje tercihleri için grup üyelerinin farklı bakış açılarını yansıtan grup kararları belirlenmektedir. Son olarak, öğrenci-proje gruplarının proje tercihlerine yönelik olarak oluşturulan grup kararları kullanılarak bir 0-1 tamsayılı program ile grup-proje atamaları gerçekleştirilmektedir.

Çalışmanın ilk aşamasında öğrenci-grup atamaları gerçekleştirilerek öğrenci grupları oluşturulmaktadır. Oluşturulan grupların dengeli ve homojen olması, hem adil bir grup oluşmasını sağlamak hem de dolaylı olarak grup içi çeşitliliğin artmasını sağlayabilmektedir. Grupların adil olması, her grubun eşit bilgi ve beceri düzeyine sahip olmasını sağlayarak tüm grupların başarılı bir proje gerçekleştirmesini amaçlamaktadır.

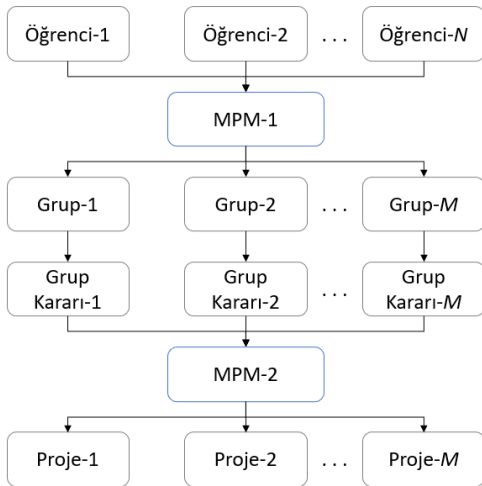
Örneğin, gruplar oluşturulurken grupların genel akademik not ortalamalarının (GANO), genel sınıf ortalamasına eşit olması adil bir sistem ortaya koymakta olup tüm grupların başarılı bir proje gerçekleştirmesini sağlayabilmektedir. Benzer şekilde, grup içi çeşitliliğin artması da gruptaki öğrencilerin motivasyonlarının artmasına ve proje çalışmalarını daha verimli bir şekilde gerçekleştirmelerine fayda sağlayabilmektedir. Öğrenci gruplarının oluşturulmasında kullanılan 0-1 tamsayılı-hedef programlama modeli Çavdur ve diğ. (2019) ve Çavdur ve diğ. (2020) tarafından gerçekleştirilen çalışmalardan adapte edilmiştir.

Öte yandan, öğrenci motivasyonlarının artmasındaki ve proje çalışmalarının daha verimli bir şekilde gerçekleştirilmesindeki en önemli unsurlardan birisi de öğrencilerin proje tercihleridir. Genel olarak, öğrencilerin daha çok ilgi duydukları projelerde çalışmaları durumunda daha verimli bir çalışma gerçekleştirmeleri beklendiğinden, ÖPA probleminde dikkate alınan bileşenlerden birisi de öğrenci tercihleri olmaktadır. Bununla birlikte, pratikte çoğunlukla öğrencilerin projeler üzerinde bireysel tercihleri söz konusu olduğundan, bireysel tercihlerin grup tercihine dönüştürülmesi önemlidir. Bu çalışmanın ikinci aşamasında, oluşturulmuş olan öğrenci gruplarındaki bireysel proje tercihleri dikkate alınarak gruplar için proje tercihlerini gösteren grup kararları belirlenmektedir.

Önceki aşamalarda, sırasıyla, öğrenci gruplarının oluşturulması ve öğrencilerin bireysel proje tercihleri kullanılarak gruplar için proje tercihlerini gösteren grup kararlarının belirlenmesinden sonra, önerilen yaklaşımın son aşamasında grup-proje atamaları gerçekleştirilmektedir. Bu aşamada gerçekleştirilen grup-proje atamaları sırasında öğrencilerin bireysel tercihleri yerine grup tercihleri dikkate alınmakta ve gruplar ile projelerin birebir eşleşmesi sağlanmaktadır. Şekil 1, ÖPA için önerilen üç aşamalı yaklaşımı özetlemektedir. Şekilde de görüldüğü gibi, önerilen yaklaşımın birinci aşamasında Matematiksel Programlama Modeli-1 (MPM-1) kullanılarak öğrenci grupları oluşturulmakta, ikinci aşamada oluşturulan gruplardaki öğrencilerin bireysel proje tercihleri dikkate alınarak grubun proje tercihini gösteren grup

kararı belirlenmekte ve son aşamada da bu grup kararlarının dikkate alındığı Matematiksel Programlama Modeli-2 (MPM-2) kullanılarak grup-proje eşleştirmeleri gerçekleştirilmektedir. Konuyla ilgili mevcut çalışmalar incelendiğinde, ÖPA probleminin çözümünde genel olarak öğrencilerin bireysel tercihlerinin dikkate alındığı gözlemlendiğinden, çalışmanın literatüre olan katkısı, önerilen üç aşamalı yaklaşımla, grup kararlarının dikkate alınarak ÖPA probleminin çözülmesi şeklinde özetlenebilir. Buna ek olarak, farklı grup kararlarının değerlendirilmesi de çalışmanın bir diğer öne çıkan unsurunu oluşturmaktadır.

Çalışmanın sonraki bölümleri şu şekilde organize edilmiştir. İkinci bölümde kısa bir literatür taraması verilmiştir. Üçüncü bölüm, önerilen yaklaşımın detaylarının sunulduğu üç alt bölümden oluşmaktadır. Dördüncü bölümde elde edilen sonuçlar sunulmuştur. Son bölümde ise çalışmanın genel bir değerlendirmesi yapılmaktadır.



Şekil 1. Öğrenci-Proje Atama Aşamaları

2. Bilimsel Yazın Taraması

Literatürde yer alan ÖPA çalışmaları incelendiğinde, bu alanda bilinen ilk matematiksel programlama temelli çalışmada, Proll (1972) tarafından öğrenci tercihlerinin dikkate alındığı bir atama modeli önerilmiştir. Bir başka çalışmada, Anwar ve Bahaj (2003) ÖPA probleminin çözümü için farklı bakış açılarının yansıtıldığı iki farklı tamsayılı programlama yaklaşımı önermişlerdir. Birinci yaklaşımda; öncelikle öğrenci grupları oluşturulmakta, sonrasında her grup projelerini seçmektedir. İkinci yaklaşımda ise öğrenciler bireysel olarak projeleri seçmekte ve gruplar bu projelere atanan öğrencilerden oluşmaktadır. Pan, Chu, Han ve Huang (2009) öğrenci ve öğretim elemanı tercihlerinin yanı sıra atanan proje sayısının da optimize edilmesi amacıyla problemin çözümü için bir hedef programlama modeli

önermişlerdir. Calvo-Serrano, Guillen-Gosalbez, Kohn ve Masters (2017) önerdikleri karma-tamsayılı programlama yaklaşımıyla, sadece proje tercihlerini değil çalışma alanlarını da dikkate alarak öğrenci memnuniyetini arttırmayı amaçlamışlardır. Cavdur ve diğ. (2019) tarafından sunulan çalışmada ise tercih unsurunun yanı sıra birtakım proje kriterleri ve bu kriterleri karşılayan öğrenci nitelikleri ile kapasite kısıtları da dikkate alınarak hedef programlama temelli çözüm yaklaşımı geliştirilmiştir. Benzer bir çalışmada, Cavdur ve diğ. (2020) tamsayılı programlama ile çok-kriterli ÖPA problemini çözmüşlerdir. Ardından, problem veri setinin düzenlenebildiği, ÖPA sürecinin gerçekleştirilebildiği ve atama sonuçlarının raporlanabildiği bir karar destek sistemi uygulaması geliştirmişlerdir. Daş, Altınkaynak, Gökçen ve Türker (2022) öğrencilerin tek tek gruplara atanmasının yerine, önceden belirlenen bir dizi aday grup içerisinde proje kriterlerini sağlayan uygun grupların seçildiği hedef programlama temelli çok-amaçlı küme bölüntüleme formülasyonu önermişlerdir. Aday grupların belirlenmesinde ise bireyler arası sosyal ilişkileri ifade eden ağ yapısını dikkate almışlardır. Chiarandini, Fagerberg ve Gualandi (2019) tarafından yapılan çalışmada ise literatürdeki diğer çalışmalardan farklı olarak adalet ve kolektif memnuniyet kavramlarının üzerinde durulmuştur. ÖPA problemi karma-tamsayılı programlama formülasyonu olarak ifade edilmiş ve farklı bakış açılarını ifade eden modeller analiz edilmiştir.

