



Analyzing the effects of different problem settings on the satisfaction levels of students and supervisors in the student-supervisor allocation problem

Gülveren Tabansız-Göç^{1*}, Aslı Sebatlı-Sağlam¹, Fatih Çavdur²

¹Department of Industrial Engineering, Architecture and Design, Faculty of Engineering, Mudanya University, 16265, Mudanya, Bursa, Türkiye

²Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering, Bursa Uludağ University, 16240, Nilufer, Bursa, Türkiye

Highlights:

- Considering different problem settings and allocation strategies for the student-supervisor allocation problem
- Analyzing the allocation results in terms of the satisfaction levels for different problem settings
- Implementation by generating datasets of different sizes in order to test the validity of the proposed approach

Keywords:

- Student-Supervisor Allocation problem
- Multi-criteria optimization
- Integer programming
- Goal programming
- Heuristic algorithm

Article Info:

Research Article
Received: 02.02.2024
Accepted: 15.09.2024

DOI:

10.17341/gazimmfd.1430498

Acknowledgement:

We would like to thank TUBITAK for the support provided to Gulveren Tabansız Goc within the scope of the project number 119C152.

Correspondence:

Author: Gülveren Tabansız-Göç
e-mail:
gulveren.tabansizgoc@
mudanya.edu.tr
phone: +90 224 294 2077

Graphical/Tabular Abstract

Appropriate student-supervisor allocations are critical for the effective management of graduate studies as well as the overall success of graduate programs. In this study, as shown in Figure A, three different problem settings are considered for the student-supervisor allocation (SSA) problem where, in addition to taking into account student and supervisor preferences, (i) supervisor capacities are not considered, (ii) individual supervisor demands are considered in terms of their capacities and (iii) average supervisor workload is considered in terms of their capacities. Mathematical programming models and a heuristic algorithm are proposed for the solution of each problem setting. In order to test the validity of the proposed approach, two different datasets, a small- and a large-scale one, are generated. Using these datasets, the proposed mathematical programs and the heuristic algorithm are solved for different weighting strategies of students' and supervisors' preferences. The results of the mathematical programming models and the heuristic algorithm are compared. The SSA results for different problem settings and allocation strategies are analyzed according to performance measures defined in terms of the satisfaction levels of students and supervisors.

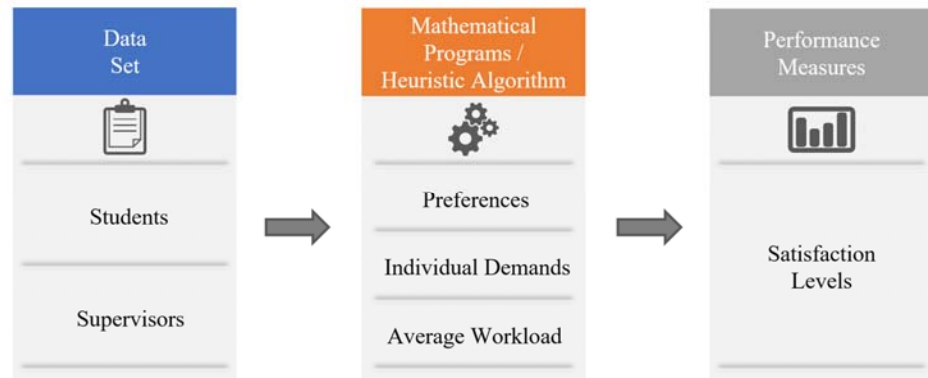


Figure A. Student-Supervisor Allocation Process

Purpose:

In this study, we aim at obtaining solutions for different problem settings of the SSA problem and analyzing the results in terms of the satisfaction levels of students and supervisors.

Theory and Methods:

We propose mathematical programming models and a heuristic algorithm for each setting and analyze the results for different allocation strategies.

Results:

We implement our approach on two different datasets of different sizes. Allocation results are analyzed in terms of performance measures as (i) the average satisfaction level of students and supervisors, (ii) the mean of the average satisfaction levels of students and supervisors and (iv) the difference between average satisfaction levels of students and supervisors.

Conclusion:

It is observed that the results are quite satisfactory. In addition, considering that the allocations are performed using available human resources resulting with long efforts in real-life applications, it is thought that performing this process with mathematical programming will provide great benefits in the planning of educational activities.



Öğrenci-danışman atama problemindeki farklı problem kurgularının öğrenci ve danışman memnuniyet düzeylerine etkisinin incelenmesi

Gülveren Tabansız-Göç^{1*}, Aslı Sebatlı-Sağlam¹, Fatih Çavdur²

¹Mudanya Üniversitesi, Mühendislik, Mimarlık ve Tasarım Fakültesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, 16265, Mudanya, Bursa, Türkiye

²Bursa Uludağ Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, 16240, Nilüfer, Bursa, Türkiye

Ö N E Ç İ K A N L A R

- Öğrenci-Danışman Atama (ÖDA) problemi için farklı problem kurguları ve atama stratejilerinin ele alınması
- Farklı problem kurguları için elde edilen atama sonuçlarının memnuniyet düzeylerine göre analiz edilmesi
- Önerilen yaklaşımın geçerliliğinin sınanması için farklı büyüklüklerde veri kümeleri üretilerek uygulama yapılması

Makale Bilgileri

Araştırma Makalesi

Geliş: 02.02.2024

Kabul: 15.09.2024

DOI:

10.17341/gazimmfd.1430498

Anahtar Kelimeler:

Öğrenci-Danışman Atama problemi,
çok-kriterli optimizasyon,
tamsayılı programlama,
hedef programlama,
sezgisel algoritma

ÖZ

Hem lisansüstü çalışmaların etkili bir şekilde yürütülebilmesi hem de lisansüstü programların genel başarısı için uygun öğrenci-danışman atamalarının yapılması kritik öneme sahiptir. Bu çalışmada, Öğrenci-Danışman Atama (ÖDA) problemi için öğrenci ve danışman tercihlerine ek olarak; (i) danışman kapasitelerinin dikkate alınmadığı (ii) danışman kapasiteleri olarak bireysel danışman taleplerinin ve (iii) danışman kapasiteleri olarak ortalama iş yükünün dikkate alındığı durum olmak üzere üç farklı problem kurgusu ele alınmıştır. Her bir problem kurgusunun çözümünü için matematiksel programlama modelleri ve bir sezgisel algoritma önerilmiştir. Önerilen yaklaşımın geçerliliğinin test edilmesi amacıyla küçük ve büyük ölçekte olmak üzere iki farklı veri kümesi üretilmiştir. Bu veri kümeleri kullanılarak önerilen matematiksel programlar ve sezgisel algoritma, öğrencilerin ve danışmanların tercihlerinin farklı ağırlıklandırma stratejileri için çözülmüştür. Farklı problem kurguları ve atama stratejileri için elde edilen öğrenci-danışman atamaları, öğrencilerin ve danışmanların memnuniyet düzeyleri cinsinden tanımlanan performans ölçütlerine göre analiz edilmiştir. Buna ek olarak, matematiksel programlama modeli ve sezgisel algoritmanın sonuçları kıyaslanmıştır. Bu çalışmanın öne çıkan unsuru, ÖDA problemi için farklı problem kurguları ve atama stratejilerinin ele alınması ve bu durumlar için elde edilen sonuçların, karar vericilerin farklı bakış açılarını yansıtacak şekilde kapsamlı olarak analiz edilmesidir.

Analyzing the effects of different problem settings on the satisfaction levels of students and supervisors in the student-supervisor allocation problem

H I G H L I G H T S

- Considering different problem settings and allocation strategies for the student-supervisor allocation (SSA) problem
- Analyzing the allocation results in terms of the satisfaction levels for different problem settings
- Implementation by generating datasets of different sizes in order to test the validity of the proposed approach

Article Info

Research Article

Received: 02.02.2024

Accepted: 15.09.2024

DOI:

10.17341/gazimmfd.1430498

Keywords:

Student-Supervisor Allocation problem,
multi-criteria optimization,
integer programming,
goal programming,
heuristic algorithm

ABSTRACT

Appropriate student-supervisor allocations are critical for the effective management of graduate studies as well as the overall success of graduate programs. In this study, three different problem settings are considered for the student-supervisor allocation (SSA) problem where, in addition to taking into account student and supervisor preferences, (i) supervisor capacities are not considered, (ii) individual supervisor demands are considered in terms of their capacities and (iii) average supervisor workload is considered in terms of their capacities. Corresponding mathematical programming models and a heuristic algorithm are proposed for the solution of each problem setting. In order to test the validity of the proposed approach, two different datasets, a small- and a large-scale one, are generated. Using these datasets, the proposed mathematical programs and the heuristic algorithm are solved for different weighting strategies of students' and supervisors' preferences. The student-supervisor allocation results for different problem settings and allocation strategies are analyzed according to performance measures defined in terms of the satisfaction levels of students and supervisors. Additionally, the results of the mathematical programming models and the heuristic algorithm are compared. This study highlights the consideration of different problem settings and allocation strategies for the SSA problem, and the comprehensive analysis of the results obtained for these, reflecting the diverse perspectives of decision-makers.

*Sorumlu Yazar/Yazarlar / Corresponding Author/Authors : *gulveren.tabansizgoc@mudanya.edu.tr, aslisebatli.saglam@mudanya.edu.tr, fatihcavdur@uludag.edu.tr / Tel: +90 224 294 2077

1. Giriş (Introduction)

Üniversitelerin lisansüstü programlarındaki öğrencilerin çalışmalarının etkili bir şekilde yürütülebilmesinde öğrenci ile akademik danışman arasındaki uyum kritik öneme sahiptir. Öğrenci-Danışman Atama (ÖDA) problemi, genel olarak, öğrenciler ve danışmanların tercihleri ve diğer bazı kriterler dikkate alınarak öğrenci-danışman atamalarının gerçekleştirilmesi şeklinde tanımlanabilir.

ÖDA süreci literatürde sıklıkla çalışılan öğrenci-proje atama süreciyle benzerlik göstermektedir. Öte yandan, daha çok lisans programlarındaki çeşitli proje derslerinde karşılaşılan öğrenci-proje atama probleminde proje konuları atama sürecinden önce ilan edilirken; ÖDA probleminde, öğrencinin üzerinde çalışacağı tez konusu atama sürecinden sonra belirlenmektedir. Böylelikle öğrenci ve danışmanın çalışma konusunu ve kapsamını araştırmalarına imkân sunulmaktadır. Dolayısıyla, uygun bir öğrenci-danışman eşleşmesinin çalışılacak araştırma konusunun belirlenmesinde de önemli rol oynayacağı söylenebilir. Bunun yanı sıra, çalışma konusunun atama öncesinde belirlenmesi öğrencilerin bilinçli tercihler yapmalarını sağlayabileceği gibi vizyonlarını kısıtlayıcı bir unsur olarak da değerlendirilebilir [1]. Bir diğer ifadeyle, ÖDA sürecinin tarafları tatmin edici bir şekilde tamamlanması, öğrenci ve akademik danışmanın potansiyel çalışma konularını derinlemesine araştırmasına ve böylece daha kaliteli ve bilimsel yanı zengin çalışmaların ortaya çıkmasına olanak sunmaktadır. Öğrenci-danışman atamalarında, iki tarafın da birbirini ilk sırada tercih ettikleri bir atamanın yapılması, en uygun eşleşme olarak kabul edilmektedir. Gerçek hayat uygulamalarında, bu eşleşmeler üçüncü bir kişi tarafından da yapılabilmekte olup en uygun eşleşmelerin elde edilmesi her zaman mümkün olmayabilmektedir. Bunun nedeni bir danışmanın birden fazla öğrenci tarafından tercih edilmesi veya bir öğrencinin birden fazla danışman tarafından tercih edilmesi olabilmektedir. Eşleşmeler yapılırken öğrenci ve danışman memnuniyet düzeylerinin ikisinin de dikkate alınması gerekmektedir. Aksi durumda bir öğrencinin tercih etmediği bir danışmana atanması veya bir danışmanın tercih etmediği bir öğrenciye danışmanlık yapması programın verimli ve etkili bir şekilde devam etmemesine neden olabilmektedir.

ÖDA probleminde ele alınan tercih unsurunun yanı sıra, danışmanların kapasiteleri de göz önünde bulundurulmalıdır. Söz konusu kapasite değerleri ise her zaman eşit olmamaktadır. Danışmanların talep ettikleri kadar öğrenci atamasının sağlandığı durumda danışman ve öğrenci arasında tez üzerine çalışma sürelerinin daha uzun olabileceğinden daha motivasyonu yüksek bir çalışma çıkarılması olanaklıdır. Farklı bir bakış açısı ile değerlendirildiğinde ise danışmanlara farklı sayıda öğrenci atanması eşit iş yükünün sağlanmasını bozmakta ve bu durum adil bir sistemi ortaya koyamamaktadır.

