

Sınav Çizelgeleme Problemi için Hedef Programlama Yaklaşımı ve Bir Uygulama

Zeynep CEYLAN^{1*}, Arzu YÜKSEL², Ayşegül YILDIZ², Büşra ŞİMŞAK²

¹Samsun Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, 55420, Samsun

²Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, 55139, Samsun

Geliş / Received: 17/01/2019, Kabul / Accepted: 13/05/2019

Öz

Sınav programlarının hazırlanması üniversitelerde karşılaşılan yorucu, karışık ve zaman alıcı görevlerden biridir. Sınav programı çizelgeleme, derslerin ve görevli öğretim elemanlarının hangi sınav salonunda ve hangi gün/saat diliminde atanmasını ifade eden bir zaman çizelgeleme problemidir. Ancak, çok sayıda ders, öğretim elemanı ve sınav salonunun varlığı problemi daha da karmaşık ve dolayısıyla hataya açık hale getirmektedir. Bu çalışmada, Ondokuz Mayıs Üniversitesi Endüstri Mühendisliği Bölümü 2018-2019 Güz yarıyılına ait ara sınav programının hazırlanması için yeni bir hedef programlama modeli geliştirilmiş ve GAMS/CPLEX programında çözülmüştür.

Önerilen model, öğretim elemanı atama ve sınav çizelgeleme problemi olmak üzere iki alt problemden oluşmaktadır. Birinci alt problem için amaç, aynı güne atanan başarı oranı %85'ten düşük sınavların mümkün olduğunca uzak zaman dilimine atanmasını sağlayarak öğrencilerin başarılı olmalarına yardımcı olmaktır. İkinci alt problem için amaç ise öğretim elemanlarının görev yükünü dengeleyerek arzu ettikleri gün ve saat dilimlerinde görev almalarını sağlamaktır. Hedef programı modeli ile hazırlanan sınav çizelgesi, bölüm öğretim elemanı tarafından manuel hazırlanan ve Ondokuz Mayıs Üniversitesi Mühendislik Fakültesi'nin resmî web sitesinde yayınlanan mevcut sınav programı ile karşılaştırılmıştır. Her iki amaç fonksiyonu için, hedef programlama modeli ile hazırlanan sınav programının, manuel hazırlanan sınav programına kıyasla daha iyi sonuç verdiği görülmüştür. Geliştirilen model esnek bir yapıya sahip olması nedeniyle farklı ihtiyaçlar doğrultusunda değiştirilerek etkin bir şekilde kullanılabilir.

Anahtar Kelimeler: Çok Amaçlı Model, GAMS, Hedef Programlama, Sınav Çizelgeleme Problemi

Goal Programming Approach for the Exam Scheduling Problem and An Application

Abstract

The preparation of exam programs is one of the exhausting, complicated and time-consuming tasks encountered in universities. Exam scheduling is a time scheduling problem that expresses which exams and examiners are assigned to which exam room and in which day/time zone. However, the existence of a large number of courses, examiners, and examination rooms makes the problem even more complex and therefore error-prone. In this study, a new goal programming model has been developed and solved by GAMS/CPLEX software in order to prepare the midterm exams for the 2018-2019 Fall Semester of the department of Industrial Engineering at Ondokuz Mayıs University.

The proposed model consists of two sub-problems: examiner assignment and exam scheduling. The aim of the first sub-problem is to help students succeed by providing assignment the exams far away as possible which assigned to the same day and have a lower success rate 85 %. The objective for the second sub-problem is to ensure that the examiners take part in the day and time zones they desire by balancing their duty load. The exam scheduling prepared with the goal programming model was compared with the available exam program which was prepared manually by the teaching assistant of department and published on the official website of the Faculty of Engineering of Ondokuz Mayıs University. For both objective functions, it was seen that the exam program prepared with the goal programming model gave better results than the manually prepared exam program. Since, the developed model has a flexible structure and can be used effectively by changing it according to different needs.

Keywords: Multi-Objective Model, GAMS, Goal Programming, Exam Scheduling Problem

1. Giriş

Çizelgeleme, performans kriterlerini en elverişli hale getirmeyi hedefleyip faaliyetlerin sınırlı miktardaki kaynaklara atanmasını ifade eden önemli bir araçtır. Çizelgeleme çalışmalarıyla, belirli bir zaman diliminde yapılacak olan işlerin kimler tarafından hangi sıralı aşamalardan geçip yapılması gerektiği açık bir biçimde gözlemlenebilmektedir. Zaman çizelgeleme, hizmet ve üretim sektöründe, akademik kurumlarda karşımıza çıkan önemli bir çizelgeleme problemidir. Literatürde zaman çizelgeleme problemleri; hemşire çizelgeleme, vardiya çizelgeleme, nakliye çizelgeleme, makine çizelgeleme, personel çizelgeleme ve eğitimsel zaman çizelgeleme gibi çeşitli biçimlerde ele alındığı görülmektedir (Ou vd., 2009).

Eğitimsel zaman çizelgeleme problemi ise gözetmen atama, sınav ve ders programı çizelgeleme problemi olarak karşımıza çıkmaktadır. Eğitim kurumlarında sınav programlarının el ile yapılması programı hazırlayan görevli öğretim elemanının bu süreçte fazla mesai harcamasına, stres altına girmesine ve dolayısıyla hata yapma olasılığının artmasına neden olmaktadır. Diğer bir yandan ise görevli öğretim elemanlarının ve öğrencilerin isteklerinin sağlanma çabası çizelgelerin yapılmasını daha da zorlaştırmaktadır.

Literatürde incelenen eğitimsel zaman çizelgeleme çalışmaları; sınavlarda görevli öğretim elemanlarının sınavlara adil atanmasını sağlamak, sınıflara ait seçmeli derslerde olabilecek çakışmaları minimize etmek, öğretim elemanlarının tercihlerini dikkate alarak memnuniyetlerini mümkün olan en üst düzeye çıkarmak, sınavların zorluk derecesine göre uygun zaman dilimine

atanmasını sağlamak ve öğretim kalitesini artırmak gibi farklı amaçları içermektedir.

