

## SINAV ÇİZELGELEME PROBLEMİNDE SINIF VE GÖZETMEN ATAMALARI İÇİN İKİ AŞAMALI BİR ÇÖZÜM YAKLAŞIMI

*Merve KÖSE KÜÇÜK* \*<sup>ID</sup>

*Büşra TELLİOĞLU* †\*<sup>ID</sup>

*Fatih ÇAVDUR* \*<sup>ID</sup>

Alınma: 02.04.2020; düzeltme: 23.05.2020; kabul: 27.06.2020

**Öz:** Bu çalışmada, sınav çizelgeleme problemi için hedef programlama tabanlı bir çözüm yaklaşımı önerilmektedir. Yakın tarihli başka bir çalışma kapsamında çeşitli kriterler dikkate alınarak sınavların zaman dilimlerine atanması için bulanık mantık ve hedef programlama tabanlı bir yaklaşım geliştirilmiştir. Bu çalışmada ise sınav çizelgesinin tamamlanması amacıyla zaman dilimlerine atanmış olan sınavların, sınıf ve gözetmen atamalarının yapılması için iki aşamalı öncelikli hedef programlama tabanlı bir yaklaşım kullanılmıştır. Geliştirilen yaklaşımda, söz konusu hedef programlama modelleri ardışık olarak çözülerek, problem boyutunda azalma ve çözüm süresinde iyileşme sağlanması amaçlanmıştır. Önerilen yaklaşım, gerçek bir sınav çizelgeleme problemine uygulanmıştır. Elde edilen çizelgenin gerçek hayattaki çizelgeyle derslik kapasite kullanım oranları, toplam kullanılan derslik ve buna bağlı olarak gözetmen sayıları gibi çeşitli performans kriterleri açısından karşılaştırılması sonucunda önerilen yaklaşımın daha iyi sonuçlar ürettiği görülmüştür. Çalışma kapsamında, gözetmen tercihlerinin ve gözetmen başına sınav sürelerinin de dikkate alınmasıyla, gözetmenler için uygunluk ve iş yükü dengesinin de iyileştirilmesi sağlanmıştır. Buna ek olarak, atamaların gerçekleştirilme süreleri açısından da uzun süreler gerektiren gerçek-hayat problem çözüm süreci ile karşılaştırıldığında, önerilen yaklaşım kullanılarak çok daha kısa sürede atamalar gerçekleştirilebilmektedir.

**Anahtar Kelimeler:** Sınav Çizelgeleme, Matematiksel Programlama, Hedef Programlama, Sınıf Atama, Gözetmen Atama

### A Two-Phase Solution Approach for Classroom and Proctor Assignment in Exam Timetabling Problem

**Abstract:** In this study, a goal programming-based solution approach is proposed for exam timetabling problem. A fuzzy logic and goal programming-based approach is developed in a recent study for assigning exams to time slots considering some criteria. In this study, to complete the exam schedule, classroom and proctor assignments are performed for the exams assigned to time slots earlier using a two-phase preemptive goal programming-based approach. By solving the corresponding goal programs consecutively, it is aimed at decreasing problem size and improving solution time. Proposed approach is illustrated with a real-life problem. Comparing the resulted exam schedule with the real-life exam schedule in terms of some performance criteria, such as classroom utilizations, total number of classrooms and thus the number of required proctors, yields that the proposed approach produces better results. Considering proctor preferences and exam durations per proctor, it is also possible to improve proctor satisfaction and balance their workloads. Additionally, compared with the long durations spent for performing the allocations in the real-life problem, it is possible to perform the allocations much shorter time periods using the proposed approach.