Yukarıdaki tartışmalara bağlı olarak, bu çalışmada oluşturulan problem kurgularıyla, öğrenci ve danışman memnuniyet düzeyleri farklı durumlar için incelenmiştir. Bu çalışmada, ÖDA problemi için öğrenci ve danışman tercihlerine ek olarak; (i) danışman kapasitelerinin dikkate alınmadığı (ii) danışman kapasiteleri açısından bireysel danışman taleplerinin dikkate alındığı ve (iii) danışman kapasiteleri açısından ortalama iş yükünün dikkate alındığı durum olmak üzere üç farklı problem kurgusu ele alınmıştır. Her bir problem kurgusunun çözümü için matematiksel programlama modelleri ve sezgisel algoritma önerilmiştir. Önerilen yaklaşımın geçerliliğinin test edilmesi amacıyla küçük ve büyük ölçekte olmak üzere iki farklı veri kümesi üretilmiştir. Bu veri kümeleri kullanılarak önerilen matematiksel programlar, öğrencilerin ve danışmanların tercihlerinin

farklı ağırlıklandırma stratejileri için çözülmüştür. Farklı problem kurguları ve atama stratejileri için elde edilen öğrenci-danışman atamaları, öğrencilerin ve danışmanların memnuniyet seviyeleri cinsinden tanımlanan performans ölçütlerine göre analiz edilmiştir. Ek olarak, matematiksel programlama modeli ve sezgisel algoritmanın sonuçları kıyaslanmıştır. Bu çalışmanın öne çıkan unsuru, ÖDA problemi için farklı problem kurguları ve atama stratejilerinin ele alınması ve bu durumlar için elde edilen sonuçların, karar vericilerin farklı bakış açılarını yansıttak şekilde kapsamlı analiz edilmesi şeklinde özetlenebilir.

2. Literatür Taraması (Literature Review)

ÖDA problemi ile ilgili literatür incelendiğinde, güncel çalışmaların sayısının oldukça sınırlı olduğu gözlenmiştir. Şimşek [1] tarafından sunulan güncel bir çalışmada, problemin çözümü için çok-amaçlı bir 0-1 tamsayı programlama modeli önerilmiştir. Bu model farklı atama stratejilerini birleştirmekte ve bir dengeleme parametresi ile bu stratejiler arasında geçiş yapılabilmektedir. Buna ek olarak, karar vericiye kullanıcı dostu kullanım sağlayan ve duyarlılık analizi çözümlerini raporlayan bir karar destek sistemi geliştirilmiştir. Bir başka çalışmada, Zakaria ve Zainuddin [2] ÖDA sürecinin verimliliğini ve etkinliğini artırmak için 0-1 tamsayı programlama modeli önermişlerdir. Söz konusu çalışmada, program ve eğitim yeri, tercihler ve danışmanların iş yükü dikkate alınmıştır. Ramotsisi vd. [3] ise öğrencilerin ve danışmanların tercihleri arasındaki uyumsuzluğu minimize etmeyi amaçladıkları çalışmalarında, ÖDA probleminin çözümü için gürbüz bir çözüm yaklaşımı sunmuşlardır. Geliştirilen tamsayı programlama modelinin parametreleri proje koordinatörleri, danışmanlar, bölüm başkanları ve öğrencilerle yapılan anket çalışmaları ve görüşmeler sonucunda belirlenmiştir. Bu parametreler; danışmanların iş yükü, kotaları, araştırma alanları, geçmiş proje danışmanlık deneyimleri ve başarı oranları, akademik dereceleri, tercihleri, proje konusunu başlatan kişi, öğrencilerin tercihleri ve proje koordinatörünün deneyim yılıdır. Mosharraf ve Taghiyareh [4] tarafından genetik algoritma tabanlı bir ÖDA süreci önerilmiştir. Geliştirilen kullanıcı arayüzü gibi çeşitli kaynaklar aracılığıyla öğrenci ve danışmanlardan alınan birtakım veriler doğrultusunda, problemin çözümü için gerekli parametreler elde edilmektedir ve geliştirilen sistem bir gerçek hayat sistemi üzerinde uygulanmıştır. Salami ve Mamman [5] öğrencilerin tercihlerini ve danışmanların kapasitelerini dikkate aldıkları çalışmada, problemin çözümü için genetik algoritmayı kullanmışlardır. Elde edilen sonuçları tamsayı programlama modelinin sonuçlarıyla karşılaştırmışlardır. Sanchez-Anguix vd. [6] tarafından yapılan çalışmada ise problemin çözümü için çok amaçlı ve Pareto'ya yakın optimal bir genetik algoritma önerilmiştir. Söz konusu çalışmada öğrencilerin ve danışmanların tercihlerinin yanı sıra, danışman kontenjanlarının alt ve üst değerleri ile danışmanlar arasındaki iş yükü dengesi de dikkate alınmaktadır. Sanchez-Anguix vd. [7] bir başka çalışmalarında, uygulamada kullanılan farklı ÖDA stratejilerini avantajları ve dezavantajları açısından tartışmışlardır, problemin çözümü için genetik algoritma tabanlı bir çözüm yaklaşımı önermişlerdir. Söz konusu yöntemin uygulanabilirliğini artırmak amacıyla bir elektronik-tablolama yazılımı ortamında bir araç geliştirmişlerdir. Serek ve Zhaparov [8] çalışmalarında, ÖDA sürecinin optimizasyonu için genetik algoritma kullanmışlardır. Söz konusu algoritmada, öğrenci ve danışman arasındaki psikolojik uyum dikkate alınarak öğrenci-danışman eşleşmelerine ilişkin tercih memnuniyeti maksimize edilmektedir. Kawagoe ve Matsubae [9] tarafından sunulan çalışmada, maksimum ve minimum iş yükleri dikkate alınarak bire bir öğrenci-danışman eşleşmeleri yapan algoritmik bir yaklaşım önerilmiştir. Bir gerçek hayat problemi üzerinde uygulama yapılarak önerilen yöntemin geçerliliği sınanmıştır. Serek ve Zhaparov [10] çalışmalarında, ÖDA

probleminin çözümü için k -ortalamalar ve Gale-Shapley bire-çok eşleştirme algoritmalarının karşılaştırmalı bir analizini sunmuşlardır. Söz konusu yöntemler tercih memnuniyeti, iş yükü dengesi, zaman karmaşıklığı, uzay karmaşıklığı, maksimum ve minimum iş yükleri açısından performanslarına göre değerlendirilmiştir. Fan vd. [11] karar ağaçları temelli bir makine öğrenmesi tekniği kullanarak ÖDA sürecini otomatize etmişler ve bir gerçek hayat problemi üzerinde uygulama yapmışlardır. Anghel ve Popescu [12] ÖDA sürecinin otomatikleştirilmesi amacıyla kişilik, danışmanlık tarzı ve çalışma alanları gibi faktörleri dikkate alarak öğrenci-danışman uyumlulukları üzerinden kişiselleştirilmiş öneriler sunan dinamik bir sistem geliştirilmiştir. Ahmed ve ur Rehman [13] tarafından yapılan çalışmada, öğrencilerin araştırma konularına göre en uygun danışmanları bulmak amacıyla danışmanların alanlarına, atf sayılarına ve yayınlarına göre eşleşmeleri sunan bir sistem önerilmiştir.

Doğrudan ÖDA problemini ele alan çalışmaların sınırlı sayıda olmasına karşın, ÖDA problemi literatürde daha sıklıkla çalışılan öğrenci-proje atama problemi ile bazı benzerlikler içermektedir. Burada bahsi geçen öğrenci-proje atama problemi ise öğrencilerin ve öğrencilere akademik danışmanlık yapacak öğretim elemanlarının tercihlerini ve öğrencilerin niteliklerini dikkate alarak projelerin gerektirdiği kriterleri en yüksek düzeyde karşılayacak proje takımlarının oluşturulmasını amaçlayan çok-kriterli bir karar verme problemi. ÖDA problemiyle birtakım benzerlikler içermesi nedeniyle, öğrenci-proje atama problemine yönelik çalışmalar da bu bölümde incelenmiştir. Bu amaçla, öncelikle, ÖDA problemi ile bazı benzerlikler içeren öğrenci-proje atama probleminin, Gale ve Shapley [14] tarafından yapılan çalışmada olduğu gibi bir kararlı-eşleştirme problemi olarak ele alındığı çalışmalardan bahsedilebilir. Benzer kapsamdaki çalışmalara örnek olarak, Dye [15] tarafından yapılan çalışmada, öğrenci-proje eşleştirme probleminin çözümü için kısıt programlama temelli bir çözüm yaklaşımı önerilmiştir. Bir başka çalışmada, Abraham vd. [16] 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 [17] problemin kapsamını genişleterek bir yakınsama algoritması önermişlerdir. Iwama vd. [18] ise alt ve üst sınır değerlerini iyileştirilerek Manlove and O'Malley [17] tarafından önerilen algoritmayı genişletmişlerdir. Cooper ve Manlove [19] tercih listelerinin sıralanmasının gerekmediği ve kararlı eşleşmelerin farklı boyutlarda olabildiği senaryo için doğrusal-zamanlı yakınsama algoritması önermişlerdir. Manlove vd. [20] problemin optimal çözümü için tamsayı programlama modeli önererek geçmiş çalışmalardaki yakınsama algoritmalarının performansını bu modelin performansı ile karşılaştırmışlardır. Olaosebikan ve Manlove [21] ise geliştirdikleri polinom-zamanlı algoritma ile süper-kararlı eşleşmelerin bulunmasını amaçlamışlardır. Olaosebikan ve Manlove [22] tarafından sunulan bir başka çalışmada, güçlü-kararlı eşleşmelerin elde edilebilmesi için polinom-zamanlı bir algoritma önerilmiştir. Manlove vd. [23] çalışmalarında, farklı karmaşıklığındaki örneklerde maksimum boyutta kararlı eşleşmeleri bulmak için yaptıkları algoritmik ve deneysel çalışmaların sonuçlarını sunmuşlardır. Viet vd. [24] tercih bazlı öğrenci-proje atama problemi için maksimum zayıf-kararlı eşleşmelerin bulunması amacıyla bir algoritma önermişlerdir. Ismaili vd. [25] 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 [26] öğrencilerin projeleri ve projelerin de öğrencileri tercih ettikleri öğrenci-proje-kaynak eşleştirme-atama probleminin çözümü için oyun teorisi temelli bir yaklaşım

geliştirmişlerdir. Aderanti vd. [27] tarafından yapılan çalışmada ise öğrenci-proje atama probleminin çözümü için arka planda bir eşleştirme algoritmasının kullanıldığı web-tabanlı bir sistem geliştirilmiştir.

Yukarıda da belirtildiği gibi ÖDA problemi ile bazı açılardan benzerlik gösteren öğrenci-proje atama çalışmalarında, matematiksel programlama temelli çözüm yaklaşımlarının da sıklıkla kullanıldığı görülmektedir. Bu alanda bilinen ilk çalışma olan ve Proll [28] tarafından sunulan çalışmada öğrenci tercihlerinin dikkate alındığı bir atama modeli önerilmiştir. Bir başka çalışmada, Anwar ve Bahaj [29] öğrenci-proje atama probleminin çözümü için bireysel ve grup proje atamalarının gerçekleştirildiği farklı bakış açılarından yansıtıldığı iki farklı tamsayı 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. Calvo-Serrano vd. [30] ise önerdikleri karışık-tamsayı programlama yaklaşımıyla, sadece proje tercihlerini değil çalışma alanlarını da dikkate alarak öğrenci memnuniyetini arttırmayı amaçlamışlardır. Pan vd. [31] öğrenci ve öğretim elemanı tercihlerinin yanı sıra atanan proje sayısının da optimize edilmesi amacıyla problemin çözümü için bir hedef programlama modeli önermişlerdir. Cavdur vd. [32] tarafından sunulan çalışmada ise öğrenci ve öğretim elemanı tercihlerine ek olarak, birtakım proje kriterleri ve bu kriterleri karşılayan öğrenci nitelikleri ile kapasite kısıtları da dikkate alınarak bir hedef programlama modeli ile problemin çözümü gerçekleştirilmiştir. Bir başka çalışmada, Cavdur vd. [33] öğrenci-proje atama probleminde dikkate alınan bu kriterlerin ağırlıklarının belirlenmesi amacıyla AHP ve doğrusal olmayan programlama temelli hibrit bir grup karar verme yaklaşımı kullanmışlardır. Benzer bir çalışmada, Bağlarbasi-Mutlu vd. [34] tarafından, AHP ile belirlenen bireysel kararların grup kararına dönüştürülmesinde aritmetik, geometrik, harmonik ve kuadratik ortalama yaklaşımları kullanılmış ve elde edilen sonuçlar analiz edilmiştir. Daş vd. [35] 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 önermişler. Aday grupların belirlenmesinde ise bireyler arası sosyal ilişkilerin ifade eden ağırlık dikkate alınmıştır. Chiarandini vd. [36] tarafından yapılan çalışmada ise literatürdeki diğer çalışmalardan farklı olarak adalet ve kolektif memnuniyet kavramlarının üzerinde durulmuştur. Öğrenci-proje atama problemi karışık-tamsayı programlama formülasyonu olarak ifade edilmiş ve farklı bakış açıları ifade eden modeller analiz edilmiştir. Literatürde birçok araştırmacı tarafından, grup içi çeşitliliğin artırılmasının ve gruplar arası farklılıkların azaltılmasının grup üyelerinin motivasyonunu önem açıdan etkileyeceği vurgulanmaktadır. Cutshall vd. [37] grup üyelerinin akademik performansında eşitliğin sağlanması, grup içerisinde çeşitliliğin artırılması ve demografik açıdan dengeye ulaşılması amacıyla tamsayı programlama temelli bir yaklaşım önermişlerdir.