Bu çalışmada, Ondokuz Mayıs Üniversitesi Endüstri Mühendisliği Bölümü'ne ait 2018-2019 güz yarıyılı ara sınav programı ele alınmıştır. Çalışmada, yeni bir hedef programlama modeli geliştirilmiş ve GAMS/CPLEX programında çözülmüştür. Geliştirilen hedef programlama modeli ile iki farklı amaca ulaşılmak istenilmiştir. Birinci amaç, sınavlara giren öğrencilerin başarısını maksimize etmektir. Bunu yaparken geçmiş senelerin ders başarı oranları dikkate alınarak aynı güne atanan başarı oranı düşük sınavların yakın saat dilimlerine atanmasını engelleyen ceza matrisi kullanılmış ve birinci amaç fonksiyonu minimize edilmeye çalışılmıştır. İkinci amaçla ise sınavlarda gözetmenlik yapacak öğretim elemanlarının görev yükünü dengeleyerek arzu ettikleri gün ve saat dilimlerinde görev almalarını sağlamak ve memnuniyetlerini mümkün olan en üst düzeye çıkarmak hedeflenmiştir. Bu amaçlar doğrultusunda belirlenen sınav tarihi içerisinde görevli öğretim elemanlarından hangi gün/saat diliminde görev almak istediklerini puanlandırmaları istenmiştir. Elde edilen veriler ile hedef programlama modeli geliştirilmiş ve çeşitli kısıtlar altında çözüme gidilmiştir.

2. Literatür Araştırması

Sınav çizelgeleme problemi, zaman çizelgesi problemleri içerisinde en yaygın olarak karşılaşılan bir problemdir. Her akademik kurumda farklı amaçların ve önceliklerin var olması farklı sınav çizelgeleme modellerinin oluşmasına neden olmuştur (Çoruhlu, 2007). Örneğin, Temur (2006) el ile yapılan bir ders programı çizelgesinde yer alan değişkenlerden faydalanarak bir tam sayılı programlama modeli oluşturup çözüm elde

etmiştir. Kalaycı (2008) çalışmasında zor olan sınavların birbirlerinden uzak zaman dilimlerine atanmasıyla en uygun sınav programı sağlamaya yönelik iki farklı genetik algoritma modeli önermiştir. Ayob vd. (2011) çalışmalarında, yüksek kaliteli bir sınav çizelgesi üretebilen bir akıllı ticari programlayıcı üretmeyi amaçlamışlardır. Altıntaş (2011) çalışmasında aynı dönem öğrencilerinin peş peşe olan sınavlarının arasındaki süreyi maksimize etmeyi hedeflemiştir.

Acar ve Şevkli (2013) çalışmalarında öğretim elemanlarının ve öğrencilerin isteklerini göz önüne alarak sınav çizelgeleme problemini ele almışlardır. Önerilen matematiksel model kısa zamanda çözüme ulaşamadığı için yeni sezgisel yöntem geliştirmişlerdir. Gerşil ve Palamutçuoğlu (2013) çalışmalarında ders programlarının verimliliğini arttırmak için yapay zekâ araçlarından biri olan genetik algoritma kullanmış ders programı hazırlayan ve optimize eden bir yazılım geliştirmişlerdir. Çalışmada, öğretim elemanlarının tercihlerini karşılamak, derslik kapasitesinin aşılmasını engellemek ve aynı öğretim elemanı tarafından verilen derslerin peş peşe günlere atanmasını engellemek gibi esnek kısıtların en iyi şekilde sağlanması hedeflenmiştir.

Köçken vd. (2014) çalışmalarında üniversitenin ilgili bölümlerinin ve öğretim elemanlarının isteklerini dikkate alarak öğretim kalitesini iyileştirmeyi hedefleyen matematiksel model geliştirmişlerdir. Matçı (2014) çalışmasında akademik personelin unvanına ve aldığı görev sayısına göre dengeli atama yapılmasını amaçlamıştır. Bergmann vd. (2014) çalışmalarında öğrencilerin ve öğretim elemanlarının gereksinimleri göz önünde bulundurarak hedef programlama modeli geliştirmişlerdir. Uçar vd. (2015) ders programı çizelgelemesi için yeni çok amaçlı

karışık tam sayılı matematiksel model geliştirmişler ve modelde objektif fonksiyon katsayısını belirlemek için bulanık AHP yöntemi kullanmışlardır. Hanum vd. (2015) çalışmalarında öğretim elemanlarının sınav dönemi boyunca ve 08:00-10:00 zaman dilimi arasında eşit görev almasını sağlayan hedef programlama modeli geliştirmişlerdir. Altunay ve Eren (2016) çalışmasında ders çizelgeleme problemini ele almış ve öğretim elemanlarının istekleri doğrultusunda derslerin en uygun derslik, gün ve zaman dilimine atanmasını hedeflemiştir.

Özçalıcı (2017) yapmış olduğu çalışmada sınav programlarındaki gözetmen atama problemini çözebilecek bir algoritma geliştirmiştir. Belirlenen bazı kısıtları da göz önünde bulundurarak algoritmayı MATLAB programında çözmüştür. Aslan vd. (2017) çalışmalarında sınavlara atanacak derslik sayısını en aza indirmeyi hedeflemişlerdir. Bununla birlikte, derslik sayısı minimize edildiğinde dersliklerde görev alacak gözetmen sayısının da azalacağını belirtmişlerdir. Muklason vd. (2017) sınav programı ile ilgili hem öğrenci başına adaletli zaman dağılımını sağlamak hem de esnek kısıt ihlallerini minimize etmek için sezgisel yöntem geliştirmişlerdir. Varlı vd. (2017) çalışmalarında öğretim elemanlarının ait olduğu bölüm dışındaki sınavlara atanmasını minimize etmeyi ve birbirine yakın olan sınavlara atanmasını engellemeyi amaçlayan hedef programlama modeli geliştirmişlerdir.

Aksu (2018) çalışmasında görevli öğretim elemanları arasında adil bir paylaşımın sağlanması için öğretim elemanlarına yüklenen gözetmenlik sayılarını ve sürelerini dengelemek için hedef programlama modeli geliştirmiştir. Seyfi (2018) çalışmasında Selçuk Üniversitesi Bilgisayar Mühendisliği Bölümüne ait dersleri içeren veri seti

kullanmıştır. Genetik algoritma (GA), parçacık sürüsü optimizasyonu (PSO) ve yapay arı kolonisi algoritması (YAKA) yöntemlerinin çizelgeleme problemlerin çözümünde kullanılabilir ve elle hazırlanan yöntemlerden çözüm kalitesi ve kısıt tatmini açısından daha iyi sonuçlar ürettiği sonucuna varmıştır. Tablo 1' de sınav/ders programı çizelgeleme problemi üzerine yapılan bazı çalışmaların özeti sunulmuştur.

3. Materyal ve Metot

Çalışmanın bu bölümünde hedef programlama modeline ve önerilen matematiksel modele ilişkin ayrıntılara yer verilmiştir.