\* Uludağ Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, Nilüfer, 16059 Bursa  
İletişim Yazarı: Büşra Tellioglu (bbusratellioglu@gmail.com)

**Keywords:** Exam Timetabling, Mathematical Programming, Goal Programming, Classroom Assignment, Proctor Assignment

## 1. GİRİŞ

Çizelgeleme, birçok üretim ve hizmet sürecinde, zaman ve kaynakların doğru kullanılmasını sağlayan bir karar verme sürecidir. Çizelgeleme problemleri arasında, sınav ve ders çizelgeleme, hemşire çizelgeleme, ulaşım çizelgeleme, personel çizelgeleme gibi zaman planlanması gerektiren faaliyetler, zaman çizelgeleme problemleri kapsamında değerlendirilebilir. Bu problemlerin özel bir alanı olan sınav çizelgeleme problemi, tüm akademik kurumlarda gerçekleştirilen ve üzerine birçok araştırmanın yapıldığı önemli çizelgeleme problemlerindedir. Bu problemle herhangi bir üniversitede, her akademik yılda, ara sınav ve yarıyıl sonu sınavları sürecinde birkaç kez karşılaşmakta ve problemin çözümü için zaman ve çabaya ihtiyaç duyulmaktadır.

Sınav çizelgeleme problemi, (i) sınavların zaman dilimlerine atanması, (ii) belirli zaman dilimindeki sınavların sınıflara atanması ve (iii) gözetmenlerin atanması olarak üç aşamada incelenebilir. Bu kapsamda, sınav çizelgeleme problemi; öğrencilerin aynı anda birden fazla sınava girmemeleri, sınıf kapasiteleri, gözetmen sayısı, sınav döneminin kısıtlı olması gibi çizelgeleme problemlerine özgü genel kısıtlamaların dışında öğretim üyeleri, gözetmenler ve öğrenciler gibi çeşitli grupların taleplerini içermektedir. Bazı çalışmalarda genel problem kısıtlarına ek olarak bu grupların taleplerini karşılamak, sınav çizelgeleme probleminin çözümünü daha da zor hale getirebilmektedir. Bu nedenle, her grup için mükemmel bir sınav çizelgesi oluşturmak genellikle mümkün olmadığından, sınav çizelgelemeden sorumlu kişiler herkes için adil ve dengeli bir sınav çizelgesi oluşturmayı amaçlamaktadır.

Bu çalışma, Cavdur ve Kose (2016) tarafından, Bursa Uludağ Üniversitesi-Endüstri Mühendisliği Bölümü'nde sınav çizelgesi oluşturmak için yapılan çalışmanın bir uzantısı olarak gerçekleştirilmiştir. Cavdur ve Kose (2016) tarafından yapılan çalışmada, sınav çizelgeleme probleminin çözümü için bulanık mantık ve hedef programlama tabanlı bir çözüm yaklaşımı önerilmiştir. Bu çalışmada ise yazarlar tarafından yapılan çalışma sonucu belirli zaman dilimlerine atanan sınavların, sınıf ve gözetmen atamalarının yapılması amacıyla öncelikli hedef programlama tabanlı bir çözüm yaklaşımı geliştirilmiştir. Önerilen çözüm yaklaşımına göre, ilgili aşamadaki söz konusu hedef programlama modeli, önceki aşamanın optimal amaç fonksiyonunu değerini kısıt olarak kullanarak çözülmektedir. Geliştirilen hedef programlama modellerinin ardışık olarak ayrı ayrı çözülmesi, problem boyutunun azalmasını ve çözüm süresinin iyileşmesini sağlamaktadır.

Çalışma kapsamındaki uygulama için dikkate alınan birim olan Bursa Uludağ Üniversitesi-Endüstri Mühendisliği Bölümü'nde, her yarıyılıda vize, final ve bütünleme sınavları olmak üzere üç sınav dönemi bulunmaktadır. Her sınav döneminde, bir öğrencinin sorumlu olduğu genellikle 9-10 sınavı bulunmaktadır. Sınav sayısı daha önce bir dersten başarısız olup tekrar kayıt yaptıran veya bulunduğu dönemden sonraki döneme ait dersleri alan öğrenciler için daha fazla da olabilmektedir. Yapılan çalışma kapsamında önerilen çözüm yaklaşımı iki haftadan (10 iş-günü, 4 zaman aralığı/gün) oluşan bir final döneminde, belirli zaman dilimlerine atanan sınavların, sınıf ve gözetmen atamalarının yapılması amacıyla kullanılmıştır.