Öğrenci-proje atama probleminin çözümü için literatürdeki diğer çözüm yaklaşımları incelendiğinde, çeşitli sezgisel yöntemlerin de kullanıldığı görülmektedir. Fitzpatrick vd. [38] önerdikleri matematiksel programlama ve sezgisel tabanlı hibrit yaklaşımda, öğrencilerin teknik nitelikleriyle birlikte içgüdüsel eğilimlerini de dikkate almak için Kolbe-indeksini kullanmışlardır. Maashi vd. [39] tarafından yapılan çalışmada önceden belirlenen öğrenci gruplarının, ağırlıklı doğrusal bir algoritma ile kapasite kısıtları ve grup tercihleri dikkate alınarak projelere atanmaları sağlanmaktadır. Binong [40] daha iyi akademik performansa sahip öğrencileri motive etmek amacıyla, bu öğrencilerin tercihlerine daha yüksek öncelik vererek sezgisel bir algoritma ile proje atamalarını gerçekleştirmektedir. Harper vd. [41] öğrenci tercihlerini ve danışman iş yükünü dikkate

aldıkları çalışmalarında, öğrenciler tarafından daha fazla tercih edilen popüler projelerin hangi öğrencilere atanacaklarını belirlemek amacıyla genetik algoritmayı kullanmışlardır. Agustin-Blas vd. [42] öğrenci laboratuvar gruplarının oluşturulması için hibrit genetik algoritma önermişlerdir. Burada, öğrenci ve öğretim elemanı tercihlerinin yanı sıra laboratuvar kapasitesi de dikkate alınmaktadır. Hübscher [43] 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. Chown vd. [44] ise öğrenci tercihlerinin yanı sıra danışman iş yükünün de dikkate alındığı bir problem kurgusu için tavlama benzetimi yaklaşımını kullanmışlardır. Kenekayoro ve Fawei [45] sıralama temelli sezgisel yaklaşım, genetik algoritma ve karınca kolonisi optimizasyonu olmak üzere farklı yöntemler kullanarak elde edilen atama sonuçlarını analiz etmişlerdir. Sahin [46] 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. Alberola vd. [47] tarafından yapılan çalışmada öncelikle içerdiği farklı grup oluşturma stratejileri ile karar vericilere test imkânı sunan, sonrasında yapay zekâ yöntemleri kullanılarak grupların oluşturulmasını sağlayan genel bir çerçeve sunulmuştur.

Bu çalışmanın öne çıkan unsuru, ÖDA problemi için farklı problem kurguları ve atama stratejilerinin ele alınması ve bu durumlar için elde edilen sonuçların karşılaştırılarak karar vericiler için farklı bakış açılarını yansıtan kapsamlı analizler yapılmasına olanak veren bir çerçeve oluşturulması şeklinde özetlenebilir. ÖDA problemi ile ilgili güncel literatürdeki çalışmaların sayısının oldukça sınırlı olmasının yanında, bu çalışma kapsamında ele alınan problem kurgularının ilgili literatürde ulaşılabilen mevcut çalışmalarda yer almadığı görülmektedir. İzleyen bölümde detaylandırıldığı gibi bu kurgular arasında, danışman kapasitelerinin dikkate alınmadığı duruma ek olarak, danışman kapasitelerinin, yani danışmanlara atanacak olan öğrenci sayılarının, danışmanların bireysel olarak talep ettikleri öğrenci sayısına eşit olacak şekilde belirlenmesi veya söz konusu taleplerin ortalaması olarak dikkate alınması da yer almaktadır. Çalışma kapsamında oluşturulan söz konusu kurgular karar verme yaklaşımı olarak önemli farklılıklar içermekle birlikte, çeşitli nedenlerle ilgili karar vericilerin bakış açılarına bağlı olarak bahsi geçen kurguların farklı akademik kurumlardaki gerçek hayat problemlerinde karşılıkları olduğu gözlemlenmekte ve çalışma kapsamında önerilen yaklaşımın ilgili literatüre bu açıdan önemli katkı sağlama potansiyeli olduğu düşünülmektedir. Buna ek olarak, gerçek hayat uygulamalarında ÖDA sürecinin genel olarak insanlar tarafından uzun süren uğraşlar sonucunda gerçekleştirildiği göz önünde bulundurulduğunda, söz konusu sürecin önerilen matematiksel programlar veya sezgisel algoritma kullanılarak gerçekleştirilmesinin eğitim faaliyetlerinin planlanmasına da büyük fayda sağlayacağı düşünülmektedir.

3. Metodoloji (Methodology)

Bu çalışmada, ÖDA problemi için öğrenci ve danışman tercihlerine ek olarak, öncelikle danışman kapasitelerinin dikkate alınmadığı ve danışman kapasitelerinin dikkate alındığı iki farklı kurgu incelenmiştir. Buna ek olarak, danışman kapasitelerinin dikkate alındığı kurgu ise danışmanlara talep ettikleri sayıda öğrenci atanmasının amaçlandığı (bireysel danışman taleplerinin dikkate alındığı) ve her danışmana eşit sayıda öğrenci atanmasının amaçlandığı (ortalama iş yükünün dikkate alındığı) olmak üzere kendi içinde yine iki farklı kurgu şeklinde ele alınmıştır. Sonuç olarak, öğrenci ve danışman tercihlerine ek olarak; (i) danışman kapasitelerinin dikkate alınmadığı (ii) danışman kapasiteleri olarak bireysel danışman taleplerinin ve (iii) danışman kapasiteleri olarak ortalama iş yükünün dikkate alındığı duruma karşılık gelen üç farklı

problem kurgusu için önerilen matematiksel programlama modellerinin detayları ilk bölümde ve önerilen sezgisel algoritma ikinci bölümde sunulmuştur.

3.1. ÖDA için Matematiksel Programlar (Mathematical Programs for SSA)

3.1.1. Danışman kapasiteleri dikkate alınmaması (Inconsideration of supervisor capacities)

ÖDA probleminde danışman kapasitesinin dikkate alınmadığı durumda, öğrenci danışman ataması gerçekleştirilirken sadece öğrenci ve danışman tercihleri dikkate alınmıştır. Bu durumda sadece öğrenci ve danışman tercihlerinin dikkate alınması, öğrencilerin ve danışmanların daha çok tercih ettikleri eşleşmelerinin yapılmasına olanak sağlamaktadır. ÖDA probleminde, öğrencilerin ilk sırada tercih ettikleri danışmanlara, danışmanların ise ilk sırada tercih ettikleri öğrencilere atanması son derece önemlidir. Öğrencilerin ve danışmanların birbiri ile birinci tercihte eşleşme durumu büyük bir motivasyon kaynağı olmaktadır. Bu durum ortaya çıkarılan çalışmaların daha kaliteli ve bilimsel yanı zengin çalışmalar olmasını sağlayabilmektedir. Aşağıda bu amaçla oluşturulan 0-1 tamsayılı programlama modelinin bileşenleri verilmiştir.

İndisler:

- i : Öğrenci indisi, $i = 1, \dots, m$
 j : Danışman indisi, $j = 1, \dots, n$
 k : Alan indisi, $k = 1, \dots, r$

Parametreler:

- $p_{ij}^{(s)}$: i . öğrencinin j . danışmanı tercih etme sırası
 $p_{ij}^{(a)}$: j . danışmanın i . öğrenciyi tercih etme sırası
 $t_{ik}^{(s)}$: i . öğrencinin k . alan bilgisi
 $t_{jk}^{(a)}$: j . danışmanın k . alan bilgisi
 C_j^c : j . danışmanın mevcut kapasitesi
 C_{max} : Danışmanların maksimum kapasitesi
 γ : Ölçek faktörü, $\gamma \in [0, 1]$

Değişkenler:

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

Amaç fonksiyonu:

$$\min z^1 = \gamma \left(\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n p_{ij}^{(s)} x_{ij} \right) + (1 - \gamma) \left(\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n p_{ij}^{(a)} x_{ij} \right) \quad (1)$$

Kısıtlar:

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

$$x_{ij} \leq \sum_{k=1}^r t_{ik}^{(s)} t_{jk}^{(a)}, \forall i, j \quad (3)$$

$$\sum_{i=1}^m x_{ij} \leq C_{max} - C_j^c, \forall j \quad (4)$$

$$x_{ij} \in \{0, 1\}, \forall i, j \quad (5)$$

Eş. 1 ile öğrencilerin ve danışmanların tercih sıraları minimize edilmektedir. Bir diğer ifadeyle, öğrencilerin (danışmanların) ilk

sıralarda tercih ettikleri danışmana (öğrenciye) atanmaları hedeflenmektedir. Eş. 2 ile her öğrencinin mutlaka bir danışmana atanması sağlanmaktadır. Eş. 3 ile öğrenci ile danışmanın en az bir ortak çalışma alanı varsa birbirlerine atanmaları gerçekleştirilmektedir. Eş. 4 ile her bir danışmana atanan öğrenci sayısının önceden belirlenen üst sınırı geçmemesi sağlanmaktadır. Bu kurguda danışman kapasiteleri dikkate alınmamakla birlikte, gerçek hayat uygulamalarındaki kurallara (Yükseköğretim Kurulu Lisansüstü Eğitim ve Öğretim Yönetmeliği'ne) aykırı bir durum oluşmaması için ilgili kısıt ele alınmaktadır. Eş. 5 ise genel işaret kısıtlarını ifade etmektedir.

3.1.2. Danışman kapasiteleri olarak bireysel danışman taleplerinin dikkate alınması (Considering Individual Supervisor Demands As Supervisor Capacities)

Danışmanların talep ettikleri kapasitelere göre öğrenci atamasının yapılarak iş yükü dengesinin amaçlandığı bu durumda, öğrenci ve danışman tercihlerine ek olarak danışman kapasitesi için bireysel danışman talepleri (C_j^d) dikkate alınmıştır. Danışmanlara talep ettikleri kadar öğrenci atamasının yapılması, danışmanların iş yüklerini kendilerinin belirleyebilmesini sağlamaktadır. Ayrıca, danışmanlara talep ettikleri kadar öğrenci atanması danışmanlık yaptıkları öğrencilerle daha fazla ilgilenmelerine yardımcı olacak, bu durum da motivasyonu daha yüksek bir çalışma çıkmasına katkı sağlayacaktır.

Bireysel danışman taleplerinin dikkate alındığı bu durumda, iki amaç fonksiyonu bileşeni bulunmaktadır. Birinci amaç fonksiyonu bileşeninde, danışmanlara talep ettikleri kadar öğrenci atanması hedeflenirken aynı zamanda iş yükünün dengelenmesi de amaçlanmaktadır. İkinci bileşende ise öğrencilerin ve danışmanların tercihlerinin minimize edilmesi amaçlanmaktadır. Birinci amaç fonksiyonu bileşeninde yer alan sapma değişkenleri, danışmanlara atanan öğrenci sayısının C_j^d değerinden ne kadar saptığını göstermektedir. İkinci bileşende tercihlerin minimize edilmesiyle ise öğrencilerin ve danışmanların ilk sıradaki tercihlerine atanmaları amaçlanmaktadır. Öğrenci ve danışman tercihleri ile bireysel danışman taleplerinin dikkate alındığı bu durum için oluşturulan karışık-tamsayılı-hedef programlama modelinin bileşenleri aşağıda verilmiştir.

İndisler:

- i : Öğrenci indisi, $i = 1, \dots, m$
 j : Danışman indisi, $j = 1, \dots, n$
 k : Alan indisi, $k = 1, \dots, r$

Parametreler:

- $p_{ij}^{(s)}$: i . öğrencinin j . danışmanı tercih etme sırası
 $p_{ij}^{(a)}$: j . danışmanın i . öğrenciyi tercih etme sırası
 $t_{ik}^{(s)}$: i . öğrencinin k . alan bilgisi
 $t_{jk}^{(a)}$: j . danışmanın k . alan bilgisi
 C_j^c : j . danışmanın mevcut kapasitesi
 C_j^d : j . danışmanın talebi
 C_{max} : Danışmanların maksimum kapasitesi
 α : Talep karşılama oranı ($m / \sum_{j=1}^n C_j^d$)
 γ : Ölçek faktörü, $\gamma \in [0, 1]$

Değişkenler:

- x_{ij} : $\begin{cases} 1, & i. \text{ öğrenci } j. \text{ danışmana atanıyorsa} \\ 0, & \text{aksi durumda} \end{cases}$
 d_j^\pm : j . danışmanın talebine ait sapma değişkenleri

Amaç fonksiyonu:

$$\min z_1^2 = \left(\sum_{j=1}^n d_j^- + d_j^+ \right) \quad (6)$$

$$\min z_2^2 = \gamma \left(\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n p_{ij}^{(s)} x_{ij} \right) + (1 - \gamma) \left(\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n p_{ij}^{(a)} x_{ij} \right) \quad (7)$$

Kısıtlar:

$$\sum_{j=1}^n x_{ij} = 1, \forall i \quad (8)$$

$$x_{ij} \leq \sum_{k=1}^r t_{ik}^{(s)} t_{jk}^{(a)}, \forall i, j \quad (9)$$

$$\sum_{i=1}^m x_{ij} \leq C_{max} - C_j^c, \forall j \quad (10)$$

$$\sum_{i=1}^m x_{ij} + d_j^- - d_j^+ = \alpha C_j^d, \forall j \quad (11)$$

$$[\alpha C_j^d - 1] \leq \sum_{i=1}^m x_{ij} \leq [\alpha C_j^d + 1], \forall j \quad (12)$$

$$x_{ij} \in \{0, 1\}, \forall i, j \quad (13)$$

$$d_j^\pm \geq 0, \forall j \quad (14)$$

Eş. 6 ile danışmanların iş yükü dengelenmesi amaçlanmaktadır. Buradaki sapma değişkenleri, danışmanlara atanan öğrenci sayısının bireysel danışman talebi değerinden ne kadar saptığını göstermektedir. Eş. 7 ile öğrencilerin ve danışmanların tercih sıraları minimize edilmektedir. Bir diğer ifadeyle, öğrencilerin (danışmanların) ilk sıralarda tercih ettikleri danışmana (öğrenciye) atanmaları hedeflenmektedir. Eş. 8 ile her öğrencinin mutlaka bir danışmana atanması sağlanmaktadır. Eş. 9 ile öğrenci ile danışmanın en az bir ortak çalışma alanı varsa birbirlerine atanmaları gerçekleştirilmektedir. Eş. 10 ile her bir danışmana atanan öğrenci sayısının önceden belirlenen üst sınırı geçmemesi sağlanmaktadır. Eş. 11 ile her danışmana talep ettiği kadar öğrenci atanması hedeflenirken Eş. 12 ile bu sayının danışman talebini makul bir sayıda aşması sağlanmaktadır. Bir diğer ifadeyle, bireysel danışman taleplerinden sapmalar alt ve üst sınırlarla dengelenmektedir. Bu sınır değerleri, gerçek hayat uygulamalarında olursuz (infeasible) çözümlere karşılık gelen durumları engellemek için dikkate alınmaktadır. Buradaki talep karşılama oranı (α) kullanılarak, danışmanların toplam talebinin öğrenci sayısından fazla olması durumunda, tüm danışman talepleri ilgili oranda azaltılmaktadır. Benzer şekilde, danışmanların toplam talebinin öğrenci sayısından az olması durumunda ise danışman talepleri ilgili oranda artırılmaktadır. Böylelikle, toplam danışman talebi ile öğrenci sayısı arasında denge kurulmaktadır. Eş. 13 ve Eş. 14 ise genel işaret kısıtlarını ifade etmektedir.