3.1. Hedef programlama

Hedef programlama; ilk defa Charnes ve Cooper tarafından önerilmiş ve temeli doğrusal programlama yöntemine dayanan, birden fazla amacı olan problemleri, tek bir amacı olan probleme dönüştürmeyi sağlayan optimizasyon yöntemidir (Charnes ve Cooper, 1957). Bu yöntemin temelinde; hedefler belirlenir, amaçlar birer kısıt haline dönüştürülür ve önem derecesine göre hedeflerden sapmalar minimize edilmeye çalışılır.

Burada, hedefleri doğrudan optimize etmek yerine tahmini/beklenen hedef değerlerin elde edilmesi düşünülür. Bu yöntemde temel amaç, elde edilen değerler ile hedeflenen değerler arasındaki sapma değişkenlerin (S_i^+ , S_i^-) minimize edilmesidir. Eğer hedef sağlanmamışsa ve hedef değer üzerinde bir sonuç elde edilmişse pozitif sapma (S_i^+), hedef değer altındaysa negatif sapma (S_i^-) elde edilir. Genel hedef programlama modeli çeşitlerinin matematiksel olarak gösterimleri aşağıdaki gibi verilebilir.

$$\text{Min } Z = \sum_i^m (S_i^+ + S_i^-) \quad (i = 1, 2, \dots, m) \quad (1)$$

$$\text{Min } Z = \sum_i^m P_k (S_i^+ + S_i^-) \quad (i = 1, 2, \dots, m), \\ (k = 1, 2, \dots, K) \quad (2)$$

$$\text{Min } Z = \sum_i^m W_{km} P_k (S_i^+ + S_i^-) \quad (i = 1, 2, \dots, m), \\ (k = 1, 2, \dots, K) \quad (3)$$

Burada; i hedef sayısını, S_i^+ hedeften pozitif sapma miktarını, S_i^- i . hedeften negatif sapma miktarını, P_k hedeflerin öncelik sırasını, W_{km} ağırlıklandırma katsayısını ifade etmektedir.

1. Denklemden hedefler için öncelik sırası ve ağırlık söz konusu değildir. Hedefler eşit ağırlıklara sahiptir. Hedeflere ait sapmalar minimize edilmek istenir. İkinci denklemden hedeflerin öncelik sırası önemlidir. Öncelik sırası P_1 'den P_k 'ya gidildikçe önem derecesi azalmaktadır. 3. Denklemden ise öncelik sıralamasının yanı sıra ağırlıklar da önem kazanmaktadır.

3.2. Önerilen hedef programlama modeli

Bu çalışmada, sınav programı çizelgeleme probleminin çözümü için yeni bir hedef programlama modeli önerilmiş ve GAMS optimizasyon programında çözülmüştür.

Tablo 1. Sınav/ders programı çizelgeleme problemi üzerine yapılan bazı çalışmalar

Yıl	Yazar	Amaç/Vurgu	Çözüm Yaklaşımı	Çalışma Türü		Amaç Fonksiyonu	
				Sınav	Ders	Min	Max
2006	Temur	- Öğretim üyelerinin ders ve gün istekleri ile diğer bazı yönetsel istekler dikkate alınarak programın düzenlenmesini sağlamak	-Matematiksel Programlama		✓	✓	
2007	Çoruhlu	- Başkanların ve başkanlar ile gözetmenlerin görevli oldukları gün sayılarını en küçükmek -Tüm personelin hafta sonlarında görevli oldukları toplam gün sayılarını mümkün olduğu kadar birbirine eşitlemek.	-Hedef Programlama	✓		✓	
2008	Kalaycı	- Zorluk derecesi yüksek olan derslerin birbirinden mümkün olduğu kadar uzak zaman dilimlerine atanmasını sağlamak	-Genetik Algoritma	✓		✓	
2011	Ayob vd.	- Aynı gün içinde tekrar eden sınavlara sahip öğrenci sayısını minimize etmek - Sınavları sınav dönemi boyunca yaymak	-Hedef Programlama -Sezgisel Yöntem	✓		✓	
2011	Altıntaş	- Aynı dönem öğrencilerinin peş peşe olan sınavlarının arasındaki süreyi maksimize etmek	-Sezgisel Yöntem	✓			✓
2013	Acar ve Şevkli	- Aynı oturumda ve aynı günde sınava giren öğrenci sayısını minimize etmek	-Sezgisel Yöntem	✓		✓	
2013	Gerşil ve Palamutçuoğlu	- Esnek kısıtları en iyi şekilde sağlamak	-Hibrit Genetik Algoritma		✓		✓
2014	Köçken vd.	- Atamaların öğretim kalitesini artırması ve ilgili bölümdeki öğretim elemanlarının istekleri doğrultusunda yapılmasını sağlamak	-Matematiksel Programlama		✓		✓
2014	Matçı	- Sınavlara atanan öğretim elemanının unvanına ve aldığı görev sayısına göre dengeli atama yapılmasını sağlamak	-Matematiksel Programlama	✓		✓	
2014	Bergmann vd.	- Her öğrenci için sınav programının dengeli hazırlanmasını sağlamak - Her sınav için derslik sayısını minimize etmek - Sınavların uygun zaman aralıklarına atanmasını sağlamak	-Hedef Programlama	✓		✓	
2015	Uçar vd.	- Sınıflara ait seçmeli derslerin çakışmasını minimize etmek	-Matematiksel Programlama		✓	✓	
2015	Hanum vd.	- Her öğretim elemanın 08.00 – 10.00 zaman diliminde eşit sayıda görev almasını sağlamak	-Hedef Programlama	✓		✓	
2016	Altunay ve Eren	- Öğretim elemanlarının tercihlerini dikkate alarak memnuniyetlerini mümkün olan en üst düzeye çıkarmak	-Matematiksel Programlama		✓		✓
2017	Özçalıcı	- Öğretim elemanlarının aldığı görev sayısını minimize etmek	-Sezgisel yöntem	✓		✓	
2017	Aslan vd.	- Sınav dönemi boyunca açılan toplam derslik sayısını minimize ederek gözetmen başına düşen görev sayısını azaltmak	-Matematiksel Programlama	✓		✓	
2017	Muklason vd.	- Esnek kısıt ihlallerini minimize etmek - Öğrenci başına adaletli zaman dağılımını sağlamak	-Hedef Programlama -Sezgisel Yöntem	✓		✓	
2017	Varlı vd.	- Öğretim elemanlarının olabildiğince kendi bölümündeki sınavlara atanması - Öğretim elemanlarının olabildiği kadar ardı ardına olan sınavlara atanmaması	-Hedef Programlama	✓		✓	
2018	Aksu	- Gözetmenlerin tercihlerini en üst düzeyde dikkate almak	-Genetik Algoritma	✓		✓	
2018	Leite vd.	- Sınavların zorluk derecelerine göre uygun zaman dilimine atanmasını sağlamak	-Memetik Algoritma	✓		✓	
2018	Seyfi	- Sınavlar arasındaki boş zamanları maksimize etmek	-Genetik Algoritma -Parçacık Sürü Optimizasyonu -Yapay Arı Kolonisi Alg.	✓			✓

3.2.1. İndisler ve kümeler

Önerilen modele ait indisler ve tanım kümeleri aşağıda sunulduğu gibidir.