Çalışmada, Cavdur ve Kose (2016) tarafından yapılan çalışma sonucu elde edilen sınav-zaman dilimi ikilileri, sınıf ve gözetmen atama problemlerinin çözümü için girdi olarak kullanılmıştır. Ele alınan sınav çizelgeleme problemi, birinci aşaması sınıf atamalarını, ikinci aşaması ise gözetmen atamalarını içerecek şekilde iki aşamadan oluşmaktadır. Geliştirilen çözüm yaklaşımı benzer şekilde iki aşamalı bir atama yapısına sahiptir. İlk aşamada sınav-sınıf atamaları yapılırken, (i) sınıf kapasiteleri, (ii) sınava girecek öğrenci sayıları ve (iii) sınav-zaman dilimi ikilileri olmak üzere üç kriter dikkate alınmıştır. İlk aşamada sınıf atamaları yapıldıktan sonra, ikinci aşamada açılan sınıflarda gözetmenlik yapacak öğretim üyelerinin atamaları

gerçekleştirilmektedir. Gözetmen atamaları yapılırken ele alınan üç kriter; (i) gözetmen tercihleri, (ii) bir gözetmene atanan toplam sınav sayısı ve (iii) bir gözetmene atanan sınavların toplam süresidir. Her iki aşama için öncelikli hedef programlama temelli bir çözüm yaklaşımı önerilmektedir. Önerilen yaklaşımda (i) açılan sınıf sayısının en küçüklenmesi, (ii) sınıflara dengeli ve homojen öğrenci dağılımı, (iii) öğretim üyesi uygunlukları olmak üzere üç kavramın üzerinde önemle durulmaktadır. Homojenlik kavramı ile her sınıfa atanan öğrenci sayısının eşit olması sağlanarak, açılan tüm sınıfların kapasite kullanım oranının en yüksek düzeyde olması amaçlanmıştır. Bir diğer önemli kavram olan tercihlerin dikkate alınmasıyla öğretim üyesi memnuniyetinin sağlanması ve gözetmenler arasında adil iş yükü dağılımı hedeflenmektedir. Önerilen model ile kısıtlı kaynaklar etkin bir şekilde kullanılarak, öğretim üyeleri, gözetmenler ve öğrencilerin istekleri karşılanmaya çalışılmıştır. Geliştirilen çözüm yaklaşımı sonucunda elde edilen çizelge, çeşitli performans kriterleri açısından mevcut durumda uygulanan çizelge ile karşılaştırılmış ve geliştirilen model ile kısa sürede ve dikkate alınan performans kriterleri açısından başarılı bir çizelgenin oluşturulması sağlanmıştır.

Çalışmanın ikinci bölümünde, literatürdeki ilgili çalışmalar incelenmiştir. Üçüncü bölümde, geliştirilen hedef programlama modelleri ayrıntıları ile açıklanmaktadır. Dördüncü bölümde, önerilen yaklaşımın uygulanması sonucu elde edilen bulgular sunulmaktadır. Beşinci bölümde ise yapılan çalışma ile ilgili bir tartışma yer almaktadır.