3.1.3. Danışman kapasiteleri olarak ortalama iş yükünün dikkate alınması

(Consideration of average workload as supervisor capacities)

Danışmanlar arasında eşit iş yükünün dikkate alındığı bu durumda, öğrenci ve danışman tercihlerine ek olarak danışman kapasitesi için ortalama iş yükü (C_{avg}) ele alınmıştır. Danışmanlara eşit kapasitede öğrenci atanması yapılması danışmanların arasındaki iş yükünü eşitlemekte ve daha adil bir sistem ortaya koymayı amaçlamaktadır. Bu durumda, eşit iş yükü ile ifade edilen değer, danışmanlara atanan öğrenci sayısının, öğrenci sayısının danışman sayısına oranına karşılık gelen C_{avg} değerine eşittir ($C_{avg} = m/n$). Danışmanlara eşit iş yükünün verilmesinin amaçlandığı bu durumda iki amaç fonksiyonu bileşeni bulunmaktadır. Birinci amaç fonksiyonu bileşeninde, eşit sayıda öğrenci atanması hedeflenirken ikinci bileşende ise öğrencilerin ve danışmanların tercihlerinin minimize

edilmesi amaçlanmaktadır. Birinci amaç fonksiyonu bileşeninde yer alan sapma değişkenleri, danışmanlara atanan öğrenci sayısının C_{avg} değerinden ne kadar saptığını göstermektedir. İkinci bileşende tercihlerin minimize edilmesiyle ise öğrencilerin ve danışmanların ilk sıradaki tercihlerine atanmaları amaçlanmaktadır. Öğrencilerin ve danışmanların tercihlerinin dikkate alındığı ve danışmanlara eşit sayıda öğrenci atanmasının amaçlandığı bu durum için oluşturulan karışık tamsayılı-hedef programlama modelinin bileşenleri aşağıda verilmiştir.

İndisler:

i : Öğrenci indisi, $i = 1, \dots, m$
 j : Danışman indisi, $j = 1, \dots, n$
 k : Alan indisi, $k = 1, \dots, r$

Parametreler:

$p_{ij}^{(s)}$: i . öğrencinin j . danışmanı tercih etme sırası
 $p_{ij}^{(a)}$: j . danışmanın i . öğrenciyi tercih etme sırası
 $t_{ik}^{(s)}$: i . öğrencinin k . alan bilgisi
 $t_{jk}^{(a)}$: j . danışmanın k . alan bilgisi
 C_j^c : j . danışmanın mevcut kapasitesi
 C_{avg} : Ortalama danışman iş yükü
 C_{max} : Danışmanların maksimum kapasitesi
 γ : Ölçek faktörü, $\gamma \in [0, 1]$

Değişkenler:

$x_{ij} \begin{cases} 1, & i. \text{ öğrenci } j. \text{ danışmana atanıyorsa} \\ 0, & \text{aksi durumda} \end{cases}$
 d_j^\pm : ortalama danışman iş yüküne ait sapma değişkenleri

Amaç fonksiyonu:

$$\min z_1^3 = \left(\sum_{j=1}^n d_j^- + d_j^+ \right) \quad (15)$$

$$\min z_2^3 = \gamma \left(\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n p_{ij}^{(s)} x_{ij} \right) + (1 - \gamma) \left(\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n p_{ij}^{(a)} x_{ij} \right) \quad (16)$$

Kısıtlar:

$$\sum_{j=1}^n x_{ij} = 1, \forall i \quad (17)$$

$$x_{ij} \leq \sum_{k=1}^r t_{ik}^{(s)} t_{jk}^{(a)}, \forall i, j \quad (18)$$

$$\sum_{i=1}^m x_{ij} \leq C_{max} - C_j^c, \forall j \quad (19)$$

$$\sum_{i=1}^m x_{ij} + d_j^- - d_j^+ = C_{avg}, \forall j \quad (20)$$

$$[C_{avg} - 1] \leq \sum_{i=1}^m x_{ij} \leq [C_{avg} + 1], \forall j \quad (21)$$

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

$$d_j^\pm \geq 0, \forall j \quad (23)$$

Eş. 15 ile danışmanların iş yükü dengelenmesi hedeflenmektedir. Buradaki sapma değişkenleri, danışmanlara atanan öğrenci sayısının ortalama danışman iş yükü değerinden ne kadar saptığını göstermektedir. Eş. 16 ile öğrencilerin ve danışmanların tercih sıraları minimize edilmektedir. Bir diğer ifadeyle, öğrencilerin

(danışmanların) ilk sıralarda tercih ettikleri danışmana (öğrenciye) atanmaları hedeflenmektedir. Eş. 17 ile her öğrencinin mutlaka bir danışmana atanması sağlanmaktadır. Eş. 18 ile öğrenci ile danışmanın en az bir ortak çalışma alanı varsa birbirlerine atanmaları gerçekleştirilmektedir. Eş. 19 ile her bir danışmana atanan öğrenci sayısının önceden belirlenen üst sınırı geçmemesi sağlanmaktadır. Eş. 20 ile her danışmana eşit sayıda öğrenci atanması hedeflenirken Eş. 21 ile bu sayının ortalama danışman iş yükünü makul bir sayıda aşması sağlanmaktadır. Bir diğer ifadeyle, ortalama danışman iş yükünden sapsalar alt ve üst sınırlarla dengelenmektedir. Bu sınır değerleri, gerçek hayat uygulamalarında olursuz (infeasible) çözümlere karşılık gelen durumları engellemek için dikkate alınmaktadır. Eş. 22 ve Eş. 23 ise genel işaret kısıtlarını ifade etmektedir.

3.2. ÖDA Algoritması (SAA Algorithm)

Öğrenci ve danışman tercihlerine ek olarak; (i) danışman kapasitelerinin dikkate alınmadığı, (ii) danışman kapasiteleri olarak bireysel danışman taleplerinin dikkate alındığı ve (iii) danışman kapasiteleri olarak ortalama iş yükünün dikkate alındığı duruma karşılık gelen üç farklı problem kurgusu için de uyarlanabilecek şekilde kurgulanmış olan algoritmanın sözde kodu Şekil 1'de verilmiştir. Algoritmada birinci satırda, öğrenci ve danışman tercih matrisleri çarpılarak öğrenci ve danışmanın birleşik tercih matrisi elde edilir. Bu matristeki daha düşük değerler ilgili öğrenci ve danışmanların birbirlerini diğerlerine göre daha fazla tercih ettiğini göstermektedir. İkinci adımda, öğrenci ve danışman alan matrisi çarpılarak, öğrenci ve danışmanın ortak alanlarının olup olmadığı belirlenmektedir. Üçüncü ve yedinci satırlar arasındaki kodlarla, öğrenci-danışman atamalarının sadece bir veya daha fazla sayıda ortak çalışma alanları olması durumunda yapılması sağlanmaktadır. İlerleyen adımlarda ise tercih açısından öncelikli durumda olan ve çalışma alanları eşleşen öğrenci-danışman atamalarının gerekli uygunluk koşulları (alt ve üst sınırlar) altında gerçekleştirilmesi söz konusudur. Satır 14'te görüldüğü gibi üst sınırın aşılması durumunda, ilgili danışmana bir daha atama yapılamayacak şekilde matris güncellenir, aksi durumda ise ilgili öğrenci-danışman ataması yapılarak döngü tekrar edilir. Algoritma tüm atamalar tamamlanuncaya kadar sürdürülmektedir (Satır 10). Şekilde görülen algoritma, danışman kapasiteleri olarak bireysel danışman taleplerinin alındığı durumu göstermesine rağmen diğer iki kurgu için de uyarlanarak esnek bir şekilde kullanılabilir. Örneğin, danışman kapasitelerinin dikkate alınmadığı durumda, ilgili kontrollerin gerçekleştirildiği satırlar göz ardı edilerek veya danışman kapasiteleri olarak ortalama iş yükünün dikkate alındığı durumda ise C_j^c değerinin C_{avg} ile değiştirilerek kullanılmasıyla önerilen algoritma söz konusu problem kurguları için de kullanılabilir.

4. Sonuçlar ve Tartışmalar (Results and Discussions)

Bu çalışmada, ÖDA problemi için küçük ve büyük ölçekli olmak üzere farklı boyutlarda iki veri kümesi üretilerek önceki bölümde detayları sunulan farklı problem kurguları için uygulama yapılmış ve önerilen yaklaşımın geçerliliği ortaya konmuştur. Küçük-ölçekli veri kümesi (VK1), 10 öğrenci ve 5 danışmandan oluşmaktadır. Öğrencilerin danışmanları tercih etme sıraları 1-5 arasında rastgele olarak üretilmiş, benzer şekilde danışmanların öğrencileri tercih etme sıraları da 1-5 arasında rastgele üretilerek danışmanların tercih etmediği öğrenciler için tercih sırası olarak altı değeri dikkate alınmıştır. Bir diğer ifadeyle, n tane tercih yapan bir öğrencinin (danışmanın) tercih etmediği diğer danışmanları (öğrencileri) ($n + 1$). sırada tercih ettiği varsayılmaktadır. Altı adet uzmanlık alanı ele alınmış olup öğrencilerin ve danışmanların tüm alanlarda çalışmaya uygun olduğu dikkate alınmıştır. Danışmanların mevcut kapasiteleri sıfır olarak ele alınmış, talepleri ise 1-5 aralığında rastgele üretilmiştir.

```

1:  $p_{ij}^{(sa)} \leftarrow p_{ij}^{(s)} p_{ij}^{(a)T}$  // öğrenci-danışman birleşik tercih matrisi
2:  $t_{ij}^{(sa)} \leftarrow t_{ik}^{(s)} t_{jk}^{(a)T}$  // öğrenci-danışman birleşik alan-bilgisi matrisi
3: if  $t_{ij}^{(sa)} > 1$ :
4:      $t_{ij}^{(sa)} \leftarrow 1$ 
5: else:
6:      $t_{ij}^{(sa)} \leftarrow \infty$ 
7:  $sa_{ij} \leftarrow p_{ij}^{(sa)} t_{ij}^{(sa)}$  // öğrenci ve danışman birleşik tercih ve alan-bilgisi matrisi
8:  $u \leftarrow m$  // atanmayan öğrenci sayısı
9:  $v \leftarrow \sum_j C_j^{min}$  // alt sınır için danışman eksik öğrenci sayısı
10: while  $sa_{ij} = \infty$ :
11:      $u$  değerini güncelle
12:      $v$  değerini güncelle
13:      $(S, A) = \text{argmin}(sa_{ij})$ 
14:     if  $(C_{j=A}^c + 1 > C_{max}, C_{j=A}^d) \vee (u < v \wedge C_{j=A}^{min} - C_{j=A}^n < 0)$ :
15:          $sa_{i(j=A)} = \infty$ 
16:     else:
17:          $sa_{(i=S),j} = \infty$ 
18:          $C_{j=A}^c, C_{j=A}^n = +1$ 

```

Şekil 1. ÖDA algoritması sözde kodu (SSA algorithm pseudocode)

Danışmanların maksimum kapasite (C_{max}) değeri ise Yükseköğretim Kurulu Lisansüstü Eğitim ve Öğretim Yönetmeliği'nin 35. maddesinin 3. fıkrası gereğince 14 olarak ele alınmıştır. Büyük-ölçekli veri kümesi (VK2) ise 100 öğrenci ve 50 danışmandan oluşmaktadır. Öğrencilerin danışmanları tercih etme sıraları 1-10 arasında rastgele olarak üretilmiş, benzer şekilde danışmanların öğrencileri tercih etme sıraları da 1-10 arasında rastgele üretilmiştir. Öğrencilerin (danışmanların) tercih etmediği danışmanlar (öğrenciler) için tercih sırası olarak 11 değeri dikkate alınmıştır. Bir diğer ifadeyle, VK1'in üretilme sürecinde olduğu gibi n tane tercih yapan bir öğrencinin (danışmanın) tercih etmediği diğer danışmanları (öğrencileri) $(n + 1)$. sırada tercih ettiği varsayılmaktadır. Altı adet uzmanlık alanı ele alınmış olup öğrencilerin ve danışmanların çalışma alanları bilgisi rastgele olarak üretilmiş ve ilgili alanda uzmanlığı varsa bir aksi durumda sıfır değeri ele alınmıştır. Danışmanların mevcut kapasiteleri ve bireysel talepleri ise 1-5 aralığında rastgele üretilmiştir. Danışmanların maksimum kapasite (C_{max}) değeri ise Yükseköğretim Kurulu Lisansüstü Eğitim ve Öğretim Yönetmeliği'nin 35. maddesinin 3. fıkrası gereğince 14 olarak ele alınmıştır. Söz konusu veri kümeleri, sorumlu yazar ile iletişime geçilmesi durumunda ilgilenen araştırmacılar ile paylaşılabilir.