ÖPA probleminde grup içi çeşitliliğin artırılması ve gruplar arası farklılıkların azaltılması grup üyelerinin motivasyonu açısından önemli olabilmektedir. Cutshall, Gavirneni ve Schultz (2007) grup üyelerinin akademik performansında eşitliğin sağlanması, grup içerisinde çeşitliliğin artırılması ve demografik açıdan dengeye ulaşılması amacıyla tamsayılı programlama temelli bir yaklaşım önermişlerdir. Borges, Dias ve Cunha (2009) ise grup içi çeşitliliğin ve gruplar arası homojenliğin maksimize edilmesi amacıyla bir algoritma önermişlerdir. Saraç ve Özçelik (2013) öğrencilerin beraber çalışmak istedikleri arkadaşlarını kendilerinin tercih ettikleri bir problem kurgusunda, öğrenci nitelikleri açısından dengeli grupların oluşturulması amacıyla bir tamsayılı programlama modeli sunmuşlardır.

Geçmiş çalışmalarda, ÖPA probleminin bir kararlı-eleştirme problemi olarak ele alındığı çalışmalar da yer almaktadır. Dye (2001) eşleştirme probleminin çözümü için kısıt programlama temelli bir çözüm yaklaşımı önermiştir. Bir başka çalışmada, Abraham, Irving ve Manlove (2007) hem öğrencilerin hem de öğretim elemanlarının tercihlerini dikkate alarak kapasite kısıtları altında sırasıyla, öğrenciler ve öğretim elemanları için en uygun sonuçları veren doğrusal-zamanlı iki algoritma sunmuşlardır. Benzer bir çalışmada, Manlove ve O'Malley (2008) problemin

kapsamını genelleştirerek bir yakınsama algoritması önermişlerdir. Iwama, Miyazaki ve Yanagisawa (2012) ise alt ve üst sınır değerlerini iyileştirilerek Manlove and O'Malley (2008) tarafından önerilen algoritmayı genişletmişlerdir. Cooper ve Manlove (2018) tercih listelerinin sıralanmasının gerekmediği ve kararlı eşleşmelerin farklı boyutlarda olabildiği senaryo için doğrusal-zamanlı yakınsama algoritması önermişlerdir. Manlove, Milne ve Olaosebikan (2018) problemin optimal çözümü için tamsayı programlama modeli önererek geçmiş çalışmalarda yakınsama algoritmalarının performansını bu modelin performansı ile karşılaştırmışlardır. Olaosebikan ve Manlove (2020a) ise geliştirdikleri polinom-zamanlı algoritma ile süper-kararlı eşleştirmelerin bulunmasını amaçlamışlardır. Olaosebikan ve Manlove (2020b) tarafından sunulan bir diğer çalışmada, güçlü-kararlı eşleştirmelerin elde edilebilmesi için polinom-zamanlı bir algoritma önerilmiştir. Manlove, Milne ve Olaosebikan (2022) çalışmalarında, farklı karmaşıklıkta örneklerde maksimum boyutta kararlı eşleşmeleri bulmak için yaptıkları algoritmik ve deneysel çalışmaların sonuçlarını sunmuşlardır. Viet, Van Tan ve Cao (2020) tercih bazlı ÖPA problemi için maksimum zayıf-kararlı eşleşmelerin bulunması amacıyla bir algoritma önermişlerdir. Ismaili, Yamaguchi ve Yokoo (2018) ise projelere kaynak atama süreci ile öğrenci-proje eşleştirme sürecini birlikte ele almışlardır. Öğrenci-proje-kaynak atama problemi olarak adlandırılan problemde, projelere hem öğrenciler hem de kaynaklar atanmakta ve atanan kaynaklar projenin öğrenci kapasitesini belirlemektedir. Benzer bir çalışmada, Yahiro ve Yokoo (2020) öğrencilerin projeleri ve projelerin de öğrencileri tercih ettikleri öğrenci-proje-kaynak eşleştirme-atama probleminin çözümü için oyun teorisi temelli bir yaklaşım geliştirmişlerdir. Aderanti, Amosa ve Oluwatobiloba (2016) tarafından yapılan çalışmada ise ÖPA probleminin çözümü için arka planda bir eşleştirme algoritmasının kullanıldığı web-tabanlı bir sistem geliştirilmiştir.

ÖPA probleminin çözümü için literatürdeki diğer çözüm yaklaşımları incelendiğinde, birtakım sezgisel yaklaşımların varlığından söz edilebilir. Fitzpatrick, Askin ve Goldberg (2001) önerdikleri matematiksel programlama ve sezgisel tabanlı hibrit yaklaşımda, öğrencilerin teknik nitelikleriyle birlikte içgüdüsel eğilimlerini de dikkate almak için Kolbe-İndeksini kullanmışlardır. Harper, de Senna, Vieira ve Shahani (2005) öğrenciler tarafından daha fazla tercih edilen popüler projelerin hangi öğrencilere atanacaklarını belirlemek amacıyla genetik algoritma önermişlerdir. Agustin-Blas, Salcedo-Sanz, Ortiz-Garcia, Portilla-Figueras ve Perez-Bellido (2009) öğrenci laboratuvar gruplarının oluşturulması için hibrit genetik algoritma önermişlerdir. Burada, öğrenci ve öğretim elemanı tercihlerinin yanı sıra laboratuvar kapasitesi de dikkate alınmaktadır. Hübscher (2010) ise grup içi çeşitliliğin

fazla olduğu ve gruplar arasında yetenekler açısından eşitliğin bulunduğu durumda öğrenci gruplarının oluşturulması için tabu arama algoritması temelli bir yaklaşım sunmuştur. Sahin (2011) öğrenci tercihlerinin ve öğretim elemanı görüşlerinin dikkate alınarak öğrenci gruplarının oluşturulması için Prim'in minimum kapsayan ağaç algoritması temelli bir algoritma önermiş ve elde edilen sonuçları analiz etmiştir. Maashi ve diğ. (2020) tarafından yapılan çalışmada önceden belirlenen öğrenci gruplarının, aç gözlü doğrusal bir algoritma ile kapasite kısıtları ve grup tercihleri dikkate alınarak projelere atanmaları sağlanmaktadır. Binong (2021) daha iyi akademik performansa sahip öğrencileri motive etmek amacıyla, bu öğrencilerin tercihlerine daha yüksek öncelik vererek sezgisel bir algoritma ile proje atamalarını gerçekleştirmektedir. Chown, Cook ve Wilding (2018) ise öğrenci tercihlerinin yanı sıra danışman iş yükünün de dikkate alındığı bir problem kurgusu için tavlama benzetimi yaklaşımını kullanmışlardır. Kenekayoro ve Fawei (2020) sıralama temelli sezgisel yaklaşım, genetik algoritma ve karınca kolonisi optimizasyonu olmak üzere farklı yöntemler kullanarak elde edilen atama sonuçlarını analiz etmişlerdir. Alberola, Val, Sanchez-Anguis ve Julian (2016) tarafından yapılan çalışmada öncelikle içerdiği farklı grup oluşturma stratejileri ile karar vericilere test imkanı sunan, sonrasında yapay zeka yöntemleri kullanılarak grupların oluşturulmasını sağlayan genel bir çerçeve sunulmuştur.

ÖPA sürecinde bireylerin tercihlerinin dikkate alınması önceki paragraflarda da bahsedildiği gibi literatürde sıklıkla görülen bir durumdur. Öte yandan, bireylerin bir araya gelerek bir grubu oluşturması sebebiyle direkt olarak grup tercihi de ele alınabilir. Bu bakış açısı, grup karar verme tekniklerinin önemini gündeme getirmektedir. Bu bölümde, literatürde yer alan güncel grup karar verme tekniklerinden birtakım örnekler sunulmaktadır. Grup karar verme tekniklerinin birçok farklı alanda uygulandığı görülmektedir. Samanlıoğlu, Taskaya, Gulen ve Cokcan (2018) tarafından yapılan çalışmada yöneticilerin personel seçiminde hem sözel hem de sayısal ölçekteki değerlendirmelerini dikkate alabilmek için bulanık-AHP ve bulanık-TOPSIS temelli bir yaklaşım önerilmiştir. Bulanık AHP-TOPSIS hesaplamalarında, grup karar verme sürecinde, karar vericilerin sözlü değerlendirmelerinin önemini yansıtan hiyerarşik ağırlıklar kullanılmıştır. Yu, Shao, Wang ve Zhang (2019) tedarikçi seçimi için TOPSIS yaklaşımının bir uzantısı olarak aralık-değerli Pisagor bulanık ortamında grup kararının verilebildiği bir yaklaşım sunmuşlardır. Banaeian, Mobli, Fahimnia, Nielsen ve Omid (2018) ise yeşil tedarikçi seçimi problemi için bulanık-TOPSIS, bulanık-VIKOR ve bulanık-Gri İlişkisel Analiz yöntemi kullanarak elde edilen sonuçları analiz etmişlerdir. Wu, Ahmad ve Xu (2016) çok sayıda karar vericinin bulunduğu ortamda, CNC takım tezgahı seçimi için sözel bilgilerin de dikkate