İndisler	Tanım Kümesi
i, v	Sınavlar (Dersler) $i = (1, 2, \dots, m, \dots, n, \dots, t, \dots, l)$
j	Gün $j = (1, 2, \dots, J)$
k, p	Zaman Dilimi $k = (1, 2, \dots, K)$
l	Görevli Öğretim Elemanı $l = (1, 2, \dots, L)$
A_i	1. Sınıf Sınavları $i \in \{1, 2, \dots, m\}$
B_i	2. Sınıf Sınavları $i \in \{m + 1, \dots, n\}$
C_i	3. Sınıf Sınavları $i \in \{n + 1, \dots, t\}$
D_i	4. Sınıf Sınavları $i \in \{t + 1, \dots, l\}$
E_i	Geçmiş yıllara göre başarı oranı %85'den düşük olan dersler

3.2.2. Parametreler ve tanımları

Matematiksel programlama modeline ilişkin kullanılan parametreler ve bu parametrelerin tanımları aşağıda verildiği gibidir.

Parametre	Parametre Tanımı
g_i	i dersinin sınavı için gerekli öğretim elemanı sayısı
b_{jk}	j . günün k . saat diliminde herhangi bir sınavın atanıp atanmadığını gösterir (j . günün k . saat diliminde herhangi bir sınav yapılabiliyorsa 1, diğer durumlarda 0.)
r_{jkl}	Her bir öğretim elemanı için oluşturulan gün ve saat dilimi bazındaki tercih matrisi
s_{kp}	Aynı güne atanan başarı oranı %85'ten düşük sınavların uzak saat dilimlerine (k ve p) atanmasını sağlayan ceza matrisi
$bigM$	Çok büyük pozitif bir sayı

3.2.3. Karar değişkenleri

Önerilen modele ait karar değişkenleri aşağıda verildiği gibidir.

Karar Değişkeni	Karar Değişkeni Tanımı
Y_{ijk}	i . dersin sınavı j . günün k . saat dilimine atanırsa 1, diğer durumlarda 0.
X_{ijkl}	l . öğretim elemanı i . dersin sınavına, j . günün, k . saat dilimine atanırsa 1, Diğer durumlarda 0.
U_{jtkvp}	j . günün k . ve p . zaman dilimlerine sırasıyla başarı oranı %85'ten düşük olan i ve v derslerinin sınavları atanıyorsa 1, diğer durumlarda 0.
S_1^+	Hedef için belirlenen değerden pozitif sapma miktarı
S_1^-	Hedef için belirlenen değerden negatif sapma miktarı
S_2^+	Hedef için belirlenen değerden pozitif sapma miktarı
S_2^-	Hedef için belirlenen değerden negatif sapma miktarı

3.2.4. Amaç fonksiyonları

Birinci amaç fonksiyonunda aynı güne atanan başarı oranı %85'ten düşük sınavların mümkün olduğunca uzak zaman dilimine atanmasını sağlayan cezalar minimize edilmektedir.

$$\min Z_1 = \sum_j \sum_{i \in E_i} \sum_k \sum_{v \in E_i} \sum_p U_{jikvp} * S_{kp} \quad (4)$$

İkinci amaç fonksiyonunda ise her bir öğretim elemanı için daha çok tercih edilen gün ve saat dilimine daha yüksek tercih değerleri atanarak

öğretim elemanlarının gün/saat dilimine ilişkin isteklerinin en yüksek seviyede karşılanması sağlanmaktadır.

$$\max Z_2 = \sum_i \sum_j \sum_k \sum_l r_{jkl} * X_{ijkl} \quad (5)$$

3.2.5 Kısıtlar

Aşağıda önerilen modelde, öğretim elemanı atama ve başarı oranlarına ilişkin sınav programı çizelgeleme olmak üzere iki ayrı amaç fonksiyonuna ait kısıtlar bulunmaktadır

$$\sum_j \sum_k \sum_l X_{ijkl} = g_i \quad \forall i \quad (1)$$

$$\sum_i Y_{ijk} \leq 1 \quad \forall j, k \quad (2)$$

$$\sum_j \sum_k Y_{ijk} = 1 \quad \forall i \quad (3)$$

$$Y_{ijk} \leq b_{jk} \quad \forall i, j, k \quad (4)$$

$$X_{ijkl} \leq Y_{ijk} \quad \forall i, j, k, l \quad (5)$$

$$\sum_i \sum_j \sum_k X_{ijkl} \leq \text{ceil} \sum_i \frac{g_i}{L} \quad \forall l \quad (6)$$

$$\sum_i \sum_j \sum_k X_{ijkl} \geq \text{floor} \sum_i \frac{g_i}{L} \quad \forall l \quad (7)$$

$$\sum_{i \in A_i} \sum_k Y_{ijk} \leq 1 \quad \forall j \quad (8)$$

$$\sum_{i \in B_i} \sum_k Y_{ijk} \leq 1 \quad \forall j \quad (9)$$

$$\sum_{i \in C_i} \sum_k Y_{ijk} \leq 1 \quad \forall j \quad (10)$$

$$\sum_{i \in D_i} \sum_k Y_{ijk} \leq 1 \quad \forall j \quad (11)$$

$$\sum_j \sum_k X_{16jk4} = 1 \quad (12)$$

$$\sum_j \sum_k X_{16,jk5} = 1 \quad (13)$$

$$Y_{143} = 1 \quad (14)$$

$$Y_{273} = 1 \quad (15)$$

$$Y_{364} = 1 \quad (16)$$

$$Y_{634} = 1 \quad (17)$$

$$Y_{5jk} + Y_{7jp} \leq 1 \quad \forall j \in J, k, p \in K \quad (18)$$

$$1 + U_{jikvp} \geq Y_{ijk} + Y_{vjp} \quad \forall j, k, p, (i, v \in E_i) \text{ ve } (i, k) \neq (v, p) \quad (19)$$