Önceki bölümde detayları verildiği üzere, çalışma kapsamında, öğrenci ve danışman tercihlerine ek olarak; (i) danışman kapasitelerinin dikkate alınmadığı (ii) danışman kapasiteleri olarak bireysel danışman taleplerinin ve (iii) danışman kapasiteleri olarak ortalama iş yükünün dikkate alındığı duruma karşılık gelen üç farklı problem kurgusu oluşturulmuştur. Dolayısıyla, son iki kurguda, yani ikinci ve üçüncü problem kurgularında, önceki bölümde detayları sunulduğu gibi iki farklı amaç fonksiyonu bileşeni yer almakta ve uygulama aşamasında bu bileşenler arasında önceliklendirme yapılarak çözüm elde edilmektedir. Söz konusu iki kurguda da öncelikle danışman iş yükü dengelemek ve ardından öğrenci ve danışman tercihleri tatmin edilmektedir.

Farklı kurgular için elde edilen sonuçların analizinde dört performans ölçütü ele alınmıştır. Bunlar; (i) ortalama öğrenci memnuniyet düzeyi (Ö), (ii) ortalama danışman memnuniyet düzeyi (D), (iii) ortalama öğrenci ve danışman memnuniyet düzeylerinin ortalaması (ÖD-o) ve (iv) ortalama öğrenci ve danışman memnuniyet düzeylerinin farkı (ÖD-f) olarak belirlenmiştir. İlk üç performans ölçütü olan Ö, D ve

ÖD-o, Şimşek [1] tarafından da ÖDA probleminde performans ölçütü olarak kullanılmıştır. Dikkate alınan üçüncü ve dördüncü performans ölçütleri, yani ortalama öğrenci ve danışman memnuniyet düzeylerinin ortalaması (ÖD-o) ve ortalama öğrenci ve danışman memnuniyet düzeylerinin farkı (ÖD-f), sırasıyla öğrenci ve danışman memnuniyetlerinin ikisinin birlikte ele alınmasını sağlamaktadır. Bir diğer ifadeyle, ortalama öğrenci ve danışman memnuniyet düzeylerinin ortalaması (ÖD-o) performans ölçütünün maksimum değeri her iki grubun birlikte ortalama memnuniyetinin üst seviyede olmasını ve ortalama öğrenci ve danışman memnuniyet düzeylerinin farkı (ÖD-f) performans ölçütünün minimum değerini alması ise her iki grubun (yani öğrencilerin ve danışmanların) memnuniyet düzeylerinin birbirlerine en yakın olduğu değeri göstermesi bakımından anlam taşımaktadır. Burada bahsi geçen memnuniyet düzeyi kavramı ise öğrencilerin (danışmanların) atadıkları danışmanı (öğrenciyi) tercih etme sıralarının, hedeflenen tercih düzeyinden sapmalarının ağırlıklandırılması ile hesaplanmaktadır. Bir diğer ifadeyle, ideal durumda her öğrencinin (danışmanın) birinci sırada tercih ettiği danışmana (öğrenciye) atanacağı düşünülürse, tercih sırasının birden çıkarılması ile bu durumdan sapmalar hesaplanmaktadır. Ardından, toplam sapma değerlerinin ağırlıklı ortalamasının birden çıkartılması ile memnuniyet düzeyi belirlenmektedir. İlerleyen paragraflarda, öncelikle VK1 ardından VK2 kullanılarak yapılan uygulama kapsamında elde edilen sonuçlar sunulmaktadır. Tüm modeller, Python 3.11 programlama dili ve Gurobi 10.0.1 çözücüsü kullanılarak Windows 11 işletim sistemi Intel(R) Core(TM) i5-10210U CPU @ 1,60 GHz 2,11 GHz işlemci ve 8 GB RAM konfigürasyona sahip kişisel bir bilgisayarda çözülmüştür. Çözüm süreleri ise ortalama bir saniyedir.

VK1 ile yapılan uygulama sonucunda, öğrencilerin ve danışmanların tercihlerini ölçeklendirmek amacıyla ikinci amaç fonksiyonu bileşeninde kullanılan ölçek faktörünün (γ), sıfır ile bir arasındaki farklı değerleri için elde edilen sonuçlar Tablo 1'de gösterilmiştir. Burada ölçek faktörünün bire yakın değerler alması öğrenci tercihlerine, sıfıra yakın değerler alması ise danışman tercihlerine daha fazla öncelik verilen durumları ifade etmektedir.

İlk problem kurgusu için farklı γ değerlerinin performans ölçütlerine etkisi incelendiğinde, beklendiği gibi γ değeri bire yaklaştıkça öğrenci memnuniyet düzeyinin arttığı, sıfıra yaklaştıkça ise danışman

Tablo 1. Farklı γ değerleri ve problem kurguları için elde edilen performans ölçütleri – VK1
(Performance measures obtained for different γ values and problem settings – Data set 1)

Problem Kurgusu	Performans Ölçütü	γ										
		0,0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0
1	Ö	%57,5	%62,5	%72,5	%80,0	%90,0	%97,5	%97,5	%100,0	%100,0	%100,0	%100,0
	D	%90,0	%90,0	%88,0	%86,0	%82,0	%78,0	%78,0	%74,0	%74,0	%74,0	%74,0
	ÖD-o	%73,8	%76,3	%80,3	%83,0	%86,0	%87,8	%87,8	%87,0	%87,0	%87,0	%87,0
	ÖD-f	%32,5	%27,5	%15,5	%6,0	%8,0	%19,5	%19,5	%26,0	%26,0	%26,0	%26,0
2	Ö	%45,0	%45,0	%60,0	%60,0	%82,5	%82,5	%82,5	%82,5	%90,0	%90,0	%90,0
	D	%90,0	%90,0	%88,0	%88,0	%76,0	%76,0	%76,0	%76,0	%62,0	%62,0	%62,0
	ÖD-o	%67,5	%67,5	%74,0	%74,0	%79,3	%79,3	%79,3	%79,3	%76,0	%76,0	%76,0
	ÖD-f	%45,0	%45,0	%28,0	%28,0	%6,5	%6,5	%6,5	%6,5	%28,0	%28,0	%28,0
3	Ö	%47,5	%47,5	%47,5	%57,5	%75,0	%75,0	%82,5	%87,5	%90,0	%90,0	%90,0
	D	%88,0	%88,0	%88,0	%86,0	%78,0	%78,0	%70,0	%64,0	%56,0	%56,0	%56,0
	ÖD-o	%67,8	%67,8	%67,8	%71,8	%76,5	%76,5	%76,3	%75,8	%73,0	%73,0	%73,0
	ÖD-f	%40,5	%40,5	%40,5	%28,5	%3,0	%3,0	%12,5	%23,5	%34,0	%34,0	%34,0

memnuniyet düzeyinin arttığı gözlenmektedir. VK1 için ortalama öğrenci ve danışman memnuniyet düzeylerinin ortalamasını gösteren ÖD-o değerinin maksimum olduğu duruma karşılık gelen γ değerleri 0,5 ve 0,6 olarak belirlenmişken, ÖD-f değerinin minimum olduğu noktaya karşılık gelen γ değeri 0,3 olarak belirlenmiştir. Benzer şekilde, ikinci problem kurgusu için farklı γ değerlerinin performans ölçütlerine etkisi incelendiğinde, ikinci problem kurgusu kapsamında, danışman kapasiteleri olarak bireysel danışman taleplerinin dikkate alındığı duruma göre, maksimum ÖD-o değerine karşılık gelen γ değerleri 0,4, 0,5, 0,6 ve 0,7 olarak belirlenirken, minimum ÖD-f değerine karşılık gelen γ değerlerinin ise 0,4, 0,5, 0,6 ve 0,7 olduğu görülmektedir. Dikkate alınan üçüncü ve son problem kurgusuna karşılık gelen sonuçlar incelendiğinde, danışman kapasiteleri olarak ortalama iş yükünün dikkate alındığı duruma göre, maksimum ÖD-o değerine karşılık gelen γ değeri 0,4 ve 0,5 olarak belirlenirken, minimum ÖD-f değerine karşılık gelen γ değerlerinin ise 0,4 ve 0,5 olduğu görülmektedir.

Değişen γ değerlerine göre her bir kurgu için ÖD-o değerinin değişimi incelendiğinde, maksimum ÖD-o değeri %87,8 olarak birinci kurguda elde edilmiş olup, ikinci ve üçüncü kurgulardaki karşılık gelen değerler sırasıyla, %79,3 ve %76,5 olarak hesaplanmıştır. Değişen γ değerlerine göre her bir kurgu için ÖD-f değerinin değişimi incelendiğinde ise kurgular arasında karşılaştırma yapıldığında, minimum ÖD-f değeri %3 olarak üçüncü kurguda elde edilmiş olup, ilk iki kurgu için karşılık gelen değerler sırasıyla, %6,0 ve %6,5 olarak hesaplanmıştır.

Tablo 2’de farklı problem kurgularının ve aşırı öncelikli atama stratejilerinin performans ölçütlerine etkileri özetlenmektedir. Tablo 2’de görüldüğü gibi ortalama öğrenci ve danışman memnuniyet düzeyleri açısından incelendiğinde, sadece öğrenci ve danışman tercihlerinin dikkate alındığı ilk kurguda, öğrenci tercihlerinin maksimum oranda dikkate alındığı durumda ($\gamma = 1$) öğrencilerin ortalama memnuniyet düzeyi %100,0 seviyesine ulaşmıştır. Benzer şekilde, danışman tercihlerinin maksimum oranda dikkate alındığı durumda ($\gamma = 0$) ise danışmanların ortalama %90,0 memnuniyet düzeyinde olduğu görülmüştür. Bir diğer performans ölçütü ÖD-o değeri açısından sonuçlar incelendiğinde, öğrenciler ve danışmanlara benzer şekilde aşırı öncelikler verildiğinde karşılık gelen durumlardaki ÖD-o değerleri ise sırasıyla %87,0 ve %73,8 olarak hesaplanmıştır. Diğer performans ölçütü ÖD-f değeri açısından sonuçlar incelendiğinde ise söz konusu iki durum için karşılık gelen ÖD-f değerlerinin sırasıyla %26,0 ve %32,5 olduğu görülmektedir. Öğrenci ve danışman tercihlerine ek olarak, bireysel danışman taleplerinin danışman kapasiteleri olarak dikkate alındığı durum olan ikinci problem kurgusunda, öğrenci tercihlerine aşırı öncelik verildiğinde, ortalama öğrenci memnuniyet düzeyi %90,0 olurken; danışman tercihlerine aşırı öncelik verildiğinde ise ortalama danışman memnuniyet düzeyi %90,0 olarak hesaplanmıştır. Danışman iş

yükünün dikkate alınmasının, ilk kurgudaki öğrenci ve danışman memnuniyet düzeyinin üst sınırlarını nasıl etkilediği incelendiğinde, beklenebileceği gibi, öğrenci memnuniyet düzeyi için %10,0 azalmaya neden olurken, danışman memnuniyet düzeyinde ise herhangi bir performans değişikliğine neden olmadığı görülmektedir. Diğer performans ölçütleri açısından sonuçlar incelendiğinde, yine ilgili grupların tercihlerine aşırı öncelik verilmesi durumunda, ÖD-o değerinin sırasıyla %76,0 ve %67,5 olarak elde edildiği, karşılık gelen durumlardaki ÖD-f değerlerinin de sırasıyla %28,0 ve %45,0 olduğu görülmektedir. Öğrenci ve danışman tercihlerine ek olarak, danışman kapasitelerinde ortalama iş yükünün dikkate alındığı durum olan son problem kurgusunda, öğrenci tercihlerine aşırı öncelik verilmesi durumunda ortalama öğrenci memnuniyet düzeyi %90,0 olarak elde edilirken, danışman tercihlerine aşırı öncelik verilmesi durumunda ortalama danışman memnuniyet düzeyi ise %88,0 olarak hesaplanmıştır. Son problem kurgusunda elde edilen ilgili değerler, birinci (ikinci) problem kurgusu ile karşılaştırıldığında, öğrenci memnuniyet düzeyi için %10,0 (%0,0) ve danışman memnuniyet düzeyi için %2,0 (%2,0) azalma olduğu görülmektedir. Diğer performans ölçütleri açısından incelendiğinde, benzer şekilde yine öğrenci ve danışman tercihleri için aşırı önceliklendirme yapıldığında, ÖD-o değerlerinin sırasıyla %73,0 ve %67,8 olarak hesaplandığı, karşılık gelen ÖD-f değerlerinin de sırasıyla %34,0 ve %40,5 olduğu görülmektedir.