alınabilmesi amacıyla bulanık-VIKOR temelli bir yaklaşım önermişlerdir. Bir başka çalışmada, Çalı ve Balaman (2019) ELECTE-I ve VIKOR yöntemlerini sezgisel bulanık bir ortamda kullanarak karar vermeyi amaçlamış, grup kararının belirlenmesinde ise entropi yöntemi ve farklı uyum kümelerinin ağırlıklarını belirlemek için ağırlıklı mesafe yaklaşımı kullanmışlardır. Kao ve Liu (2022) ise robot seçim problemi için veri zarflama metodu temelli bir grup karar verme stratejisi sunmuşlardır. Grup karar verme sürecinde çok-kriterli karar verme yöntemlerinin kullanımı ön plana çıksa da sosyal ağ analizi (Dong, Zhou ve Martinez, 2019; Zhang, Gao ve Li, 2020) kümeleme yaklaşımları (Tang, Liao, Xu, Streimikiene ve Zheng, 2020) ve optimizasyon temelli (Zhang, Dong ve Herrera-Viedma, 2019) çeşitli yaklaşımların da olduğu görülmektedir. Çavdur, Sebatlı ve Köse-Küçük (2019) çalışmalarında, ÖPA probleminde dikkate alınan kriterlerin ağırlıklarını belirlemek için AHP ve doğrusal olmayan programlama temelli hibrit bir grup karar verme yaklaşımı kullanmışlardır. Benzer bir çalışmada, AHP ile belirlenen bireysel kararların grup kararına dönüştürülmesinde aritmetik, geometrik, harmonik ve kuadratik ortalama yaklaşımları kullanılmış ve sonuçları analiz edilmiştir (Bağlarbasi-Mutlu, Sebatlı ve Cavdur, 2018). Koksalmis ve Kabak (2019) tarafından sunulan çalışmada ise grup karar vermede karar vericilerin ağırlıklarının belirlenmesi için kullanılan teknikler ile ilgili güncel literatür taraması yapılmıştır.

Bu çalışmanın öne çıkan yanı, öğrencilerin bireysel tercihlerinin yerine, birtakım kriterleri sağlamak koşuluyla oluşturulan öğrenci gruplarının tercihlerinin ele alınmasıdır. Bunun yanı sıra, gruptaki bir öğrencinin bir projede çalışmak üzere yüksek motivasyona sahip olması (projeyi ilk sıralarda tercih etmesi) veya yeterince motive olmaması (projeyi son sıralarda tercih etmesi) gibi farklı bakış açılarının probleme dahil edilmesiyle farklı grup kararları için elde edilen sonuçlar analiz edilmiştir.

3. Yöntem

Bu çalışmada araştırma ve yayın etiğine uyularak öğrencilerin projelere atanmaları için üç aşamalı bir yaklaşım kullanılmıştır. Literatürde yer alan bir 0-1 tamsayılı-hedef programlama formülasyonundan adapte edilmiş olan matematiksel programlama modeliyle, çalışmanın ilk aşamasında çeşitli kriterler dikkate alınarak öğrenci gruplarının oluşturulması gerçekleştirilmektedir (Çavdur ve diğ., 2019; Çavdur ve diğ., 2020). Sonraki aşamada, grup-proje eşleştirmeleri gerçekleştirilmeden önce, oluşturulan grupların proje tercihleri için grup üyelerinin farklı bakış açılarını yansıtan grup kararları belirlenmektedir. Son olarak, öğrenci gruplarının proje tercihlerine yönelik olarak oluşturulan grup kararları kullanılarak bir 0-1 tamsayılı program ile grup-proje atamaları

gerçekleştirilmektedir. İzleyen bölümlerde sırasıyla bu üç aşamaya ait detaylar sunulmaktadır.

3.1. Öğrenci Gruplarının Oluşturulması

Öğrencilerin gruplara atandığı ilk aşamada; (i) bir grupta yer olan toplam öğrenci sayısı, (ii) GANO, (iii) yabancı dil, (iv) bilgisayar programlama, (v) genel ofis yazılımları ve (vi) veri tabanı yönetimi bilgisi olmak üzere altı hedef dikkate alınmıştır. Bu amaçla kullanılan 0-1 tamsayılı-hedef programlama modelinde (MPM-1), ilgili altı hedeften minimum sapma ile öğrencilerin hangi gruba atanacaklarına karar verilmektedir. Bu amaçla, Cavdur ve diğ. (2019) ve Çavdur ve diğ. (2020) tarafından gerçekleştirilen çalışmalardan adapte edilen MPM-1 aşağıdaki şekilde tanımlanmaktadır.

İndisler:

i : Öğrenci indisi, $i = 1, \dots, n$

j : Grup indisi, $j = 1, \dots, m$

Parametreler:

N_S : bir grupta olması istenen kişi sayısı

$N_S^{min}(N_S^{max})$: bir grupta olması istenen kişi sayısının alt (üst) limit değeri

G_T : bir grupta olması istenen ortalama genel akademik not ortalaması değeri

$G_T^{min}(G_T^{max})$: bir grupta olması istenen genel akademik not ortalaması değerinin alt (üst) limit değeri

g_i : i . öğrencinin genel akademik not ortalaması

q_i^1 : i . öğrencinin yabancı dil yeteneğini gösteren 0-1 parametre

q_i^2 : i . öğrencinin bilgisayar programlama yeteneğini gösteren 0-1 parametre

q_i^3 : i . öğrencinin genel ofis yazılımları yeteneğini gösteren 0-1 parametre

q_i^4 : i . öğrencinin veri tabanı yönetimi yeteneğini gösteren 0-1 parametre

Değişkenler:

x_{ij} : $\begin{cases} 1, & i. \text{ öğrenci } j. \text{ gruba atanıyorsa} \\ 0, & \text{aksi durumda} \end{cases}$

$d_j^{1\pm}$: bir grupta olması istenen kişi sayısından hedefinden sapma miktarları

$d_j^{2\pm}$: bir grupta olması istenen ortalama GANO hedefinden sapma miktarları

$d_j^{3\pm}$: yabancı dil yeteneği hedefinden sapma miktarları

$d_j^{4\pm}$: bilgisayar programlama yeteneği hedefinden sapma miktarları

$d_j^{5\pm}$: genel ofis yazılımları yeteneği hedefinden sapma miktarları

$d_j^{6\pm}$: veri tabanı yönetimi yeteneği hedefinden sapma miktarları

Amaç fonksiyonu:

$$\min z = \sum_{j=1}^m (d_j^{1-} + d_j^{1+}) + \sum_{j=1}^m (d_j^{2-} + d_j^{2+}) + \sum_{j=1}^m d_j^{3-} + \sum_{j=1}^m d_j^{4-} + \sum_{j=1}^m d_j^{5-} + \sum_{j=1}^m d_j^{6-} \quad (1)$$

Kısıtlar:

$$\sum_{j=1}^m x_{ij} = 1, \quad \forall i \quad (2)$$

$$\sum_{i=1}^n x_{ij} + d_j^{1-} - d_j^{1+} = N_s, \quad \forall j \quad (3)$$

$$N_s^{\min} \leq \sum_{i=1}^n x_{ij} \leq N_s^{\max}, \quad \forall j \quad (4)$$

$$\sum_{i=1}^n g_i x_{ij} - \sum_{i=1}^n G_T x_{ij} + d_j^{2-} - d_j^{2+} = 0, \quad \forall j \quad (5)$$

$$\sum_{i=1}^n G_T^{\min} x_{ij} \leq \sum_{i=1}^n g_i x_{ij} \leq \sum_{i=1}^n G_T^{\max} x_{ij}, \quad \forall j \quad (6)$$

$$\sum_{i=1}^n q_i^1 x_{ij} + d_j^{3-} - d_j^{3+} = 1, \quad \forall j \quad (7)$$

$$\sum_{i=1}^n q_i^2 x_{ij} + d_j^{4-} - d_j^{4+} = 1, \quad \forall j \quad (8)$$

$$\sum_{i=1}^n q_i^3 x_{ij} + d_j^{5-} - d_j^{5+} = 1, \quad \forall j \quad (9)$$

$$\sum_{i=1}^n q_i^4 x_{ij} + d_j^{6-} - d_j^{6+} = 1, \quad \forall j \quad (10)$$