$$U_{jikvp} \leq Y_{ijk} \quad \forall j, k, p, (i, v \in E_i) \text{ ve } (i, k) \neq (v, p) \quad (20)$$

$$U_{jikvp} \leq Y_{vjp} \quad \forall j, k, p, (i, v \in E_i) \text{ ve } (i, k) \neq (v, p) \quad (21)$$

$$\sum_j \sum_{i \in E_i} \sum_k \sum_{v \in E_i} \sum_p U_{jikvp} * S_{kp} + S_1^- - S_1^+ = hedef1 \quad (22)$$

$$\sum_i \sum_j \sum_k \sum_l r_{jkl} * X_{ijkl} + S_2^- - S_2^+ = hedef2 \quad (23)$$

$$X_{ijkl}, Y_{ijk}, U_{jikvp} \in \{0,1\} \quad \forall i, j, k, l, v, p \quad (24)$$

$$S_1^-, S_1^+, S_2^-, S_2^+ \geq 0 \quad (25)$$

1. kısıt söz konusu dersin sınavına gerekli gözetmen sayısı kadar öğretim elemanı atanmasını sağlar. 2. kısıt sınav haftasının herhangi bir gününün herhangi bir saat dilimine en fazla bir sınav atanmasını sağlar. 3. kısıt atamaların eksiksiz yapılarak programda yer alan tüm sınavların mutlaka sınav haftasının herhangi bir gün ve zaman dilimine atanmasını sağlar. 4. kısıt üniversitede yapılacak ösym, aöf ve uzem gibi sınavlar sebebiyle derslerin bu sınavların bulunduğu gün ve saat dilimine atanmasını engeller. 5. kısıt üniversitede yapılacak ösym, aöf, ve uzem gibi sınavlar sebebiyle öğretim elemanlarının bu sınavların bulunduğu gün ve saat dilimine atanmasını engeller. 6 ve 7. kısıtlar her bir öğretim elemanlarının mümkün olduğunca eşit sayıda görev almasına ilişkin

oluşturulan kısıtlardır. 8. kısıt yoğun bir sınav programının oluşturulmasını engellemek amacıyla bir günde 1.sınıf derslerinin sınavlarından en fazla bir tanesinin atanmasını sağlar. 9. kısıt yoğun bir sınav programının oluşturulmasını engellemek amacıyla bir günde 2. sınıf derslerinin sınavlarından en fazla bir tanesinin atanmasını sağlar. 10. kısıt yoğun bir sınav programının oluşturulmasını engellemek amacıyla bir günde 3.sınıf derslerinin sınavlarından en fazla bir tanesinin atanmasını sağlar. 11. kısıt yoğun bir sınav programının oluşturulmasını engellemek amacıyla bir günde 4.sınıf derslerinin sınavlarından en fazla bir tanesinin atanmasını sağlar. 12. ve 13. kısıtlar ilgili dersin sınavına önceden belirlenen sorumlu öğretim elemanlarının (4. ve 5.) atanmasını sağlar.

14, 15, 16 ve 17. kısıtlar sırasıyla Fizik, Genel Kimya, Matematik, Türk Dili/Yabancı Dil gibi ortak ders sınavlarının dekanlık tarafından belirlenen gün ve saat dilimine atanmasını sağlar. 18. kısıt aynı güne bilgisayar salonu gerektiren iki dersin sınavının atanmasını engeller. 19, 20 ve 21. kısıtlar aynı günde birden fazla başarı oranı düşük sınavların olması durumunda U karar değişkeninin değer almasını sağlar. 22. kısıt ile aynı güne atanan başarı oranı %85'ten düşük sınavların mümkün olduğunca uzak zaman dilimine atanması ile hedefin en düşük olması sağlanmalıdır. 23. kısıtta her bir öğretim elemanı için daha çok tercih edilen gün ve saat dilimine daha yüksek tercih değerleri atanarak öğretim elemanlarının gün/saat dilimine ilişkin istekleri en yüksek seviyede karşılanmalıdır. 24 ve 25 numaralı kısıtlar matematiksel modelde yer alan karar değişkenlerine ait işaret kısıtlarıdır. 22. ve 23. kısıtların olmadığı matematiksel model, belirlenen iki ayrı amaç için çözülmüş ve 1. amaç fonksiyonu için $hedef_1$ değeri bulunurken 2. amaç fonksiyonu için ise $hedef_2$ değeri bulunmuştur. Önerilen hedef programlama modelinde hedeflerin farklı birimlerde olması sebebiyle normalizasyon işlemi uygulanmış ve böylelikle iki hedefin [0-1] aralığında aynı birime indirgenmesi sağlanmıştır (Malakooti, 2014). Böylelikle, amaçların normalize edilmesi için alt ve üst sınır değerler kullanılmıştır. Yalnızca 1. amaç fonksiyonunu en küçüklemeyi hedefleyen tek amaçlı matematiksel model "Model1" yalnızca 2. amaç fonksiyonunu en büyüklemeyi hedefleyen tek amaçlı

matematiksel model ise "Model2" olarak adlandırılmıştır (Tablo 2).

Tablo 2. Normalizasyon için Gerekli Veriler

Model No	1. Amaç Fonksiyonu	2. Amaç Fonksiyonu
Model1	$hedef_1$	f_2
Model2	f_1	$hedef_2$

Tablo 2'de gösterilen değerlere göre 22. ve 23. kısıtlar aşağıda verilen 26. ve 27. kısıtlar olarak güncellenmiştir. Çalışmada; birinci hedefin ikinci hedefe göre daha önemli olduğu düşünülerek öncelikli hedef programlama modeli önerilmiştir (P₁: 1. Öncelik, P₂: 2. Öncelik). Denklem (28)' de görüldüğü üzere önerilen hedef programlama modelinin amaç fonksiyonunda birinci hedef için S_1^+ sapma değişkeni ile ikinci hedef için S_2^- sapma değişkeni enküçüklenmeye çalışılmıştır. Sonuçlar elde edildikten sonra normalize edilmiş amaç fonksiyonu değerleri tekrar eski haline çevrilmiştir.

$$\min Z = P_1 S_1^+ + P_2 S_2^- \quad (28)$$

4. Uygulama

Bu çalışmada, Ondokuz Mayıs Üniversitesi Endüstri Mühendisliği bölümüne ait 2018-2019 güz yarıyılı ara sınav programı için yeni bir hedef programlama modeli geliştirilmiştir. Bu model, Intel® Core™ i7-5500U CPU @ 2.40GHz özelliklerine sahip bilgisayarda çözülmüştür. Sınavlar dokuz günlük sınav periyodunda ve beş farklı oturumda yapılmakta olup beş öğretim elemanı görev almaktadır.