## 2. LİTERATÜR TARAMASI

Geçmişte yapılan sınav çizelgeleme problemi çalışmaları incelendiğinde, sınav çizelgeleme probleminin yöneylem araştırmasında sıklıkla çalışılan problemler arasında olduğu görülmektedir. Sınav çizelgeleme problemi, sınavların belirli zaman dilimlerine atanmasını sonrasında ise sınıf ve gözetmen atamalarının yapılmasını içermektedir. Bu sebeple sınav çizelgeleme problemi, problemin karmaşıklığına bağlı olarak çeşitli tiplerde birçok kısıt içermektedir. Örneğin sınav zaman çizelgeleme problemi uygulamalarında ortaya çıkan yaklaşımlarla ilgili daha fazla ayrıntı Carter ve Laporte (1995) tarafından yapılan çalışmada verilmiştir. Yazarlar tarafından yapılan çalışmada, sınav çizelgeleme probleminin çözümü için sınıf kapasitelerinin dikkate alındığı bir yaklaşım geliştirilmiştir. Burke ve diğ. (1996) tarafından yapılan çalışmada, üniversite sınav çizelgeleme problemine odaklanılmıştır. Yazarlar tarafından yapılan çalışmada, 50'den fazla İngiliz üniversitesinde sınav çizelgeleme problemi ele alınmıştır ve her üniversitenin gereksinimleri analiz edilmiştir. Yapılan çalışmada, sınav çizelgeleme probleminin kısıtlarının üniversiteden üniversiteye farklılıklar gösterdiği vurgulanmıştır. Schaerf (1999) tarafından yapılan bir diğer çalışmada ise zaman çizelgeleme probleminin çeşitli formülasyonları olan sınav çizelgeleme, ders programı çizelgeleme problemleri ile bu problemlerin çözümü için kullanılan teknikler ve algoritmalar araştırılmıştır. Burke ve Petrovic (2002) tarafından yapılan çalışmada ise üniversite ders çizelgeleme problemlerine odaklanılmıştır. Yapılan çalışma ile Nottingham Üniversitesi Otomatik Zamanlama, Optimizasyon ve Planlama Araştırma Grubu'nda (ASAP) geliştirilen veya geliştirilmekte olan çizelgeleme problemlerine genel bir bakış açısı sunulmuştur. Daskalaki ve diğ. (2004) tarafından yapılan çalışmada, üniversite çizelgeleme problemi tam sayılı programlama modeli ile formüle edilmiştir. Çalışmada problem boyutundan kaynaklanan hesaplama zorluklarından kaçınmak için geliştirilen matematiksel programlama modeli, iki aşamada çözülmüştür. MirHassani ve Habibi (2013) tarafından yapılan çalışmada eğitim amaçlı zaman çizelgeleme problemi; (i) sınav zaman çizelgesi ve (ii) ders zaman çizelgesi olmak üzere iki ana kategoriye ayrılmıştır ve ders zaman çizelgeleme problemine odaklanılmıştır. Yazarlar tarafından yapılan çalışmada problemin çözümü için geliştirilen yaklaşımlar incelenmiştir. Çalışmada büyük problemlerin daha küçük problemlere ayrıştırılması ve sezgisel yöntemlerin kullanılmasının önemi üzerinde durulmuştur.

Dorneles ve diğ. (2017) tarafından yapılan bir diğer çalışmada ise lise zaman çizelgeleme problemi ele alınmıştır. Yapılan çalışmada problemin çözümü için bir çoklu-emptia akış modeli

önerilmiştir. Buna ek olarak, Dantzig-Wolfe ayrıştırma yöntemi önerilen modele uygulanmış, bir sütun üretme algoritması geliştirilmiş ve yöntemin kalitesini değerlendirmek amacıyla deneysel sonuçlar sunulmuştur. Saraç ve diğ. (2019) tarafından yapılan çalışmada oturma sayısının belirsiz olduğu bir sınav çizelgeleme probleminin çözümü için hedef programlama modeli önerilmiştir. Önerilen modelin gerçek hayat problemlerini çözmedeki başarısı, bir üniversitenin gerçek verileri kullanılarak test edilmiştir. Elde edilen sonuçlar mevcut çizelge ile karşılaştırıldığında, geliştirilen model ile kısa sürede başarılı çizelgelerin uzman kişilere ihtiyaç duyulmadan elde edilmiştir. Saat ve diğ. (2019) tarafından yapılan bir başka çalışmada ise sınav çizelgesinin oluşturulması amacıyla eMaS adlı bir uzman sistem önerilmiştir. Önerilen uzman sistem ile sınav çizelgeleme probleminin kısıtlamaları (derslik doluluk oranı, gözetmen tercihi, öğrenci istekleri, vb.) dikkate alınarak probleme yönelik kesin ve hızlı çözüm sağlanması amaçlanmıştır. Bu sistem ile kullanıcılarının sınav yeri ve zamanı ile ilgili tüm isteklerinin maksimum oranda karşılanması hedeflenmiş olup otomatik olarak sınav çizelgesinin oluşturulması sağlanmıştır.