Öğrencilerin ve danışmanların memnuniyet düzeylerinin yüksek seviyelerde olması, öğrenciler ve danışmanlar arasında çalışma motivasyonunu arttıracak bir unsur olmakla birlikte, sadece bir grubun yani sadece öğrencilerin veya sadece danışmanların memnuniyet düzeylerinin en iyi seviyede olması tartışmaya açık bir konudur. Bu açıdan bakıldığında, ortalama memnuniyet düzeylerinin yüksek değerler alması ve/veya memnuniyet düzeyleri arasında düşük farkların bulunması hem öğrencilerin hem de danışmanların tatmin edilmesi noktasında belirleyici ölçütler olabilir. Bu amaçla, Tablo 3’te farklı kurgulara ait maksimum ÖD-o ve minimum ÖD-f değerleri verilmiştir. İlgili performans ölçütlerinin elde edildiği atamalar için hesaplanan öğrenci ve danışman ortalama memnuniyet düzeyleri (Ö ve D değerleri) de tabloda sunulmuştur. Örneğin, birinci kurgu için maksimum ÖD-o değeri olan %87,8 değerine ulaşan atama yapısında, öğrencilerin ve danışmanların ortalama memnuniyet düzeyleri ise sırasıyla %97,5 ve %78 şeklinde gerçekleşmiştir. Yine ilk kurgu için minimum ÖD-f değeri olan %6,0 değerine ulaşan atama yapısı incelendiğinde ise öğrencilerin ve danışmanların ortalama memnuniyet düzeyleri sırasıyla %80,0 ve %86,0 olarak hesaplanmıştır.

VK2 ile yapılan uygulama sonucunda, öğrencilerin ve danışmanların tercihlerini ölçeklendirmek amacıyla ikinci amaç fonksiyonu bileşeninde kullanılan ölçek faktörünün (γ), sıfır ile bir arasındaki farklı değerleri için elde edilen sonuçlar Tablo 4’te gösterilmiştir. Burada ölçek faktörünün bire yakın değerler alması öğrenci

tercihlerine, sıfıra yakın değerler alması ise danışman tercihlerine daha fazla öncelik verilen durumları ifade etmektedir. Tablo 4'te sunulan değerler ile oluşturulan Şekil 2, Şekil 3 ve Şekil 4'te sırasıyla, çalışma kapsamında dikkate alınan üç problem kurgusu ve farklı γ değerleri için elde edilen performans ölçütü değerleri

gösterilmektedir. Şekil 2'de, ilk problem kurgusuna için farklı γ değerlerinin performans ölçütlerine etkisi incelendiğinde, beklendiği gibi γ değeri bire yaklaştıkça öğrenci memnuniyet düzeyinin arttığı, sıfıra yaklaştıkça ise danışman memnuniyet düzeyinin arttığı gözlenmektedir. VK2 için ortalama öğrenci ve danışman memnuniyet

Tablo 2. Farklı problem kurgularının ve aşırı öncelikli atama stratejilerinin performans ölçütlerine etkileri – VK1
(Effects of different problem structures and extremely prioritized allocation strategies on performance measures – Data set 1)

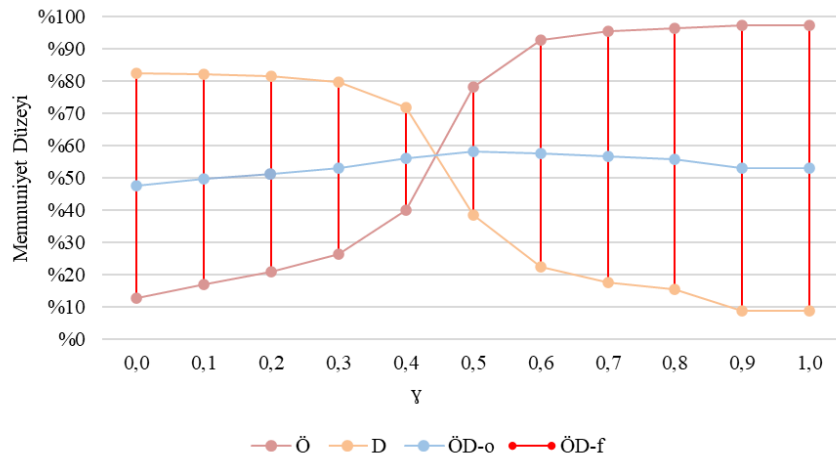
Problem Kurgusu	Strateji	Performans Ölçütü			
		Ö	D	ÖD-o	ÖD-f
1	$\gamma = 1,0$	%100,0	%74,0	%87,0	%26,0
	$\gamma = 0,0$	%57,5	%90,0	%73,8	%32,5
2	$\gamma = 1,0$	%90,0	%62,0	%76,0	%28,0
	$\gamma = 0,0$	%45,0	%90,0	%67,5	%45,0
3	$\gamma = 1,0$	%90,0	%56,0	%73,0	%34,0
	$\gamma = 0,0$	%47,5	%88,0	%67,8	%40,5

Tablo 3. Maksimum ÖD-o ve minimum ÖD-f değerlerinin elde edildiği atamalar için memnuniyet düzeyleri – VK1
(Satisfaction levels for the allocations where maximum Student-Supervisor-average and minimum Student-Supervisor-difference values are achieved- Data set 1)

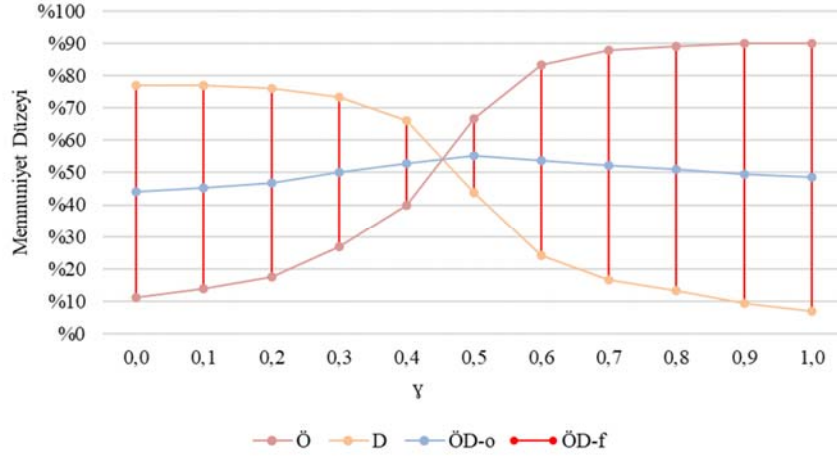
Problem Kurgusu	Maksimum ÖD-o			Minimum ÖD-f		
	ÖD-o	Ö	D	ÖD-f	Ö	D
1	%87,8	%97,5	%78,0	%6,0	%80,0	%86,0
2	%79,3	%82,5	%76,0	%6,5	%82,5	%76,0
3	%76,5	%75,0	%78,0	%3,0	%75,0	%78,0

Tablo 4. Farklı γ değerleri ve problem kurguları için elde edilen performans ölçütleri – VK2
(Performance measures obtained for different γ values and problem settings – Data set 2)

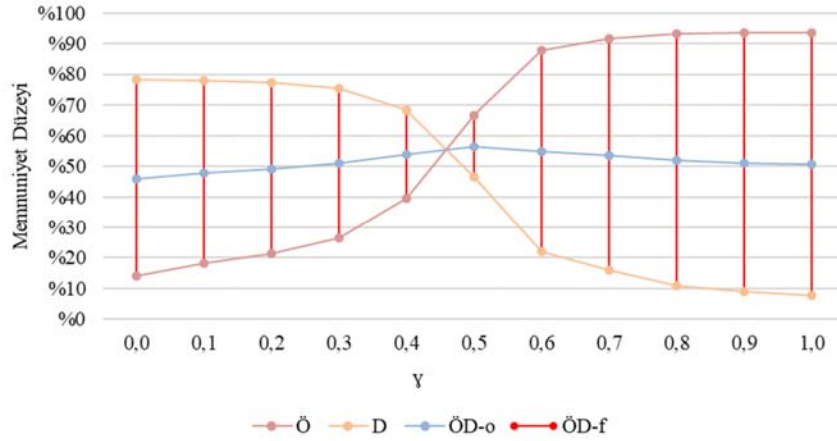
Problem Kurgusu	Performans Ölçütü	γ											
		0,0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0	
1	Ö	%12,7	%16,9	%20,8	%26,3	%40,1	%78,1	%92,6	%95,5	%96,2	%97,2	%97,2	
	D	%82,4	%82,2	%81,5	%79,7	%71,7	%38,4	%22,5	%17,5	%15,5	%8,9	%8,9	
	ÖD-o	%47,6	%49,6	%51,2	%53,0	%55,9	%58,3	%57,6	%56,5	%55,9	%53,1	%53,1	
	ÖD-f	%69,7	%65,3	%60,7	%53,4	%31,6	%39,7	%70,1	%78,0	%80,7	%88,3	%88,3	
2	Ö	%11,0	%13,7	%17,6	%26,9	%39,8	%66,9	%83,3	%88,0	%89,1	%89,9	%90,1	
	D	%77,1	%76,9	%76,2	%73,3	%66,2	%43,8	%24,2	%16,5	%13,2	%9,3	%6,9	
	ÖD-o	%44,1	%45,3	%46,9	%50,1	%53,0	%55,4	%53,8	%52,3	%51,2	%49,6	%48,5	
	ÖD-f	%66,1	%63,2	%58,6	%46,4	%26,4	%23,1	%59,1	%71,5	%75,9	%80,6	%83,2	
3	Ö	%13,9	%18,2	%21,3	%26,5	%39,7	%66,7	%87,9	%91,5	%93,2	%93,5	%93,5	
	D	%78,1	%77,8	%77,2	%75,4	%68,2	%46,6	%21,9	%15,9	%10,8	%9,0	%7,8	
	ÖD-o	%46,0	%48,0	%49,3	%51,0	%54,0	%56,7	%54,9	%53,7	%52,0	%51,3	%50,7	
	ÖD-f	%64,2	%59,6	%55,9	%48,9	%28,5	%20,1	%66,0	%75,6	%82,4	%84,5	%85,7	



Şekil 2. Farklı γ değerlerinin performans ölçütlerine etkisi: Kurgu 1 – VK2
(Effect of different values of γ on performance measures: Setting 1 – Data set 2)



Şekil 3. Farklı γ değerlerinin performans ölçütlerine etkisi: Kurgu 2 – VK2
(Effect of different values of γ on performance measures: Setting 2 – Data set 2)



Şekil 4. Farklı γ değerlerinin performans ölçütlerine etkisi: Kurgu 3 – VK2
(Effect of different values of γ on performance measures: Setting 3 – Data set 2)

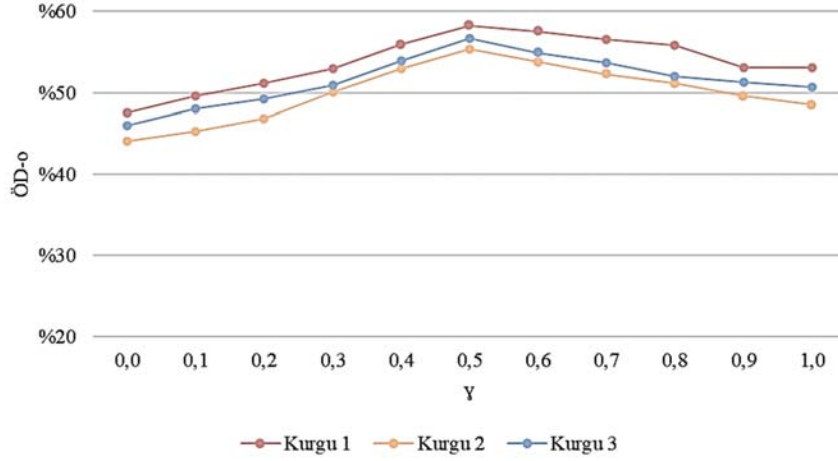
düzeylerinin ortalamasını gösteren ÖD-o değerinin maksimum olduğu duruma karşılık gelen γ değeri 0,5 olarak belirlenmişken, ÖD-f değerinin minimum olduğu noktaya karşılık gelen γ değeri 0,4 olarak belirlenmiştir. Benzer şekilde, ikinci problem kurgusu için farklı γ değerlerinin performans ölçütlerine etkisi Şekil 3'te verilmiştir. İkinci problem kurgusu kapsamında, danışman kapasiteleri olarak bireysel danışman taleplerinin dikkate alındığı duruma göre, maksimum ÖD-o değerine karşılık gelen γ değeri 0,5 olarak belirlenirken, minimum ÖD-f değerine karşılık gelen γ değerinin de 0,5 olduğu görülmektedir.

Dikkate alınan üçüncü ve son problem kurgusuna karşılık gelen sonuçlar ise Şekil 4'te sunulmuştur. Son problem kurgusu kapsamında, danışman kapasiteleri olarak ortalama iş yükünün dikkate alındığı duruma göre, maksimum ÖD-o değerine karşılık gelen γ değeri 0,5 olarak belirlenirken, minimum ÖD-f değerine karşılık gelen γ değerinin ise 0,5 olduğu görülmektedir.