$$x_{ij} \in \{0,1\}, \quad \forall i, j \quad (11)$$

$$d_j^{1\pm}, \dots, d_j^{6\pm} \geq 0, \quad \forall j \quad (12)$$

Denklem (1) ile modelde dikkate alınan kriterlerin hedef değerlerinden sapmaları minimize edilmektedir. Burada dikkate alınan hedefe bağlı olarak sadece negatif veya hem pozitif hem negatif sapma değişkenlerinin minimize edilmesi söz konusudur. Denklem (2) ile her öğrencinin mutlaka bir gruba atanması sağlanmaktadır. Denklem (3) ile her grupta istenen sayıda öğrenci olması hedeflenirken, Denklem (4) ile bu sayının belirlenen alt ve üst limit değerlerinin arasında olması sağlanmaktadır. Benzer şekilde, Denklem (5) ile her grubun ortalama GANO değerinin sınıfın ortalama GANO değerine eşit olması hedeflenirken, Denklem (6) ile bu değer belirlenen alt ve üst değerlerin arasında olması sağlanmaktadır. Denklem (7)-(10) ile her grupta en az bir kişinin, sırasıyla, yabancı dil yeteneğine, bilgisayar programlama yeteneğine, genel ofis yazılımları yeteneğine ve veri tabanı yönetimi yeteneğine sahip olması hedeflenmektedir. Denklem (11) ve (12) ise genel işaret kısıtlarını ifade etmektedir.

3.2. Grup Kararlarının Belirlenmesi

Öğrencilerin gruplara atanma aşamasından sonra, oluşturulmuş olan öğrenci gruplarındaki bireysel proje tercihleri dikkate alınarak, gruplar için proje tercihlerini gösteren grup kararları belirlenmektedir. Grup kararları oluşturulurken, grup üyelerinin proje tercihlerinin ortalaması, grup üyelerinin proje tercihlerinin minimumu ve grup üyelerinin proje tercihlerinin maksimumu olmak üzere üç farklı bakış açısı dikkate alınmaktadır. Grup tercihlerinin bu üç farklı şekilde belirlenmesiyle, grupların projeleri ortalama tercih düzeylerinin yanında, her grup için grup üyeleri arasından projeleri en yüksek ve en düşük öncelikte tercih eden öğrenci tercihinin de dikkate alınması amaçlanmıştır. Öğrenci gruplarının oluşturulması, grup kararlarının belirlenmesi ve önerilen yaklaşımın daha anlaşılır olması için on öğrenci ve üç projeden oluşan örnek bir veri seti oluşturulmuştur. Burada, öğrencilerin yetenekleri rassal olarak oluşturulmuş olup GANO değerleri [1,80, 4,00] aralığında değer alan, yabancı dil yeteneğine sahip bir öğrencinin, bilgisayar programlama yeteneğine sahip üç öğrencinin, genel ofis yazılımları yeteneğine sahip sekiz öğrencinin ve veri tabanı yönetimi yeteneğine sahip iki öğrencinin bulunduğu bir veri seti oluşturulmuştur. On öğrenci için rassal olarak oluşturulan GANO (g_i), yabancı dil yeteneği (q_i^1), bilgisayar programlama yeteneği (q_i^2), genel ofis yazılımları yeteneği (q_i^3) ve veri tabanı yönetimi yeteneği (q_i^4) değerleri Tablo 1'de gösterilmiştir.

Tablo 1. Örnek Veri Seti için Öğrenci Parametreleri

Öğrenci	g_i	q_i^1	q_i^2	q_i^3	q_i^4
1	3,10	0	0	1	1
2	1,89	0	0	1	0
3	4,00	1	1	1	0
4	1,80	0	1	1	0
5	3,50	0	0	1	0
6	3,40	0	0	1	0
7	2,31	0	0	0	0
8	3,30	0	0	1	0
9	3,21	0	0	1	1
10	2,65	0	1	0	0

Öğrenci gruplarının oluşturulması için MPM-1'in çözümünde kullanılan parametreler; N_s^{\min} (N_s^{\max}) değerleri 2 (4), N_s değeri 3, G_T^{\min} (G_T^{\max}) değerleri 2,60 (3,20) ve G_T değeri 2,90 olarak belirlenmiştir. Bu değerler ilgili rassal veri setinin özellikleri (örneğin, öğrenci yeteneklerinin ortalamaları) dikkate alınarak hesaplanmıştır. Oluşturulan öğrenci gruplarının, grup kararlarının nasıl belirlendiği Tablo 2'de gösterilmiştir.

Tablo 2'nin sol kısmında öğrencilerin atandıkları proje grupları ve bireysel proje tercihleri görülmektedir. Tablo 2'de sağa doğru gruplandırılmış şekilde

gösterilen üç matris ise sırasıyla her grup için hesaplanan ortalama, minimum ve maksimum tercih düzeylerini göstermektedir.

Tablo 2. Örnek Veri Seti için Grup Kararları

Ö	G	Bireysel Tercihler				Ortalama Tercih				Minimum Tercih				Maksimum Tercih			
		ÖT	P1	P2	P3	GT	P1	P2	P3	GT	P1	P2	P3	GT	P1	P2	P3
Ö1	G1	Ö1	2	3	1	G1	2,00	2,00	2,00	G1	1	1	1	G1	3	3	3
Ö2		Ö2	1	2	3	G2	2,33	2,00	1,67	G2	1	1	1	G2	3	3	2
Ö3		Ö3	3	1	2	G3	1,75	2,50	1,75	G3	1	2	1	G3	3	3	3
Ö4	G2	Ö4	3	1	2												
Ö5		Ö5	1	3	2												
Ö6		Ö6	3	2	1												
Ö7	G3	Ö7	1	2	3												
Ö8		Ö8	1	3	2												
Ö9		Ö9	2	3	1												
Ö10		Ö10	3	2	1												

Ö: Öğrenci, G: Grup, P: Proje, ÖT: Öğrenci Tercihi, GT: Grup Tercihi

Tablo 2 incelendiğinde örneğin, üç öğrenciden oluşan ilk grubun, birinci projeyi ortalama tercih düzeyi $avg\{2,3,1\} = 2$, minimum tercih düzeyi $min\{2,3,1\} = 1$ ve maksimum tercih düzeyi de $max\{2,3,1\} = 3$ olarak belirlenmiştir. Diğer bir ifadeyle, grupta projeyi ilk sırada tercih eden bir öğrenci, ikinci sırada tercih eden bir öğrenci ve üçüncü sırada tercih eden bir öğrenci bulunmakta olup, grupta üç kişi yer aldığından projenin ortalama tercih düzeyi iki olarak belirlenmiştir. Diğer girdiler de benzer şekilde yorumlanabilir. Tablo 2'de açıklanan tercih düzeyi belirleme şeklinin formal bir şekilde ifade edilmesi amacıyla, i öğrenci indisi, j grup indisi, k proje indisi, x_{ij} birinci aşamada elde edilen çözümden gelen (i . öğrenci j . gruba atanıyorsa 1, aksi durumda 0 değerini alan) değişkenler ve p_{ik} i . öğrencinin k . projeyi tercih düzeyi olmak üzere, j grubunun k projesi için ortalama proje tercih düzeyi, Denklem (13) ile hesaplanmaktadır.

$$gp_{jk}^{(avg)} = avg\{p_{ik}x_{ij}\}, \quad \forall j, k \quad (13)$$

Benzer şekilde, her grup için grup üyeleri arasından projeleri en yüksek ve en düşük öncelikle tercih eden öğrenci tercihinin de dikkate alınması amacıyla hesaplanan grup üyelerinin tercihlerinin minimumu ve maksimumu da Denklem (14) ve Denklem (15) ile belirlenmektedir.

$$gp_{jk}^{(min)} = min\{p_{ik}x_{ij}\}, \quad \forall j, k \quad (14)$$

$$gp_{jk}^{(max)} = max\{p_{ik}x_{ij}\}, \quad \forall j, k \quad (15)$$

3.3. Grup Proje Atamalarının Gerçekleştirilmesi

Grup tercihlerinin belirlenmesinin ardından, önerilen yaklaşımın son aşamasında grup-proje eşleştirmeleri

gerçekleştirilmektedir. Bu amaçla, önceki aşamada belirlenmiş olan grup tercihlerinin atama maliyeti olarak ele alındığı genel atama modeli için 0-1 tamsayılı programlama modeli kullanılarak, gruplar için oluşturulan ortalama, minimum ve maksimum tercih düzeyleri dikkate alınarak grup-proje eşleştirmeleri gerçekleştirilmiştir. Bu aşamada kullanılan model aşağıdaki şekilde tanımlanmaktadır.