Literatürde yer alan çalışmalar incelendiğinde, sınav çizelgeleme probleminin karmaşıklık düzeyinin yüksek olması nedeniyle, problemin çözümü için sezgisel yöntemlerin de sıklıkla kullanıldığı görülmüştür. Örneğin, Eley (2006) tarafından yapılan çalışmada, öğrencilerin sorumlu olduğu iki sınavın aynı dönemde çizelgelenmesini en aza indirilmesi amacıyla karınca kolonisi algoritması kullanılmıştır. Pillay ve Banzhaf (2010) tarafından yapılan bir diğer çalışmada problemin çözümü için genetik algoritma kullanılırken, Chu ve diğ. (2006) tarafından yapılan çalışmada ise sınav çizelgeleme probleminin çözümü için parçacık sürü optimizasyonu algoritması önerilmiştir. Yazarlar tarafından yapılan çalışmada, önerilen yaklaşım sonucu parçacık sürü optimizasyonu algoritmasının zaman çizelgeleme probleminin çözümü için etkin bir yöntem olduğu ve oluşturulan çizelgede herhangi bir çakışma olmadığı görülmüştür. Aldeeb ve diğ. (2019) tarafından yapılan bir başka çalışmada, kombinatoriyal optimizasyon ve çözümü zor problem sınıfından olan üniversite sınav çizelgeleme problemi ile ilgili geçmiş çalışmalar incelenmiştir. Üniversite çizelgeleme probleminin ele alındığı geçmiş çalışmalarda problemin çözümü için önerilen sezgisel algoritmaların ve bu algoritmaları diğer yöntemlerden ayıran özellikleri üzerinde durulmuştur. Abou Kasm ve diğ. (2019) tarafından yapılan çalışmada ise lisansüstü bir kurum olan Masdar Enstitüsü (MI) için sınav çizelgesinin oluşturulması amaçlanmıştır. Çalışmada ele alınan sınav çizelgeleme probleminde, öğrenciler için çatışan kısıtların tanımlanmalarının yanı sıra dersliklerin sınırlı kapasitelerinin, gözetmen taleplerinin ve önceden belirlenmiş bir gün aralığında bir öğrenci için planlanan maksimum sınav sayısı gibi kısıtlar dikkate alınmıştır. Tüm bu kısıtlamaları içeren problem bir tamsayı programlama formülasyonu ile modellenirken, büyük boyutlu problemlerin çözümü için sezgisel bir çözüm yaklaşımı önerilmiştir. Önerilen sezgisel yaklaşımın her aşamasında ağ renklendirme algoritmaları (graph coloring) kullanılmaktadır. Önerilen yaklaşımın uygulanabilirliğinin test edilmesi ve diğer yaklaşımlarla karşılaştırılabilmesi amacıyla dört adet gerçek-hayat probleminin çözümü sağlanmıştır. Yadollahi ve Razavi (2019) tarafından yapılan bir diğer çalışmada, sınav çizelgeleme probleminin çözümü için yeni bir yöntem olan yapay balık sürüsü algoritması (artificial fish swarm algorithm-AFSA) yaklaşımı önerilmiştir. Önerilen yaklaşım diğer algoritmalar ile problemin çözümü üzerindeki etkinliği, verimliliği gibi çeşitli performans parametreleri üzerinden karşılaştırılmış ve önerilen yaklaşım ile çeşitli test problemlerinde başarılı sonuçlar üretildiği gözlenmiştir. June ve diğ. (2019) tarafından yapılan çalışmada sınav çizelgeleme problemi kısıtları zorunlu ve esnek kısıtlar olarak kategorize edilmiş olup çalışmada esnek kısıtlar dikkate alınmamıştır. Ele alınan problemin çözümü için kısıt programlama ve tavlama benzetimi olmak üzere iki yaklaşım önerilmiştir. Önerilen kısıt programlama yaklaşımı ile olurlu bir çözüm üretilirken, tavlama benzetimi yaklaşımı ile çözüm kalitesinin artırılması amaçlanmıştır. Önerilen yaklaşımların test edilmesi amacıyla iki farklı veri seti kullanılmış, bu yaklaşımların örnek verilere bakılmaksızın başarılı sonuçlar elde ettiği gözlenmiştir. Leiti ve diğ. (2019) tarafından yapılan bir başka çalışmada sınav çizelgeleme probleminin çözümü için tavlama benzetimi algoritmasının bir varyasyonu olarak hızlı-tavlama benzetimi algoritması (fast-