$$\left(\sum_j \sum_{i \in E_i} \sum_k \sum_{v \in E_i} \sum_p U_{jikvp} * s_{kp} - hedef_1 \right) / (f_1 - hedef_1) + S_1^- - S_1^+ = 0 \quad (26)$$

$$\left(\sum_i \sum_j \sum_k \sum_l r_{jkl} * X_{ijkl} - f_2 \right) / (hedef_2 - f_2) + S_2^- - S_2^+ = 1 \quad (27)$$

Tablo 3. Güz Dönemi Ders Listesi ve Gerekli Öğretim Elemanı Sayısı

1.SINIF	Gerekli Ö. Elemanı Sayısı	2.SINIF	Gerekli Ö. Elemanı Sayısı	3.SINIF	Gerekli Ö. Elemanı Sayısı	4.SINIF	Gerekli Ö. Elemanı Sayısı
END103	5	END209	5	END329	2	END413	2
END101	3	END203	2	END303	2	END411	2
TBFİZ111	4	END205	3	END307	2	END405	2
TBKİM101	4	END201	3	END305	2	END401	2
TBMAT101	0	END207	2	ENDSEC5:	2	ENDSEC7:	2
				END315		END455	
				END319		END461	
YD111/ TDK211	0			END321	2		

Tablo 3’ de bölümün sınav programına ilişkin güz dönemi ders listesi ve gerekli öğretim elemanı sayısı verilmiştir. Listede her sınıfın sorumlu olduğu dersler gruplandırılmıştır (ENDSEC kapsamındaki dersler seçmeli dersler olup, aynı zaman dilimine atanması gerektiği için END315-EN319 ve END455- END461 dersleri sırasıyla ENDSEC5 ve ENDSEC7 şeklinde tek ders olarak düşünülmüştür. Aynı zamanda; YD111 ve TDK211 derslerinin sınavları dekanlığın belirlediği gün ve zaman diliminde yapılmaktadır. Ancak; bu dersler farklı sınıflara ait olmasına rağmen eş zamanlı yapıldığı için 1.sınıf dersi gibi tek ders olarak değerlendirilmiş ve modele dahil edilmiştir). Birinci amaç doğrultusunda, öğrenci başarısını maksimize edecek sınav atamasını sağlamak için geçmiş senelerin başarı oranlarından faydalanılmıştır. Tablo 3’de

başarı oranı %85’ten düşük olan dersler koyu olarak belirtilmiştir. Bu bakımdan, aynı güne atanan başarı oranı %85’den düşük sınavların mümkün olduğunca uzak zaman dilimlerine atanmasını sağlamak için s_{kp} ceza matrisi oluşturulmuştur. Ceza matrisine ilişkin veriler Tablo 4’te gösterilmiştir. Bu tabloya göre başarı oranı %85’den düşük sınavların aynı günde olması durumunda, aralarındaki zaman dilimi farkı göz önüne alınır. İki zaman diliminin aynı olması durumunda zorunlu bir kısıtın bozulmasını engellemek için 1000 ceza değerini almaktadır. Aynı şekilde sınavların yapılacağı zaman dilimleri arasındaki uzaklık azaldıkça ceza puanı logaritmik olarak artmaktadır. Ceza matrisi “ $2^{|k-(m-n)|}$ ” formülüyle elde edilmiştir. Burada, k sınav günündeki toplam zaman dilimi sayısını, m sınavın atandığı satır sayısını, n sınavın atandığı sütun sayısını ifade etmektedir.

Tablo 4. Ceza Matrisi, s_{kp}

Zaman Dilimi	08.00-10.00	10.00-12.00	13.00-15.00	15.00-17.00	17.00-19.00
08.00-10.00	1000	16	8	4	2
10.00-12.00	16	1000	16	8	4
13.00-15.00	8	16	1000	16	8
15.00-17.00	4	8	16	1000	16
17.00-19.00	2	4	8	16	1000

Tablo 5. Sınav Atanabilme Durumunu Gösteren b_{jk} Matrisi

Gün/Zaman Dilimi	08.00-10.00	10.00-12.00	13.00-15.00	15.00-17.00	17.00-19.00
Cumartesi (1)	0	0	0	0	1
Pazar (2)	0	0	0	1	1
Pazartesi (3)	1	1	1	1	0
Salı (4)	1	1	1	0	1
Çarşamba (5)	1	1	1	1	1
Perşembe (6)	1	1	1	1	0
Cuma (7)	1	1	1	0	1
Cumartesi (8)	0	0	0	0	0
Pazar (9)	0	0	0	0	0

Tablo 5'te b_{jk} matrisine ait veriler yapılamadığını göstermektedir. "1" değeri gösterilmektedir. "0" değeri alan hücreler, alan hücreler ise j. günün k. saat dilimine sınav takvimi içerisinde aöf, ales, uzem gibi sınav atamasının gerçekleştirilebileceğini sınavların olmasından dolayı sınav ataması göstermektedir.

Tablo 6. Önerilen Hedef Programlama Modelinin Çözümü

Ders Kodu	Sınav Günü	Zaman Dilimi	Öğretim Elemanı 1	Öğretim Elemanı 2	Öğretim Elemanı 3	Öğretim Elemanı 4	Öğretim Elemanı 5
END101	Cumartesi (1)	17:00-19:00		1	1	1	
END321	Pazar (2)	17:00-19:00		1			1
END203	Pazartesi (3)	08:00-10:00	1	1			
ENDSEC5	Pazartesi (3)	10:00-12:00		1			1
END411	Pazartesi (3)	13:00-15:00				1	1
YD111/TDK211	Pazartesi (3)	15:00-17:00					
END329	Salı (4)	08:00-10:00	1			1	
END209	Salı (4)	10:00-12:00	1	1	1	1	1
TBFİZ115	Salı (4)	13:00-15:00		1	1	1	1
END405	Salı (4)	17:00-19:00		1	1		
END103	Çarşamba (5)	10:00-12:00	1	1	1	1	1
END303	Çarşamba (5)	13:00-15:00		1			1
END413	Çarşamba (5)	15:00-17:00			1		1
END201	Çarşamba (5)	17:00-19:00	1	1	1		
END305	Perşembe (6)	08:00-10:00	1			1	
END207	Perşembe (6)	10:00-12:00	1		1		
END401	Perşembe (6)	13:00-15:00				1	1
TBMAT101	Perşembe (6)	15:00-17:00					
END307	Cuma (7)	08:00-10:00	1			1	
ENDSEC7	Cuma (7)	10:00-12:00			1	1	
TBKİM101	Cuma (7)	13:00-15:00	1		1	1	1
END205	Cuma (7)	17:00-19:00	1	1	1		
Toplam Görev Sayısı			10	11	11	11	10