İndisler:

j : Grup indisi, $j = 1, \dots, m$

k : Proje indisi, $k = 1, \dots, m$

Parametreler:

gp_{jk} : j . grubun k . projeyi tercih etme düzeyi

Değişkenler:

x_{jk} : $\begin{cases} 1, & j. \text{ grup } k. \text{ projeye atanıyorsa} \\ 0, & \text{aksi durumda} \end{cases}$

Amaç fonksiyonu:

$$\min z = \sum_{j=1}^m \sum_{k=1}^m gp_{jk}x_{jk} \quad (16)$$

Kısıtlar:

$$\sum_{k=1}^m x_{jk} = 1, \quad \forall j \quad (17)$$

$$\sum_{j=1}^m x_{jk} = 1, \quad \forall k \quad (18)$$

$$x_{jk} \in \{0,1\}, \quad \forall j, k \quad (19)$$

Denklem (16) ile grup kararları dikkate alınarak belirlenen tercih düzeyleri minimize edilerek, grupların en yüksek düzeyde tercih ettikleri projeler atanması amaçlanmaktadır. Denklem (17) ile her grup bir projeye ve Denklem (18) ile her proje bir gruba

atanmaktadır. Denklem (19) genel işaret kısıtını ifade etmektedir.

4. Bulgular

Bu çalışmada ÖPA problemi için önerilen çözüm yaklaşımı gerçek bir problem üzerinde uygulanmış ve elde edilen sonuçların performansı analiz edilmiştir. Çalışma kapsamında ÖPA problemi için üç yıla ait veri seti kullanılmıştır (Cavdur, 2018). Kullanılan veri setlerine ait öğrenci ve proje sayısı Tablo 3'te gösterilmiştir.

Tablo 3. Problem Veri Setlerinin Özellikleri

	Veri Seti-1	Veri Seti-2	Veri Seti-3
Öğrenci Sayısı	70	68	73
Proje Sayısı	25	22	24

Çalışmanın ilk aşamasında öğrenci gruplarının oluşturulması sırasında kullanılan MPM-1 modeli ile (i) bir grupta yer alan toplam öğrenci sayısı, (ii) GANO, (iii) yabancı dil, (iv) bilgisayar programlama, (v) genel ofis yazılımları ve (vi) veri tabanı yönetimi bilgisi olmak üzere altı kriter ele alınırken, çalışmanın son aşamasında grup-proje eşleştirmelerinin gerçekleştirilmesi sırasında kullanılan MPM-2 modeli ile de grupların proje tercihleri dikkate alınmaktadır. Dolayısıyla, bütünlük olarak değerlendirildiğinde ilgili matematiksel programlama modelleri ile toplamda yedi kriter dikkate alınarak ÖPA problemi çözülmekte ve önerilen yaklaşımın performansı söz konusu yedi kritere ait normalize edilmiş yüzdeler kullanılarak incelenmektedir. Herhangi bir kritere ait yüzdeler performans skoru (%100 olabilecek en iyi performans skorunu göstermek üzere) ilgili kriterin sağlanma düzeyini göstermektedir. Söz konusu modellerin çözümü Intel(R) Core(TM) i5-10210U CPU @ 1.60GHz 2.11 GHz özelliklerinde bir bilgisayar ortamında GAMS ara yüzü kullanılarak CPLEX çözücüsü ile gerçekleştirilmiştir.

Bu çalışmada, önerilen yaklaşıma ek olarak, literatürden adapte edilen iki farklı yaklaşım da uygulanmış ve performansları önerilen yaklaşımın performansı ile kıyaslanmıştır. Literatürden adapte edilen yaklaşımlardan ilki, Cavdur ve diğ. (2019) tarafından önerilen tüm kriterlerin (toplam yedi kriterin) dikkate alındığı ve ilgili çalışmadan adapte edilen formülasyonla problemin çözüldüğü durumu, diğeri ise yine Cavdur ve diğ. (2019) tarafından önerilen tüm kriterlerden tercih dışındaki kriterlerin (toplam altı kriter) dikkate alındığı ve ilgili çalışmadan adapte edilen formülasyonla problemin çözüldüğü durumu ifade etmektedir. Böylece, yine tercih dışındaki tüm kriterlerin dikkate alınmış olduğu bu çalışmada Önerilen Yaklaşım (ÖY) ile de uyumlu olacak şekilde bir kurgu oluşturulmuş olmaktadır. Literatürden adapte edilen iki yaklaşımdan birincisinde tüm kriterlerin

dikkate alınması, diğerinde ise tercih dışındaki tüm kriterlerin dikkate alınması nedeniyle, ilgili yaklaşımlar da tercih kriterinin sırasıyla dikkate alındığını ve alınmadığını ifade etmek amacıyla YT+ ve YT- şeklinde gösterilmiştir. Sonuç olarak, bu bölümde (i) tercihle birlikte tüm kriterlerin dikkate alındığı yaklaşım (YT+), tercih dışındaki tüm kriterlerin dikkate alındığı yaklaşım (YT-) ve önerilen yaklaşım (ÖY) olmak üzere üç farklı yaklaşıma ait performans skorları kıyaslanmıştır. Önceki bölümde de belirtildiği gibi önerilen yaklaşım kapsamında tercih kriteri açısından farklı bakış açılarını yansıtmak amacıyla üç farklı grup kararı değerlendirilmiş ve bunlara karşılık gelen performans skorları, önceki bölümde ele alındıkları şekilde, grubun ortalama, iyimser ve kötümser bakış açılarını ifade ettikleri varsayılmıştır. Bir diğer ifadeyle, ilgili grup kararları, grubun tercih düzeyi ortalamasını (ÖY-O), projeyi en üst sırada tercih eden öğrencinin tercih düzeyini (ÖY-İ) ve projeyi en alt sırada tercih eden öğrencinin tercih düzeyini (ÖY-K) dikkate aldığından, tercih kriterinin ilgili performans skorları sırasıyla; ortalama, iyimser ve kötümser bakış açılarına karşılık gelen skorlar olarak ifade edilmekte ve sonuç tablolarında tercih kriteri kısmında ilgili bakış açılarına karşılık gelen üç farklı değer şeklinde ifade edilmektedir. Diğer yaklaşımlardan elde edilen ve ayrıca söz konusu bakış açılarını da yansıtan grup kararları dikkate alınarak hesaplanan performans skorları çalışma kapsamında kullanılan üç farklı veri seti için Tablo 4'te verilmiştir. Tabloda her bir veri seti için optimal çözümlerin elde edildiği çözüm süreleri de saniye cinsinden verilmiş olup bu değerler minimum 41,89, ortalama 51,01 ve maksimum 71,02 saniyedir. Tabloda yer alan performans skorlarının nasıl hesaplandığı aşağıdaki gibi özetlenebilir:

(i) Tercih kriteri için hesaplanan performans skoru Denklem (20) ile verilen ifadede olduğu gibi tercih hedefinden sapmaların ağırlıklandırılmasına dayanarak belirlenmektedir. Bir diğer ifadeyle, ideal durumda her öğrencinin birinci tercihi atanacağı düşünülürse $(p_{ij} - 1)$ ile bu durumdan sapmalar hesaplanmaktadır. Ardından, sapma değerlerinin ağırlıklı ortalamasının birden çıkartılması ile Tercih Performans Skoru (TPS) hesaplanmaktadır. Buradaki p^{max} değeri ise tercih kriteri üst sınırır.

$$TPS = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m (p_{ij} - 1) x_{ij}}{p^{max} n} \quad (20)$$

(ii) Gruptaki öğrenci sayısı kriterinin performans skoru hesaplanırken öncelikle her gruba atanan öğrenci sayısı belirlenmektedir. Ardından bir grupta olması istenen kişi sayısına (N_s) eşit sayıda öğrenciye sahip grup sayısı, toplam grup sayısına (m) bölünmektedir.