simulated annealing) önerilmiştir. Önerilen bu yaklaşımda her bir tavlama sıcaklığı güncellemesinde bir önceki sıcaklık değerinde kabul edilen çözümlerin kullanılarak çözüm kalitesinin iyileştirilmesi ve en iyi çözüme ulaşma süresinin kısaltılması amaçlanmıştır. Bu yaklaşım ile klasik tavlama benzetimi yaklaşımı, karşılaştırmalı veri setleri üzerinde karşılaştırılarak önerilen yaklaşımın performansı test edilmiş olup önerilen yaklaşımın daha kısa sürede en iyi çözüme ulaştığı gözlenmiştir.

Bu çalışmaya temel teşkil eden Cavdur ve Kose (2016) tarafından yapılan çalışmada ise sınav çizelgeleme probleminin çözümü için sınav kritiklik seviyelerini dikkate alan iki aşamalı bir çözüm yaklaşımı geliştirilmiştir. Problem çözümünün ilk aşamasında, bulanık mantık tabanlı bir yaklaşım kullanılarak sınavların kritiklik seviyeleri tespit edilmiştir. Geliştirilen yaklaşımın ikinci aşamasında ise sınav kritiklik seviyeleri, hedef programlama modeli için girdi olarak kullanılmış ve dengeli bir sınav çizelgesi oluşturulmuştur.

Sınav çizelgeleme probleminde sınıf atamaları, belirli zaman dilimlerine atanan sınavların uygun sınıflara atanmasını olarak tanımlanır. Carter ve Tovey (1992) tarafından yapılan çalışmada sınıf atama problemi ayrıntılı olarak analiz edilmiştir ve çeşitli alternatif formülasyonları verilmiştir. Ayrıca, problemin hangi durumlarda çözülebilir hangi durumlarda NP-zor olduğu gösterilmiştir. Ferland ve Roy (1985) tarafından yapılan çalışmada, sınıf atama problemi ikinci dereceden bir atama problemi olarak formüle edilmiştir. Dammak ve diğ. (2006) tarafından yapılan çalışmada ise sınav çizelgelemede sınıf atama probleminin çözümünde, problem boyutunun en küçüklenmesi ve sınıf kapasitelerinin tam olarak kullanılması amacıyla sezgisel bir prosedür geliştirilmiştir. Kahar ve Kendall (2010) tarafından yapılan çalışmada, sınav çizelgeleme probleminin çözüm başarısının artması amacıyla sınıf atamalarını ikinci aşama olarak çözenin önemi ortaya konulmuştur. Böylelikle gerçek zamanlı ve kapasiteye uygun bir sınav çizelgeleme problemi ele alınmıştır.