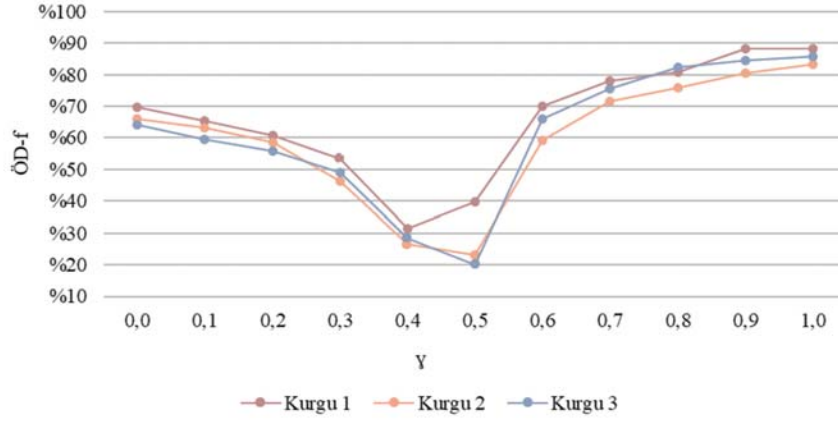
Şekil 5'te değişen γ değerlerine göre her bir kurgu için ÖD-o değerinin değişimi incelenmektedir. Maksimum ÖD-o değeri %58,3 olarak birinci kurguda elde edilmiş olup, ikinci ve üçüncü kurgulardaki karşılık gelen değerler sırasıyla, %55,4 ve %56,7 olarak hesaplanmıştır. Şekil 6'da ise değişen γ değerlerine göre her bir kurgu

için ÖD-f değerinin değişimi incelenmektedir. Kurgular arasında karşılaştırma yapıldığında, minimum ÖD-f değeri %20,1 olarak üçüncü kurguda elde edilmiş olup, ilk iki kurgu için karşılık gelen değerler sırasıyla, %31,6 ve %23,1 olarak hesaplanmıştır.

Tablo 5'te farklı problem kurgularının ve aşırı öncelikli atama stratejilerinin performans ölçütlerine etkileri özetlenmektedir. Tablo 5'te görüldüğü gibi ortalama öğrenci ve danışman memnuniyet düzeyleri açısından incelendiğinde, sadece öğrenci ve danışman tercihlerinin dikkate alındığı ilk kurguda, öğrenci tercihlerinin maksimum oranda dikkate alındığı durumda ($\gamma = 1$) öğrencilerin ortalama memnuniyet düzeyi %97,2 seviyesine ulaşmıştır. Benzer şekilde, danışman tercihlerinin maksimum oranda dikkate alındığı durumda ($\gamma = 0$) ise danışmanların ortalama %82,4 memnuniyet düzeyinde olduğu görülmüştür. Bir diğer performans ölçütü ÖD-o değeri açısından sonuçlar incelendiğinde, öğrenciler ve danışmanlara benzer şekilde aşırı öncelikler verildiğinde karşılık gelen durumlardaki ÖD-o değerleri ise sırasıyla %53,1 ve %47,6 olarak hesaplanmıştır. Diğer performans ölçütü ÖD-f değeri açısından sonuçlar incelendiğinde ise söz konusu iki durum için karşılık gelen ÖD-f değerlerinin sırasıyla %88,3 ve %69,7 olduğu görülmektedir. Öğrenci ve danışman tercihlerine ek olarak, bireysel danışman taleplerinin danışman kapasiteleri olarak dikkate alındığı durum olan



Şekil 5. Farklı kurgular için değişen γ değerlerinin ÖD-o değerlerine etkisi – VK2
(Effect of varying γ values on Student-Supervisor-average values for different settings – Data set 2)



Şekil 6. Farklı kurgular için değişen γ değerlerinin ÖD-f değerlerine etkisi – VK2
(Effect of varying γ values on Student-Supervisor-difference values for different settings – Data set 2)

Tablo 5. Farklı problem kurgularının ve aşırı öncelikli atama stratejilerinin performans ölçütlerine etkileri – VK2
(Effects of different problem structures and extremely prioritized allocation strategies on performance measures – Data set 2)

Problem Kurgusu	Strateji	Performans Ölçütü			
		Ö	D	ÖD-o	ÖD-f
1	$\gamma = 1,0$	%97,2	%8,9	%53,1	%88,3
	$\gamma = 0,0$	%12,7	%82,4	%47,6	%69,7
2	$\gamma = 1,0$	%90,1	%6,9	%48,5	%83,2
	$\gamma = 0,0$	%11,0	%77,1	%44,1	%66,1
3	$\gamma = 1,0$	%93,5	%7,8	%50,7	%85,7
	$\gamma = 0,0$	%13,9	%78,1	%46,0	%64,2

ikinci problem kurgusunda, öğrenci tercihlerine aşırı öncelik verildiğinde, ortalama öğrenci memnuniyet düzeyi %90,1 olurken; danışman tercihlerine aşırı öncelik verildiğinde ise ortalama danışman memnuniyet düzeyi %77,1 olarak hesaplanmıştır. Danışman iş yükünün dikkate alınmasının, ilk kurgudaki öğrenci ve danışman memnuniyet düzeyinin üst sınırlarını nasıl etkilediği incelendiğinde, beklenebileceği gibi, öğrenci memnuniyet düzeyi için %7,1 azalmaya neden olurken, danışman memnuniyet düzeyinde de %5,3 azalmaya neden olmadığı görülmektedir. Diğer performans ölçütleri açısından sonuçlar incelendiğinde, yine ilgili grupların tercihlerine aşırı öncelik verilmesi durumunda, ÖD-o değerinin sırasıyla %48,5 ve %44,1

olarak elde edildiği, karşılık gelen durumlardaki ÖD-f değerlerinin de sırasıyla %83,2 ve %66,1 olduğu görülmektedir. Öğrenci ve danışman tercihlerine ek olarak, danışman kapasitesinde ortalama iş yükünün dikkate alındığı durum olan son problem kurgusunda, öğrenci tercihlerine aşırı öncelik verilmesi durumunda ortalama öğrenci memnuniyet düzeyi %93,5 olarak elde edilirken, danışman tercihlerine aşırı öncelik verilmesi durumunda ortalama danışman memnuniyet düzeyi ise %78,1 olarak hesaplanmıştır. Son problem kurgusunda elde edilen ilgili değerler, birinci (ikinci) problem kurgusu ile karşılaştırıldığında, öğrenci memnuniyet düzeyi için %3,7 azalma (%3,4 artma) ve danışman memnuniyet düzeyi için %4,3

Tablo 6. Maksimum ÖD-o ve minimum ÖD-f değerlerinin elde edildiği atamalar için memnuniyet düzeyleri -VK2
(Satisfaction levels for the allocations where maximum Student-Supervisor-average and minimum Student-Supervisor-difference values are achieved – Data set 2)

	Maksimum ÖD-o			Minimum ÖD-f			
	ÖD-o	Ö	D	ÖD-f	Ö	D	
Problem Kurgusu	1	%58,3	%78,1	%38,4	%31,6	%40,1	%71,7
	2	%55,4	%66,9	%43,8	%23,1	%66,9	%43,8
	3	%56,7	%66,7	%46,6	%20,1	%66,7	%46,6

Tablo 7. ÖDA algoritması ile elde edilen performans sonuçlarının MPM sonuçları ile karşılaştırılması ($\gamma = 0,5$)
(Comparison of performance results obtained with the SAA algorithm with MPM results ($\gamma = 0,5$))

PK	Ö	D		ÖD-o		ÖD-f		MPM (%)	
		ÖDA Algoritması (%)	MPM (%)	ÖDA Algoritması (%)	MPM (%)	ÖDA Algoritması (%)	MPM (%)		
VK1	1	97,5/97,5/97,5	97,5	78,0/78,0/78,0	78,0	87,8/87,8/87,8	87,8	19,5/19,5/19,5	19,5
	2	65,0/76,3/80,0	82,5	68,0/74,0/84,0	76,0	74,0/75,1/77,5	79,3	3,5/7,7/19,0	6,5
	3	67,5/73,5/80,0	75,0	72,0/77,2/82,0	78,0	74,2/75,4/76,5	76,5	3,0/5,3/14,5	3,0
VK2	1	71,5/76,2/79,1	78,1	34,3/37,1/41,7	38,4	56,6/56,6/56,7	58,3	29,8/39,1/44,8	39,7
	2	58,3/63,5/68,1	66,9	33,8/38,7/44,7	43,8	50,4/51,1/52,1	55,4	13,6/24,8/34,3	23,1
	3	63,7/67,8/71,1	66,7	34,6/37,3/41,5	46,6	52,0/52,5/53,3	56,7	22,2/30,4/36,4	20,1

PK: Problem Kurgusu, MPM: Matematiksel Programlama Modeli

azalma (%1,0 artma) olduğu görülmektedir. Diğer performans ölçütleri açısından incelendiğinde, benzer şekilde yine öğrenci ve danışman tercihleri için aşırı önceliklendirme yapıldığında, ÖD-o değerlerinin sırasıyla %50,7 ve %46,0 olarak hesaplandığı, karşılık gelen ÖD-f değerlerinin de sırasıyla %85,7 ve %64,2 olduğu görülmektedir.

Öğrencilerin ve danışmanların memnuniyet düzeylerinin yüksek seviyelerde olması, öğrenciler ve danışmanlar arasında çalışma motivasyonunu arttıracak bir unsur olmakla birlikte, sadece bir grubun yani sadece öğrencilerin veya sadece danışmanların memnuniyet düzeylerinin en iyi seviyede olması tartışmaya açık bir konudur. Bu açıdan bakıldığında, ortalama memnuniyet düzeylerinin yüksek değerler alması ve/veya memnuniyet düzeyleri arasında düşük farkların bulunması hem öğrencilerin hem de danışmanların tatmin edilmesi noktasında belirleyici ölçütler olabilir. Bu amaçla, Tablo 6'da farklı kurgulara ait maksimum ÖD-o ve minimum ÖD-f değerleri verilmiştir.

İlgili performans ölçütlerinin elde edildiği atamalar için hesaplanan öğrenci ve danışman ortalama memnuniyet düzeyleri (Ö ve D değerleri) de tabloda sunulmuştur. Örneğin, birinci kurgu için maksimum ÖD-o değeri olan %58,3 değerine ulaşılan atama yapısında, öğrencilerin ve danışmanların ortalama memnuniyet düzeyleri ise sırasıyla %78,1 ve %38,4 şeklinde gerçekleşmiştir. Yine ilk kurgu için minimum ÖD-f değeri olan %31,6 değerine ulaşılan atama yapısı incelendiğinde ise öğrencilerin ve danışmanların ortalama memnuniyet düzeyleri sırasıyla %40,1 ve %71,7 olarak hesaplanmıştır.

Üç problem kurgusu için geliştirilen sezgisel algoritma kullanılarak küçük ve büyük veri kümeleri için problemler çözülmüştür. Çözümde sadece $\gamma = 0,5$ değeri (öğrenci, danışman tercihleri eşit ağırlıkta) dikkate alınmıştır. Hem matematiksel programlama modelleri hem de sezgisel algoritma ile saniyeler içinde çözüm alınabildiğinden, bu açıdan anlamlı bir farklılık ortaya çıkmamaktadır. Matematiksel programlama modelleri ile sezgisel algoritmanın çözüm sonuçları performans ölçütleri açısından kıyaslanmış ve Tablo 7'de verilmiştir. ÖDA algoritmasının rassal seçim başlangıcından dolayı her çalıştırmada farklı çözüm vermesi nedeniyle algoritma on kez çalıştırılmış ve minimum/ortalama/maksimum değerler verilmiştir. Tablo 7 incelendiğinde, VK1 için birinci kurguda SAA algoritmasının tüm çalışmalarında optimal sonuca ulaşılmıştır. Yine benzer şekilde,

VK1 için üçüncü kurguda optimal çözüm elde edilen bir durum görülmektedir (ÖD-o performans ölçütü için hem matematiksel programlama modelleri hem de SAA algoritmasında %76,5 performans değeri elde edilmiştir). Genel olarak, ortalama öğrenci ve danışman memnuniyet düzeylerinin ortalaması (ÖD-o) açısından kıyaslandığında ise sezgisel algoritmanın ortalama performansının matematiksel programlama modelleri ile kıyaslandığında, sırasıyla %0,0, %4,2, %1,1, %1,7, %4,3 ve %4,2 daha kötü olduğu gözlemlenmiştir.