Tablo 7. Önerilen Hedef Programlamaya göre Öğretim Elemanlarının İsteklerinin Gerçekleşme Oranı

Öncelikli Hedef Programlama Sonucu	Gerçekleşme Oranı (%)			
	Yüksek Ağırlıklı Tercih (3)	Orta Ağırlıklı Tercih (2)	Düşük Ağırlıklı Tercih (1)	İstenmeyen Tercih (0)
	67,92	15,09	11,32	5,66

İkinci amaçta ise Endüstri Mühendisliği bölümünde çalışan 5 öğretim elemanının istekleri göz önüne alınmıştır. Sınav takvimi içerisindeki gün ve zaman dilimlerine “3, 2, 1, 0” gibi ağırlıklar vermeleri istenmiştir. Bu ağırlıklar sırasıyla en yüksek ağırlıklı tercihten en düşük ağırlıklı tercihe doğru olacak şekilde sıralanmıştır. Önerilen hedef programlama modeline ait sonuçlar Tablo 6’da gösterilmiştir. Tablo 6’da görüldüğü üzere, aynı gün içerisinde başarı oranı %85’ten düşük olan birden fazla dersin sınavının atanabildiği görülmüştür. Örneğin, cuma günü END307 dersinin sınavı 08:00-10:00 zaman dilimine ve END205 dersinin sınavı 17:00-19:00 zaman dilimine atanmıştır. Başarı oranı %85’ten düşük olan bu iki dersin sınavı arasındaki zaman dilimi farkının mümkün olduğunca fazla olduğu görülmektedir. Aynı şekilde, çarşamba günü END103 dersinin sınavının 10:00-12:00 zaman dilimine ve END201 dersinin sınavının 17:00-19:00 zaman dilimine atanması ile aralarındaki zaman dilimi farkının fazla olduğu sonucuna varılmıştır. Bu derslerden birinin sınav bitiş saati ile diğerinin başlangıç saati arasındaki zaman farkının fazla olması ile öğrencilere daha çok çalışma, dinlenme ve motivasyon imkânı sağlanarak başarılı olmaları hedeflenmektedir.

Tablo 6’da görüldüğü üzere, öğretim elemanlarının dengeli ve adil bir şekilde atanması sağlanmıştır. Yapılan 53 atamanın; 36 tanesi (%67,92) yüksek ağırlıklı tercihe, 8 tanesi (%15,09) orta ağırlıklı tercihe, 6 tanesi (%11,32) düşük ağırlıklı tercihe ve 3 tanesi ise (%5,66) istenmeyen tercihe atanmıştır. Hedef programlama modelinin atama sonuçları ve öğretim elemanlarının isteklerinin ne derece karşılandığı Tablo 7’de matematiksel olarak ifade edilmiştir. Hedef programı modeli ile hazırlanan sınav programı, manuel hazırlanan ve Ondokuz Mayıs Üniversitesi Mühendislik Fakültesi’nin resmî web sitesinde yayınlanan sınav programı ile karşılaştırılmıştır. Manuel hazırlanan sınav programına göre yapılan 53 atamanın; 33 tanesi (%62,26) 1.tercihe, 7 tanesi (%13,21) 2.tercihe, 4 tanesi (%7,54) 3.tercihe, 9 tanesi (%16,98) istenmeyen tercihe atanmıştır. Manuel atamaların sonuçları ve öğretim elemanlarının isteklerinin ne derece karşılandığı Tablo 8’de matematiksel olarak ifade edilmiştir. Ayrıca, bölüm öğretim elemanı tarafından manuel hazırlanan sınav programında 1. Amaç fonksiyonun değeri (ceza puanları toplamı) “108” olarak hesaplanırken, hedef programlamada ise bu değer “46” olarak elde edilmiştir.

Tablo 8. Manuel Hazırlanan Programa Göre Öğretim Elemanlarının İsteklerinin Gerçekleşme Oranı

Manuel Hazırlanan Program Sonucu	Gerçekleşme Oranı (%)			
	Yüksek Ağırlıklı Tercih (3)	Orta Ağırlıklı Tercih (2)	Düşük Ağırlıklı Tercih (1)	İstenmeyen Tercih (0)
	62,26	13,21	7,54	16,98

5. Sonuçlar ve Tartışma

Ders/sınav programlarının çizelgelenmesi akademik birimlerde karşılaşılan en önemli problemlerden birisidir. Teknolojinin gün geçtikçe ilerlemesine rağmen birçok kurumda bu tür çizelgelenmeler manuel yapılmaktadır. Sınav çizelgeleme programlarının manuel yapılması, oluşabilecek herhangi bir aksaklığa (sınavların çakışması, dönem sınavlarının aynı gün içinde birden fazla yer alması, öğrenci kapasitesi vs.) ve zaman kaybına zemin hazırlamaktadır. Ayrıca stres ortamı yaratmakta ve mağduriyetler söz konusu olmaktadır.

Bu çalışmada, sınav programı çizelgeleme problemi için yeni bir öncelikli hedef programlama modeli geliştirilmiştir. Geliştirilen modelde iki farklı hedef belirlenmiştir. Sınavlara giren öğrencilerin başarısını maksimize etmek birinci ve öncelikli hedefdir. Bu hedefin gerçekleşmesi için geçmiş senelerin ders başarı oranları dikkate alınmıştır. Aynı güne atanan başarı oranı %85'ten düşük derslerin sınavlarının yakın zaman dilimlerine atanmasını engelleyen ceza matrisi kullanılarak birinci amaç fonksiyonu minimize edilmeye çalışılmıştır. İkinci hedef ise sınavlarda gözetmenlik yapacak öğretim elemanlarının tercihlerini dikkate alarak memnuniyetlerini mümkün olan en üst düzeye çıkarmaktır. Bunun için öğretim elemanlarından sınav takvimi içerisindeki uygun gün ve zaman dilimlerine "3, 2, 1, 0" gibi ağırlıklar vermeleri istenmiştir.