Tablo 4. ÖPA Problemi Sonuçları

	Performans Ölçütü	YT+	YT-	ÖY-O/i/K	İyileşme Oranı
Veri Seti-1	Tercih	0,85	0,29	0,62 / 0,95 / 0,36	%-27 / %12 / %-58 : %-24
	Gruptaki Öğrenci Sayısı	0,56	0,80	0,80	%43
	GANO	0,97	0,99	0,99	%2
	Yabancı Dil	1,00	1,00	1,00	%0
	Bilgisayar Programlama	0,88	1,00	1,00	%14
	Genel Ofis Yazılımları	0,88	1,00	1,00	%14
	Veri Tabanı Yönetimi	0,52	0,52	0,52	%0
	Diğer Kriterlerin Ort. Performans Skoru	0,79	0,89	0,89	Ortalama İyileşme Oranı
	Çözüm Süresi (saniye)	41,89	48,20	44,92 / 44,78 / 44,73	%7
Veri Seti-2	Tercih	0,94	0,46	0,57 / 0,98 / 0,48	%-39 / %4 / %-49 : %-28
	Gruptaki Öğrenci Sayısı	0,45	0,91	0,91	%102
	GANO	0,96	0,99	0,99	%3
	Yabancı Dil	0,45	0,55	0,55	%22
	Bilgisayar Programlama	1,00	1,00	1,00	%0
	Genel Ofis Yazılımları	1,00	1,00	1,00	%0
	Veri Tabanı Yönetimi	0,95	1,00	1,00	%5
	Diğer Kriterlerin Ort. Performans Skoru	0,80	0,91	0,91	Ortalama İyileşme Oranı
	Çözüm Süresi (saniye)	41,97	42,30	44,61 / 44,70 / 44,57	%15
Veri Seti-3	Tercih	0,87	0,15	0,42 / 0,94 / 0,15	%-52 / %8 / %-83 : %-42
	Gruptaki Öğrenci Sayısı	0,63	0,96	0,96	%52
	GANO	0,97	0,99	0,99	%2
	Yabancı Dil	0,38	0,46	0,46	%21
	Bilgisayar Programlama	1,00	1,00	1,00	%0
	Genel Ofis Yazılımları	1,00	1,00	1,00	%0
	Veri Tabanı Yönetimi	0,75	0,79	0,79	%5
	Diğer Kriterlerin Ort. Performans Skoru	0,79	0,87	0,87	Ortalama İyileşme Oranı
	Çözüm Süresi (saniye)	43,61	70,17	68,81 / 68,83 / 71,02	%6

(iii) GANO kriterine ait performans skoru hesaplanırken öncelikle her grubun ortalama GANO değerinin bir grupta olması istenen ortalama GANO (G_T) değerinden mutlak değerce sapmaları yüzdesel olarak belirlenmektedir. Ardından, bu sapma değerlerinin ortalamasının birden çıkartılması ile GANO kriterinin tatmin düzeyi hesaplanmaktadır.

(iv) Yabancı dil kriterine ait sapma değeri hesaplanırken her bir gruba atanan öğrenciler arasında en az bir kişinin yabancı dil yeteneğine sahip olup olmadığı kontrol edilmektedir. Ardından, en az bir kişinin ilgili kriteri sağladığı grup sayısı, toplam grup sayısına (m) bölünerek performans skoru hesaplanmaktadır. Diğer kriterler (bilgisayar programlama, genel ofis yazılımları ve veri tabanı yönetimi yetenekleri) için de benzer yaklaşımla performans skoru hesaplanmaktadır.

Özetle, tüm performans skorlarının ilgili kriterine ait hedef değerlerin tatmin edilmesine ilişkin oranı ifade ettiği ve $[0,1]$ arasında değer aldığı söylenebilir. Burada bire yakın değerler ilgili kriterin yüksek oranda karşılandığı anlamına gelmektedir.

Tablolardaki performans skorlarının detaylı olarak incelenmesinden önce, önerilen yaklaşımın üç aşamasında (i) tercih kriteri dikkate alınmadan öğrenci gruplarının oluşturulduğu, (ii) oluşturulan gruplardaki bireysel öğrenci tercihleri kullanılarak grup kararlarının belirlendiği ve (iii) grupların proje tercihlerine ait grup kararları dikkate alınarak grup-proje eşleştirmelerinin gerçekleştirildiğinin tekrarlanması faydalı olacağı düşünülmektedir. Bir diğer ifadeyle, önerilen yaklaşımda grupların oluşturulması sırasında tercih kriteri dikkate alınmamaktadır. Bu açıdan bakıldığında, beklendiği şekilde, ÖY-O sütununda verilen tercih skoruna ait

performans değerlerinin, tercih kriterinin hiç dikkate alınmadığı YT- ve tercih kriterinin de dikkate alınarak grupların oluşturulduğu YT+ arasında yer aldığı görülmektedir. Benzer şekilde, önerilen yaklaşımda tercih kriteri için iyimser bakış açısının değerlendirilmesi durumunda ise yine beklendiği şekilde, iyimser bakış açısına karşılık gelen ÖY-İ sütunundaki tercih kriterine ait performans skorlarının veri seti için en yüksek performans skorlarına karşılık geldiği görülmektedir. Önerilen yaklaşımda, tercih kriteri için kötümser bakış açısının değerlendirilmesi durumunda ise kötümser bakış açısına karşılık gelen ÖY-K sütununda verilen tercih skoruna ait performans değerlerinin beklendiği şekilde, tercih kriterinin hiç dikkate alınmadığı YT- performans skoruna eşit veya YT- performans skoru ve tercih kriterinin de dikkate alınarak grupların oluşturulduğu YT+ performans skoru arasında olduğu görülmektedir. Öte yandan, önerilen yaklaşım ile tercih dışındaki tüm kriterler dikkate alınarak gruplar oluşturulduğundan, yine beklendiği şekilde, diğer kriterler açısından önerilen yaklaşımın performans skorlarının genel olarak YT- yaklaşımıyla paralel olacak şekilde ve YT+ yaklaşımından daha yüksek skorlar üretmesi beklenecektir.

Örneğin Veri Seti-3 için performans skorları incelendiğinde, tercih kriterine açısından ÖY-O sütununda yer alan %42 değerinin, YT- sütununda yer alan %15 ve YT+ sütununda yer alan %87 değerleri arasında yer aldığı ve benzer şekilde, ÖY-İ ve ÖY-K sütunlarında yer alan değerlerin de sırasıyla en yüksek ve en düşük performans skorları olan %94 ve %15 değerlerine karşılık geldiği görülmektedir. Diğer kriterler açısından incelendiğinde ise yine ÖY sütununda yer alan değerlerin YT- sütunundaki değerlerle eşit ve YT+ sütunundaki değerlerden daha yüksek oldukları görülmektedir. Örneğin Veri Seti-3 için diğer kriterlerin ortalama performansı skorunun, ÖY ve YT- için %87 iken, YT+ için ise bu değer 79% olduğu görülmektedir. Veri Seti-3 için gerçekleştirilen bu gözlemlerin genel olarak diğer veri setleri için de geçerli olduğu görülmektedir.

Tablo 4'ün son sütununda ise önerilen yaklaşım ile elde edilen sonuçların (ÖY performansının) literatürde yer alan yaklaşım ile elde edilen sonuçlara (YT+ performansına) kıyasla performans ölçütlerinde meydana getirdiği iyileştirme oranları sunulmuştur. Örneğin, Veri Seti-1 için gruptaki öğrenci sayısı kriterinin performansı 0,56 değerinden 0,80 değerine çıkarak %43 iyileştirme elde edilmiştir. Diğer iyileştirme oranları da benzer şekilde hesaplanmıştır. Tercih kriteri için ortalama, iyimser ve kötümser bakış açılarının ait oranlar ayrı ayrı hesaplanırken ilgili alanda yazan son değer olarak bu üç değer ortalama da sunulmuştur. Her bir veri seti için tüm kriterlerin ortalama iyileştirme oranları hesaplanmış olup bu değerler sırasıyla %7, %15, %6'dır.

5. Tartışma ve Sonuçlar

ÖPA, genel olarak, çeşitli kriterlerin dikkate alınmasıyla öğrenci-proje gruplarının oluşturulmasını ve bu gruplara projelerin atanmasını içeren bir problem olarak tanımlanabilir. Bu çalışmada, problemin çözümü için üç aşamadan oluşan bir yaklaşım önerilmektedir. Literatürde yer alan bir 0-1 tamsayılı-hedef programlama formülasyonundan adapte edilmiş olan matematiksel programlama modeliyle, çalışmanın ilk aşamasında çeşitli kriterler dikkate alınarak öğrenci-proje gruplarının oluşturulması gerçekleştirilmektedir. Sonraki aşamada, grup-proje eşleştirmeleri gerçekleştirilmeden önce, oluşturulan grupların proje tercihleri için grup üyelerinin farklı bakış açılarını yansıtan grup kararları belirlenmektedir. Son olarak, öğrenci-proje gruplarının proje tercihlerine yönelik olarak oluşturulan grup kararları kullanılarak bir 0-1 tamsayılı program ile grup-proje atamaları gerçekleştirilmektedir. Çalışmanın literatüre olan katkısı, önerilen üç aşamalı yaklaşımla, grup kararlarının dikkate alınarak ÖPA probleminin çözülmesi şeklinde özetlenebilir. Önerilen yaklaşım, akademik bir kurumdaki gerçek bir ÖPA problemine uygulanmıştır. Elde edilen sonuçlar, ilgili literatürde bulunan diğer atama yaklaşımlarının sonuçları ile çeşitli performans parametreleri açısından karşılaştırılmıştır.