5. Sonuçlar (Conclusions)

Lisansüstü çalışmaların etkili bir şekilde yürütülebilmesi ve lisansüstü programların genel başarısı için öğrenci ile akademik danışman arasındaki uyum kritik öneme sahiptir. Bu çalışmada, ÖDA problemi için öğrenci ve danışman tercihlerine ek olarak; (i) danışman kapasitelerinin dikkate alınmadığı (ii) danışman kapasiteleri olarak bireysel danışman taleplerinin ve (iii) danışman kapasiteleri olarak ortalama iş yükünün dikkate alındığı durum olmak üzere üç farklı problem kurgusu ele alınmıştır. Her bir problem kurgusunun çözümü için matematiksel programlama modelleri ve sezgisel algoritma önerilmiştir. Önerilen yaklaşımın geçerliliğinin test edilmesi amacıyla, küçük ve büyük ölçekli olmak üzere veri kümeleri oluşturularak öğrencilerin ve danışmanların tercihlerinin farklı ağırlıklandırma stratejileri için matematiksel programlar ve sezgisel algoritma bu veri kümeleri kullanılarak çözülmüştür. Buna ek olarak, matematiksel programlama modeli ve sezgisel algoritmanın sonuçları kıyaslanmıştır. Elde edilen sonuçlar; (i) ortalama öğrenci memnuniyet düzeyi (Ö), (ii) ortalama danışman memnuniyet düzeyi (D), (iii) ortalama öğrenci ve danışman memnuniyet düzeylerinin ortalaması (ÖD-o) ve (iv) ortalama öğrenci ve danışman memnuniyet düzeylerinin farkı (ÖD-f) olmak üzere farklı performans ölçütlerine göre analiz edilmiştir. Söz konusu performans ölçütlerinin ilk ikisi ile sadece ilgili gruplardan birisinin (yani sadece öğrencilerin veya sadece danışmanların) tercihleri dikkate alınırken, son iki performans ölçütü ise her iki grubun tercihleri birlikte dikkate alacak şekilde tanımlanmıştır. Bu çalışmanın öne çıkan unsuru, ÖDA problemi için farklı problem kurguları ve atama stratejilerinin ele alınması ve bu durumlar için elde edilen sonuçların karşılaştırılarak karar vericiler için farklı bakış açıları yansıtan kapsamlı analizler yapılmasına olanak veren bir çerçeve oluşturması şeklinde özetlenebilir. ÖDA problemi ile ilgili güncel literatürdeki çalışmaların sayısının oldukça

sınırlı olmasının yanında, bu çalışma kapsamında ele alınan problem kurgularının ilgili literatürde ulaşılabilen mevcut çalışmalarda yer almadığı görülmektedir. İlgili bölümde detaylandırıldığı gibi bu kurgular arasında, danışman kapasitelerinin dikkate alınmadığı duruma ek olarak, danışman kapasitelerinin, yani danışmanlara atanacak olan öğrenci sayılarının, danışmanların bireysel olarak talep ettikleri öğrenci sayısına eşit olacak şekilde belirlenmesi veya söz konusu taleplerin ortalaması olarak dikkate alınması da yer almaktadır. Çalışma kapsamında oluşturulan söz konusu kurgular karar verme yaklaşımı olarak önemli farklılıklar içermekle birlikte, çeşitli nedenlerle ilgili karar vericilerin bakış açılarına bağlı olarak bahsi geçen kurguların farklı akademik kurumlardaki gerçek hayat problemlerinde karşılıkları olduğu gözlemlenmekte ve çalışma kapsamında önerilen yaklaşımın ilgili literatüre bu açıdan önemli katkı sağlama potansiyeli olduğu düşünülmektedir. Ayrıca matematiksel programlama yaklaşımlarına alternatif olarak da herhangi bir çözücü yazılıma ihtiyaç olmaksızın önerilen sezgisel algoritmanın kullanılabilmesi ve tatmin edici sonuçlar elde edilebileceği düşünülmektedir.

Çalışma kapsamında ayrıca farklı boyutlardaki veri kümeleri kullanılarak bir uygulama gerçekleştirilmiş, çalışma içeriğinde detayları sunulan kurgular için optimal çözümler elde edilmiş ve performans ölçütleri açısından incelenmiştir. Bunun yanı sıra, gerçek hayat uygulamalarında atama sürecinin genel olarak insanlar tarafından uzun süren uğraşlar sonucunda gerçekleştirildiği göz önünde bulundurulduğunda, söz konusu sürecin önerilen matematiksel programlar veya sezgisel algoritma kullanılarak gerçekleştirilmesinin eğitim faaliyetlerinin planlanmasına büyük fayda sağlayacağı düşünülmektedir. Gelecek çalışmalarda, daha büyük veri kümeleri kullanılarak uygulamalar yapılabilir ve ölçek faktörünün farklı değerleri için duyarlılık analizi çalışmaları gerçekleştirilebilir.

Teşekkürler (Acknowledgement)

Bu çalışma sürecinde, Gülveren Tabansız Göç'e 119C152 numaralı projesi kapsamında verilen destekler için TÜBİTAK'a teşekkür ederiz.

Kaynakça (References)

- Şimşek A.B., A decision support tool for the student-supervisor allocation problem of postgraduate programs, *Expert Syst. Appl.*, 190, 116068, 2022.
- Zakaria M.A., Zainuddin, Z.M., Allocation of faculty supervisors for industrial and research training, *Proceedings of Science and Mathematics*, 16, 223-231, 2023.
- Ramotsisi, J., Kgomotso, M., Seboni, L., An optimization model for the student-to-project supervisor assignment problem-the case of an engineering department, *Journal of Optimization*, 2022 (1), 9415210, 2022.
- Mosharraf M., Taghiyareh F., An Evolutionary-Based Educational Expert System to Maximize Student-Supervisor Compatibility, 2012 6th IEEE International Conference on E-Learning in Industrial Electronics (ICELIE), IEEE., Montreal, QC, Canada, 84-89, 25-28 October, 2012.
- Salami H.O., Mamman E.Y., A genetic algorithm for allocating project supervisors to students, *International Journal of Intelligent Systems and Applications*, 8 (10), 51, 2016.
- Sanchez-Anguix V., Chalumuri R., Aydoğan R., Julian V., A near Pareto optimal approach to student-supervisor allocation with two sided preferences and workload balance, *Appl. Soft Comput.*, 76, 1-15, 2019.
- Sanchez-Anguix, V., Chalumuri, R., Alberola, J. M., Aydoğan, R., Artificial intelligence tools for academic management: assigning students to academic supervisors, *INTED2020 14th International Technology, Education and Development Conference*, Valencia, Spain, 4638-4644, 2-4 March 2020.
- Serek, A., Zhaparov, M., Optimizing preference satisfaction with genetic algorithm in matching students to supervisors, *Applied Mathematics & Information Sciences*, 18 (1), 133-138, 2024.
- Kawagoe T., Matsubae T., Matching with Minimal Quota: Case Study of a Student-Supervisor Assignment in a Japanese University, *Social Science Research Network (SSRN)*, 3429626, 1-51, 2020.
- Serek A., Zhaparov M., Algorithm comparison for student-supervisor matching in supervisorship system development: k-means vs. one-to-many gale-shapley, *Information Sciences Letters*, 12 (12), 2417-2425, 2023.
- Fan Y., Evangelista A., Harb H., An automated thesis supervisor allocation process using machine learning, *Global Journal of Engineering Education*, 23 (1), 20-30, 2021.
- Anghel, F.C., Popescu, E., Dynamic graduation project allocation based on student-teacher profile compatibility, 2022 International Conference on Advanced Learning Technologies (ICALT), Bucharest, Romania, 56-60, 1-4 July 2022.
- Ahmed A., ur Rehman, S., A machine learning approach for advisors to discover in higher education, 2022.
- Gale D., Shapley L.S., College admissions and the stability of marriage, *The American Mathematical Monthly*, 69 (1), 9-15, 1962.
- 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.
- 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.
- Manlove D.F., O'Malley G., Student-project allocation with preferences over projects, *J. Discrete Algorithms*, 6 (4), 553-560, 2008.
- 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.
- Cooper F., Manlove D., A 3/2-Approximation Algorithm for The Student-Project Allocation Problem, 17th International Symposium on Experimental Algorithms, L'Aquila, Italy, 103, 8:1-8:13, 27-29 June, 2018.
- Manlove D., Milne D., Olaosebikan S., An Integer Programming Approach to The Student-Project Allocation Problem with Preferences Over Projects, *International Symposium on Combinatorial Optimization*, Springer, Cham, Marrakesh, Morocco, 313-325, 11-13 April, 2018.
- Olaosebikan S., Manlove D., Super-stability in the student-project allocation problem with ties, *J. Comb. Optim.*, 1-37, 2020.
- Olaosebikan S., Manlove D., An Algorithm for Strong Stability in the Student-Project Allocation Problem with Ties, *Conference on Algorithms and Discrete Appl. Math.*, Springer, Cham, Hyderabad, India, 384-399, 13-15 February, 2020.
- Manlove D., Milne D., Olaosebikan S., Student-project allocation with preferences over projects: Algorithmic and experimental results, *Discrete Appl. Math.*, 308, 220-234, 2022.
- Viet H.H., Tan L.V., Cao S.T., Finding Maximum Stable Matchings for The Student-Project Allocation Problem with Preferences Over Projects, *International Conference on Future Data and Security Engineering*, Springer, Quy Nhon, Vietnam, 411-422, 25-27 November, 2020.
- Ismaili A., Yamaguchi T., Yokoo M., Student-Project-Resource Allocation: Complexity of The Symmetric Case, *International Conference on Principles and Practice of Multi-Agent Systems*, Springer, Cham, Tokyo, Japan, 226-241, 29 October - 2 November, 2018.
- Yahiro K., Yokoo M., Game Theoretic Analysis for Two-Sided Matching with Resource Allocation, *Proceedings of the 19th International Conference on Autonomous Agents and Multi-Agent Systems*, Auckland-New Zealand, 1548-1556, 9-13 May, 2020.
- Aderanti F.A., Amosa R.T., Oluwatobiloba A.A., Development of Student Project Allocation System Using Matching Algorithm, *International Conference of Science, Engineering & Environmental Technology (ICONSEET)*, 1 (22), 153-160, 2016.
- Proll L.G., A simple method of assigning projects to students, *J. Oper. Res. Soc.*, 23 (2), 195-201, 1972.
- Anwar A.A., Bahaj A.S., Student project allocation using integer programming, *IEEE Trans. Educ.*, 46 (3), 359-367, 2003.

30. Calvo-Serrano R., Guillén-Gosálbez G., Kohn S., Masters A., Mathematical programming approach for optimally allocating students' projects to academics in large cohorts, *Educ. Chem. Eng.*, 20, 11-21, 2017.
31. Pan L., Chu S.C., Han G., Huang J.Z., Multi-Criteria Student Project Allocation: A Case Study of Goal Programming Formulation with Dss Implementation, Eighth International Symposium on Operations Research and Its Applications (ISORA'09), Zhangjiajie, China, 75-82, 20-22 September, 2009.
32. Cavdur F., Sebatli A., Kose-Kucuk M., Rodoplu C., A two-phase binary-goal programming-based approach for optimal project-team formation, *J. Oper. Res. Soc.*, 70 (4), 689-706, 2019.
33. Cavdur F., Sebatli A., Köse-Küçük M., 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, 2019.
34. Baglarbasi-Mutlu M., Sebatli A., Cavdur F., Group Decision Making for Criteria Importance Determination in Student Project Team Formation Problems, 12th International Conference on New Challenges in Industrial Engineering and Operations Management, Ankara, Turkey, 141, 11-12 September, 2018.
35. Daş G.S., Altınkaynak B., Göçken T., Türker A.K., A set partitioning based goal programming model for the team formation problem, *Int. Tran. Oper. Res.*, 29 (1), 301-322, 2022.
36. Chiarandini M., Fagerberg R., Gualandi S., Handling preferences in student-project allocation, *Annals of Operations Research*, 275 (1), 39-78, 2019.
37. Cutshall R., Gavirneni S., Schultz K., Indiana University's Kelley School of Business uses integer programming to form equitable, cohesive student teams, *Interfaces*, 37 (3), 265-276, 2007.
38. Fitzpatrick E., Askin R., Goldberg J., Using Student Conative Behaviors and Technical Skills To Form Effective Project Teams, 31st Annual Frontiers in Education Conference, Impact on Engineering and Science Education, Conference Proceedings (Cat. No. 01CH37193), IEEE., Reno, NV, USA, Vol. 3, S2G-8-S2G-13, 10-13 October, 2001.
39. Maashi M.S., Almanea G., Alqurashi R., Alharbi N., Alharkan R., Alsadhan F., Solving Student-Project Research Assignment Problems Using a Novel Greedy Linear Heuristic Algorithm: A Case Study at King Saud University, Riyadh Saudi Arabia, *Biochem. Biophys. Res. Commun*, 13 (3), 1168-1173, 2020.
40. Binong J., Solving Student Project Allocation with Preference Through Weights, Proceedings of International Conference on Frontiers in Computing and Systems, Springer, Shillong, India, 423-430, September 29 - October 1, 2021.
41. Harper P.R., de Senna V., Vieira I.T., Shahani A.K., A genetic algorithm for the project assignment problem, *Comput. Oper. Res.*, 32 (5), 1255-1265, 2005.
42. Agustin-Blas L.E., Salcedo-Sanz S., Ortiz-Garcia E.G., Portilla-Figueras, A., Perez-Bellido A.M., A hybrid grouping genetic algorithm for assigning students to preferred laboratory groups, *Expert Syst. Appl.*, 36 (3), 7234-7241, 2009.
43. Hübscher R., Assigning students to groups using general and context-specific criteria, *IEEE Trans. Learn. Technol.*, 3 (3), 178-189, 2010.
44. Chown A.H., Cook C.J., Wilding, N.B., A simulated annealing approach to the student-project allocation problem, *Am. J. Phys.*, 86 (9), 701-708, 2018.
45. Kenekayoro P., Fawei B., 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, 2020.
46. Sahin Y.G., A team building model for software engineering courses term projects, *Computers & Education*, 56 (3), 916-922, 2011.
47. Alberola J.M., Val E.D., Sanchez-Anguix V., Julián V., A, General Framework for Testing Different Student Team Formation Strategies, Methodologies and Intelligent Systems for Technology Enhanced Learning, Springer, Cham, 23-31, 2016.