Bu çalışmada önerilen hedef programlama modeli, Ondokuz Mayıs Üniversitesi Endüstri Mühendisliği Bölümünün 2018-2019 Güz Yarıyılına ait ara sınav programının oluşturulmasında kullanılmıştır. Modelin çözümü için GAMS/CPLEX programı

kullanılarak çözüm elde edilmiştir. Hazırlanması uzun zaman alan sınav çizelgeleme programının süresi, geliştirilen model sayesinde kısa sürede çözülmüştür. Geliştirilen modelin başarısını doğrulamak ve kullanılabilirliğini test edebilmek için elde edilen sonuçlar bölüm öğretim elemanı tarafından manuel hazırlanan sınav programı ile karşılaştırılmıştır. Manuel hazırlanan sınav çizelgeleme programı incelendiğinde; öğretim elemanlarının en yüksek ağırlıktaki isteklerinin %62,26 oranında, istenmeyen isteklerinin ise %16,98 oranında gerçekleştiği görülmektedir. Geliştirilen modelin çözümü incelendiğinde; öğretim elemanlarının en yüksek ağırlıktaki isteklerinin %67,92 oranında, istenmeyen isteklerinin ise %5,66 oranında gerçekleştiği görülmektedir. Bu karşılaştırmaya göre önerilen hedef programlama modeli ile isteklerin daha yüksek oranda karşılandığı görülmektedir. Ayrıca hedef programlama modeli ile hazırlanan sınav programında aynı güne atanan ve başarı oranı %85'ten düşük olan derslerin sınavları arası zaman dilimi, manuel hazırlanan sınav programına kıyasla uzun olduğu görülmüştür.

İleriye dönük çalışmalarda, geliştirilen hedef programlama modeline yeni kısıtlar eklenerek model büyütülebilir veya farklı amaçlar doğrultusunda hedefler değiştirilebilir. Kullanılan öncelikli hedef programlama yerine ağırlıklı veya öncelikli ağırlıklı hedef programlama kullanılabilir.

6. Kaynaklar

Acar, M. F., & Şevkli, M. (2013). Sınav çizelgelemesi için matematiksel model yaklaşımı. *Verimlilik Dergisi*, 2013(1), 75-86.

Aksu, O.R. (2018). "Gözetmen Atama Problemine Yönelik Karşılaştırmalı bir Matematiksel Optimizasyon ve Genetik

- Algoritma Yaklaşımı: Bir Üniversite Uygulaması.”, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Altıntaş, C. (2011). “Sezgisel Algoritmalarla Sınav Çizelgeleme Problemi Çözümü”, Doktora tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Isparta.
- Altunay, H., & Tamer, Eren (2016). A 0-1 Integer Programming Model for the Course Scheduling Problem and A Case Study. *Uludağ University Journal of the Faculty of Engineering*, 21(2), 473-488.
- Aslan, E., Şimşek, T., & Karkacier, A. (2017). A Binary Integer Programming Model for Exam Scheduling Problem With Several Departments. *Bilgi Ekonomisi ve Yönetimi Dergisi*, 12(2), 169-175.
- Ayob, M., Hamdan, A. R., Abdullah, S., Othman, Z., Nazri, M. Z. A., Razak, K. A., ... Sabar, N. R. (2011). Intelligent Examination Timetabling Software. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 18, 600–608.
- Bergmann, L. K., Fischer, K., & Zurheide, S. (2014). A linear mixed-integer model for realistic examination timetabling problems. In *Proceedings of the 10th International Conference on the Practice and Theory of Automated Timetabling* (pp. 82-101).
- Charnes, A., & Cooper, W. W. (1957). Management models and industrial applications of linear programming. *Management Science*, 4(1), 38-91.
- Çoruhlu, A. (2007). “Sınav Personel Çizelgeleme Modeli”, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Gerşil, M., & Palamutçuoğlu, T. (2013). Ders Çizelgeleme Probleminin Melez Genetik Algoritmalar ile Performans Analizi. *Ömer Halisdemir Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 6(1), 242.
- Hanum, F., Romliyah, M. A., & Bakhtiar, T. (2015). Exam invigilators assignment problem: a goal programming approach. *Applied Mathematical Sciences*, 9(58), 2871-2880.
- Kalaycı, C. B. (2008). “Öğrenci Başarısına Odaklı Sınav Çizelgeleme Modeli ve Yazılım Uygulaması”, Yüksek Lisans Tezi, Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Pamukkale.
- Köçken, H. G., Özdemir, R., & Ahlatcıoğlu, M. (2014). Üniversite Ders Zaman Çizelgeleme Problemi için İkili Tamsayı Bir Model ve Bir Uygulama. *Istanbul University Journal of The School of Business*, 43(1), 28-54.
- Leite, N., Fernandes, C. M., Melício, F., & Rosa, A. C. (2018). A cellular memetic algorithm for the examination timetabling problem. *Computers & Operations Research*, 94, 118–138.
- Malakooti B. (2014). *Operations and Production Systems with Multiple Objectives*, John Wiley & Sons, A.B.D.
- Matçı, D.K. (2014). “Sınav Görevli Atama Problemine Bir Çözüm Önerisi: Anadolu Üniversitesi Uygulaması”, Yüksek Lisans Tezi, Anadolu Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Eskişehir.
- Muklason, A., Parkes, A. J., Özcan, E., McCollum, B., & McMullan, P. (2017). Fairness in examination timetabling: Student

preferences and extended formulations. *Applied Soft Computing*, 55, 302–318.

Özçalıcı, M. (2017). Sınavlara Gözetmen Atama Probleminin Çözümü için Takas Bazlı Bir Algoritma Önerisi. *İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 19(2), 492-506.

Seyfi, G. (2018). “Meta-sezgisel Algoritmalar Kullanılarak Sınav Çizelgeleme”, Doktora tezi, Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya.

Temur, B., (2006). “Investigating the Usability of Integer Programming for the Scheduling Process in an Educational Institute”, Master Thesis, Marmara University Institute for Graduate Studies in Pure and Applied Sciences, Istanbul.

Uçar, U., İşleyen, S., & Demir, Y. Üniversite Ders Çizelgeleme Probleminin Bulanık AHP ve Çok Amaçlı Karışık Tam Sayılı Matematiksel Modelle Çözümü (2015). *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi Part C: Tasarım ve Teknoloji*, 3(3), 513-523.

Varlı, E., Alağaç, H. M., Eren, T., & Özder, E. H. (2017). Sınav Görevlisi Atama Probleminin Hedef Programlama Yöntemiyle Çözümü. *Bilge International Journal of Science and Technology Research*, 1(2), 105-118.