Yukarıdaki paragrafta da belirtildiği gibi, çalışmanın literatüre olan katkısı, önerilen üç aşamalı yaklaşımla, grup kararlarının dikkate alınarak ÖPA probleminin çözülmesi şeklinde ifade edilebilir. Literatürdeki çalışmalar incelendiğinde, tercih kriterinin genel olarak bireysel öğrenci tercihleri şeklinde ve çoğunlukla grupların oluşturulması sırasında dikkate alındığı görülmektedir. Bir diğer ifadeyle, ÖPA probleminde grupların oluşturulması ve projelere atanması işlemleri birlikte gerçekleştirilirken, öğrencilerin bireysel olarak proje tercihleri de dikkate alınmakta, sonuçta ortaya çıkan öğrenci gruplarının atandıkları projeler için grup kararları bir anlamda dolaylı olarak bu şekilde dikkate alınmış olmaktadır. Bu şekilde uygulanan bir yaklaşımın da doğal olarak ÖPA problemi için geçerli olduğu ve tercih kriterini de dikkate alması nedeniyle başarılı sonuçlar elde edildiği görülmektedir. Bu çalışma kapsamında ise tercih kriteri dikkate alınmadan grupların oluşturulması ve oluşturulan grupların proje tercihleri için grup üyelerinin farklı bakış açılarını yansıtan grup kararları dikkate alınarak grup-proje eşleştirmelerinin gerçekleştirilmesi yaklaşımının değerlendirilmesi amaçlanmıştır. Böyle bir yaklaşımın özellikle grup üyelerinin sıra dışı tercihlerin dikkate alınması açısından anlamlı olabileceği düşünülmektedir. Bu amaçla, grup kararı olarak grupların ortalama tercihlerinin dikkate alınmasına ek olarak, gruptaki en yüksek ve en düşük düzeydeki tercihleri dikkate alan iyimser ve kötümser bakış açıları da çalışma kapsamında ele alınmıştır.

Önerilen yaklaşım, beklendiği şekilde, tercih kriterinde ortalamada bir kötüleşmeye yol açarken, tercih dışındaki diğer kriterler açısından daha iyi sonuçlar üretmektedir. Bununla birlikte, tercih kriterini bireysel öğrenci tercihlerinin ortalaması şeklinde dikkate almak yerine, bu çalışmada önerildiği şekilde, iyimser, kötümser veya buna benzer diğer bakış açılarıyla ele alınması durumunda, farklı değerlendirmeler yapılabileceği görülmektedir.

Gelecek çalışmalarda, önerilen yaklaşım çeşitli açılardan geliştirilebilir. Bunlar arasında, özellikle grup kararı unsurunun öne çıkabileceği kurgulardan birisi de öğrencilerin sadece proje tercihlerinin dikkate alınmasına ek olarak, grup üyeleri olarak birbirilerine olan tercihleri göz önünde bulundurularak grupların oluşturulması şeklinde olabilir. Bu çalışma kapsamında ÖPA probleminde danışman atamaları, danışmanlar için benzer bir grup oluşturma verileri halihazırda mevcut olmadığından dikkate alınmamıştır. Bununla birlikte, gelecek çalışmalar kapsamında, danışman atamaları da problem kapsamına dahil edilebilir. Çalışma kapsamında dikkate alınan ve çalışmanın öne çıkan unsuru olan bireysel tercihlerin dikkate alınarak grup kararının oluşturulması fikri bu çalışmada örnek bazı bakış açıları kullanılarak değerlendirilmiş olup, gelecek çalışmalarda grup kararı oluşturma ve buna yönelik atamalar yapma süreci daha da kapsamlı hale getirilebilir. Çalışma kapsamında birinci ve üçüncü aşamalarda sırasıyla grup oluşturma ve grup-proje eşleştirmeleri için kullanılan matematiksel programlama modelleri daha farklı açılardan geliştirilebileceği gibi özellikle büyük boyutlu problemler için alternatif çözüm yaklaşımları da dikkate alınabilir.

Teşekkür

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

Araştırmacıların Katkısı

Bu çalışmada; Gülveren TABANSIZ, matematiksel programlama modelinin geliştirilmesi, çözümü ve analizi; Aslı SEBATLI SAĞLAM, literatür araştırması ve makale yazımı; Fatih ÇAVDUR, çalışmanın kurgulanması ve makale yazımı konularında katkı sağlamışlardır.

Çıkar Çatışması

Yazarlar tarafından herhangi bir çıkar çatışması beyan edilmemiştir.

Kaynaklar

- Abraham, D.J., Irving, R.W. & Manlove, D.F. (2007). Two algorithms for the student-project allocation problem. *Journal of Discrete Algorithms*, 5(1), 73-90. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jda.2006.03.006>
- Aderanti, F.A., Amosa, R.T. & Oluwatobiloba, A.A. (2016). Development of student project allocation system using matching algorithm. *International Conference of Science, Engineering and Environmental Technology (ICONSEET)*, 1(22), 153-160, Nigeria.
- Agustin-Blas, L.E., Salcedo-Sanz, S., Ortiz-Garcia, E.G., Portilla-Figueras, A. & Perez-Bellido, A.M. (2009). A hybrid grouping genetic algorithm for assigning students to preferred laboratory groups. *Expert Systems with Applications*, 36(3), 7234-7241. doi: <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2008.09.020>
- Alberola, J.M., Val, E.D., Sanchez-Anguix, V. & Julian, V. (2016). A general framework for testing different student team formation strategies. *Methodologies and Intelligent Systems for Technology Enhanced Learning: 6th International Conference*, 23-31, Sevilla, Spain. doi: https://doi.org/10.1007/978-3-319-40165-2_3
- Anwar, A.A. & Bahaj, A.S. (2003). Student project allocation using integer programming. *IEEE Transactions on Education*, 46(3), 359-367. doi: <https://doi.org/10.1109/te.2003.811038>
- Baglarbasi-Mutlu, M., Sebatli, A. & Cavdur, F. (2018). Group decision making for criteria importance determination in student project team formation problems. *NCM Conferences International Conference on New Challenges in Industrial Engineering and Operations Management*, 141, Ankara, Türkiye.
- Banaeian, N., Mobli, H., Fahimnia, B., Nielsen, E. & Omid, M. (2018). Green supplier selection using fuzzy group decision making methods: A case study from the agri-food industry. *Computers and Operations Research*, 89, 337-347. doi: <https://doi.org/10.1016/j.cor.2016.02.015>
- Binong, J. (2021). Solving student project allocation with preference through weights. *International Conference on Frontiers in Computing and Systems*, 423-430, Shillong, India. doi: https://doi.org/10.1007/978-981-15-7834-2_40
- Borges, J., Dias, T.G. & Cunha, J.F.E. (2009). A new group-formation method for student projects. *European Journal of Engineering Education*, 34(6), 573-585. doi: <https://doi.org/10.1080/03043790903202967>

- Calvo-Serrano, R., Guillen-Gosalbez, G., Kohn, S. & Masters, A. (2017). Mathematical programming approach for optimally allocating students' projects to academics in large cohorts. *Education for Chemical Engineers*, 20, 11-21. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ece.2017.06.002>
- Cavdur, F. (2018). Research Data. Erişim adresi: <http://fatihcavdur.home.uludag.edu.tr/data.php>
- Cavdur, F., Sebatli, A., Kose-Kucuk, M. & Rodoplu, C. (2019). A two-phase binary-goal programming-based approach for optimal project-team formation. *Journal of the Operational Research Society*, 70(4), 689-706. doi: <https://doi.org/10.1080/01605682.2018.1457480>
- Chiarandini, M., Fagerberg, R. & Gualandi, S. (2019). Handling preferences in student-project allocation. *Annals of Operations Research*, 275(1), 39-78. doi: <https://doi.org/10.1007/s10479-017-2710-1>
- Chown, A.H., Cook, C.J. & Wilding, N.B. (2018). A simulated annealing approach to the student-project allocation problem. *American Journal of Physics*, 86(9), 701-708. doi: <https://doi.org/10.1119/1.5045331>
- Cooper, F. & Manlove, D. (2018). A 3/2-approximation algorithm for the student-project allocation problem. *17th International Symposium on Experimental Algorithms*, 103, 8:1-8:13, L'Aquila, Italy.
- Cutshall, R., Gavirneni, S. & Schultz, K. (2007). Indiana University's Kelley School of Business uses integer programming to form equitable, cohesive student teams. *Interfaces*, 37(3), 265-276. doi: <https://doi.org/10.1287/inte.1060.0248>
- Çalı, S. & Balaman Ş.Y. (2019). A novel outranking based multi criteria group decision making methodology integrating ELECTRE and VIKOR under intuitionistic fuzzy environment. *Expert Systems with Applications*, 119, 36-50. doi: <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2018.10.039>
- Çavdur, F., Bağlarbaşı-Mutlu, M. ve Sebatlı-Sağlam, A. (2020). Öğrenci-proje takımı oluşturma problemi için bir karar destek sistemi uygulaması. *Bursa Uludağ Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi*, 25(1), 485-500. doi: <https://doi.org/10.17482/uumfd.537826>
- Çavdur, F., Sebatlı, A. & Köse-Küçük, M. (2019). A group-decision making and goal programming-based solution approach for the student-project team formation problem. *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, 34(1), 505-521. doi: <https://doi.org/10.17341/gazimmfd.416511>
- Daş, G.S., Altınkaynak, B., Göçken, T. & Türker, A.K. (2022). A set partitioning based goal programming model for the team formation problem. *International Transactions in Operational Research*, 29(1), 301-322. doi: <https://doi.org/10.1111/itor.13022>
- Dong, Q., Zhou, X. & Martinez, L. (2019). A hybrid group decision making framework for achieving agreed solutions based on stable opinions. *Information Sciences*, 490, 227-243. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ins.2019.03.044>
- Dye, J. (2001). *A constraint logic programming approach to the stable marriage problem and its application to student-project allocation*. (Lisans tezi). University of York, Department of Computer Science, York, UK.
- Fitzpatrick, E., Askin, R. & Goldberg, J. (2001). Using student conative behaviors and technical skills to form effective project teams. *31st Annual Frontiers in Education Conference. Impact on Engineering and Science Education*, 3, S2G, 8-13, Reno, NV, USA. doi: <https://doi.org/10.1109/fie.2001.964039>
- Harper, P.R., de Senna, V., Vieira, I.T. & Shahani, A.K. (2005). A genetic algorithm for the project assignment problem. *Computers and Operations Research*, 32(5), 1255-1265. doi: <https://doi.org/10.1016/j.cor.2003.11.003>
- Hübscher, R. (2010). Assigning students to groups using general and context-specific criteria. *IEEE Transactions on Learning Technologies*, 3(3), 178-189. doi: <https://doi.org/10.1109/tlt.2010.17>
- Ismaili, A., Yamaguchi, T. & Yokoo, M. (2018). Student-project-resource allocation: Complexity of the symmetric case. *PRIMA 2018: Principles and Practice of Multi-Agent Systems*, 226-241, Tokyo, Japan. doi: https://doi.org/10.1007/978-3-030-03098-8_14
- Iwama, K., Miyazaki, S. & Yanagisawa, H. (2012). Improved approximation bounds for the student-project allocation problem with preferences over projects. *Journal of Discrete Algorithms*, 13, 59-66. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jda.2012.02.001>
- Kao, C. & Liu, S.T. (2022). Group decision making in data envelopment analysis: A robot selection application. *European Journal of Operational Research*, 297(2), 592-599. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2021.05.013>

- Kenekayoro, P. & Fawei, B. (2020). Meta-heuristic solutions to a student grouping optimization problem faced in higher education institutions. *Journal of Advances in Mathematics and Computer Science*, 35(7), 61-74. doi: <https://doi.org/10.9734/jamcs/2020/v35i730304>
- Koksalmis, E. & Kabak, Ö. (2019). Deriving decision makers' weights in group decision making: An overview of objective methods. *Information Fusion*, 49, 146-160. doi: <https://doi.org/10.1016/j.inffus.2018.11.009>
- Maashi, M.S., Almanea, G., Alqurashi, R., Alharbi, N., Alharkan, R. & Alsadhan, F. (2020). Solving student-project research assignment problems using a novel greedy linear heuristic algorithm: A case study at King Saud University, Riyadh Saudi Arabia. *Bioscience Biotechnology Research Communications*, 13(3), 1168-1173. doi: <https://doi.org/10.21786/bbrc/13.3/27>
- Manlove, D., Milne, D. & Olaosebikan, S. (2018). An integer programming approach to the student-project allocation problem with preferences over projects. *International Symposium on Combinatorial Optimization*, 313-325, Marrakesh, Morocco. doi: https://doi.org/10.1007/978-3-319-96151-4_27
- Manlove, D., Milne, D. & Olaosebikan, S. (2022). Student-project allocation with preferences over projects: Algorithmic and experimental results. *Discrete Applied Mathematics*, 308, 220-234. doi: <https://doi.org/10.1016/j.dam.2020.08.015>
- Manlove, D.F. & O'Malley, G. (2008). Student-project allocation with preferences over projects. *Journal of Discrete Algorithms*, 6(4), 553-560. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jda.2008.07.003>
- Olaosebikan, S. & Manlove, D. (2020a). Super-stability in the student-project allocation problem with ties. *Journal of Combinatorial Optimization*, 1-37. doi: <https://doi.org/10.1007/s10878-020-00632-x>
- Olaosebikan, S. & Manlove, D. (2020b). An algorithm for strong stability in the student-project allocation problem with ties. *Conference on Algorithms and Discrete Applied Mathematics*, 384-399, Hyderabad, India. doi: https://doi.org/10.1007/978-3-030-39219-2_31
- Pan, L., Chu, S.C., Han, G. & Huang, J. Z. (2009). Multi-criteria student project allocation: A case study of goal programming formulation with DSS implementation. *The Eighth International Symposium on Operations Research and Its Applications (ISORA'09)*, 75-82, Zhangjiajie, China.
- Proll, L.G. (1972). A simple method of assigning projects to students. *Journal of the Operational Research Society*, 23(2), 195-201. doi: <https://doi.org/10.2307/3008267>
- Sahin, Y.G. (2011). A team building model for software engineering courses term projects. *Computers and Education*, 56(3), 916-922. doi: <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2010.11.006>
- Samanlioglu, F., Taskaya, Y.E., Gulen, U.C. & Cokcan, O. (2018). A fuzzy AHP-TOPSIS-based group decision-making approach to IT personnel selection. *International Journal of Fuzzy Systems*, 20(5), 1576-1591. doi: <https://doi.org/10.1007/s40815-018-0474-7>
- Saraç, T. ve Özçelik, F. (2013). Ders proje gruplarının oluşturulması için bir matematiksel model. *Journal of Industrial Engineering (Turkish Chamber of Mechanical Engineers)*, 24(1-2), 2-11.
- Tang, M., Liao, H., Xu, J., Streimikiene, D. & Zheng, X. (2020). Adaptive consensus reaching process with hybrid strategies for large-scale group decision making. *European Journal of Operational Research*, 282(3), 957-971. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2019.10.006>
- Viet, H.H., Van Tan, L. & Cao, S.T. (2020). Finding Maximum Stable Matchings for the Student-Project Allocation Problem with Preferences Over Projects. *FDSE2020: Future Data and Security Engineering. Big Data, Security and Privacy, Smart City and Industry 4.0 Applications, Communications in Computer and Information Science*, 411-422, Quy Nhon, Vietnam. doi: https://doi.org/10.1007/978-981-33-4370-2_29
- Wu, Z., Ahmad, J. & Xu, J. (2016). A group decision making framework based on fuzzy VIKOR approach for machine tool selection with linguistic information. *Applied Soft Computing*, 42, 314-324. doi: <https://doi.org/10.1016/j.asoc.2016.02.007>
- Yahiro, K. & Yokoo, M. (2020). Game theoretic analysis for two-sided matching with resource allocation. *Proceedings of the 19th International Conference on Autonomous Agents and Multi-Agent Systems*, 1548-1556, Auckland, New Zealand.
- Yu, C., Shao, Y., Wang, K. & Zhang, L. (2019). A group decision making sustainable supplier selection approach using extended TOPSIS under interval-valued Pythagorean fuzzy environment. *Expert Systems with Applications*, 121, 1-17. doi: <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2018.12.010>

Zhang, B., Dong, Y. & Herrera-Viedma, E. (2019) Group decision making with heterogeneous preference structures: An automatic mechanism to support consensus reaching. *Group Decision and Negotiation*, 28(3), 585-617. doi: <https://doi.org/10.1007/s10726-018-09609-y>

Zhang, Z., Gao, Y. & Li, Z. (2020). Consensus reaching for social network group decision making by considering leadership and bounded confidence. *Knowledge-Based Systems*, 204, 106240. doi: <https://doi.org/10.1016/j.knosys.2020.106240>