Al-Yakoob ve diğ. (2010) tarafından yapılan çalışmada, Kuveyt Üniversitesi'nde ele alınan sınav çizelgeleme probleminin çözümü için karışık tamsayılı programlama modeli kullanılmıştır. Yazarlar tarafından yapılan çalışmada, (i) sınavları belirli zaman dilimlerine ve sınıflara atama konusunda özelleşmiş sınav zaman çizelgeleme problemi, (ii) gözetmenlerin belirli zaman dilimlerinde yapılan sınavlara atanmasını sağlayan gözetmen atama problemi olmak üzere iki alt problem dikkate alınmıştır. Mansour ve diğ. (2011) tarafından yapılan çalışmada ise sınav çizelgeleme problemi, sınavların zaman dilimlerine ve sınıflara atama sürecini, sınıf kapasitelerini dikkate alan çok amaçlı bir amaç fonksiyonu ile formüle edilmiştir. Elloumi ve diğ. (2014) tarafından yapılan bir diğer çalışmada, açılan sınıfların toplam kapasitesinin ve problem boyutunun en küçüklenmesi için değişken komşuluk arama (Variable Neighborhood Search-VNS) algoritması önerilmiştir. Dener ve Calp (2018) merkezi sınav organizasyonlarının gerçekleştirilmesi amacıyla, birinci aşamada derslerin zaman dilimlerine atanması, ikinci aşamada ise derslik atamaları için iki aşamalı genetik algoritma önermiştir. Ayrıca yapılan çalışmada kullanılabilir arayüzü olan bir yazılım geliştirilerek, sınav çizelgelerinin oluşturulması için harcanan işgücü ve zamanın en aza indirilmesi hedeflenmiştir. Tapkan (2019) tarafından yapılan bir başka çalışmada ise üniversite final zaman çizelgesi oluşturma probleminin çözümü için karma tamsayılı bir matematiksel model önerilmiştir. Yapılan çalışmada önerilen model bir gerçek hayat problemine uygulanmış ve kullanılan derslik sayısı, derslik doluluk oranı gibi çeşitli kriterler açısından, sınav programından sorumlu kişilerce hazırlanan final programına göre daha etkin sonuçlar elde edilmiştir.

Gözetmen atama problemi, farklı zaman dilimlerine ve farklı sınıflara atanan sınavlar için sorumlu gözetmenlerin atanmasını içermektedir. Gözetmen atama problemi ile ilgili yapılmış önceki çalışmalar incelendiğinde, bu problemin personel çizelgeleme problemi ile benzerlikler içerdiği ve problemin çözümü için çeşitli yaklaşımlar geliştirildiği görülmüştür. Personel çizelgeleme problemi, kuruluşların üretim ve hizmetlerini sunabilmeleri için çalışanların belirli vardiyalara atanması ile ilgili olan bir planlama sürecidir. Gözetmen atama probleminde çalışanlar gözetmenler, vardiya ise sınav zamanları olarak tanımlanabilir. Meisels ve diğ. (1996) ve Meisels

ve Kaplansky (2004) tarafından yapılan çalışmada, personel çizelgeleme problemi, yan kısıtlamalı ağlar ile temsil edilmiştir. Mukherjee ve Gilbert (1997) tarafından yapılan çalışmada, yönetici geliştirme programlarında öğretmenlerin görevlendirilmesi problemi 0-1 karışık tamsayılı programlama modeli ile formüle edilmiştir. Beaumont (1997) tarafından yapılan çalışmada ise işgücünü haftanın gününe ve günün saatine göre belirgin bir şekilde değişen personel çizelgeleme probleminde talebi karşılamak amacıyla karışık tamsayılı programlama modeli önerilmiştir. Mullinax ve Lawley (2002) tarafından yapılan bir diğer çalışmada, hemşire iş yükü dağılımının eşit olması amacıyla, hastaları hemşirelere atayan doğrusal tamsayı programlama modeli önerilmiştir. Al-Yakoob ve Sherali (2006) tarafından yapılan çalışmada öğretim üyelerinin derslere atanması için karışık tamsayılı programlama modeli geliştirilmiştir. Böylece öğretim üyelerinin memnuniyetsizlik düzeylerinin adil bir şekilde en küçüklenmesi amaçlanmıştır. Veenstra ve Vis (2016) tarafından yapılan bir diğer çalışmada, ders çizelgeleme probleminde önceden tahmin edilemeyen belirsizlikler altında sınıf ve gözetmen atama probleminin çözümü için yöntemler önerilmiştir.

Sınav çizelgeleme probleminde geçmişte yapılan çalışmalar incelendiğinde başlıca iki tip kısıttan bahsedilebilir. Bunlardan ilki, zorunlu veya katı kısıtlar olan aynı zaman diliminde bir sınıfa birden fazla sınav atanmaması, öğrenci veya personelin herhangi bir zamanda birden fazla yerde olmaması gibi problem kısıtları, diğeri ise öğrenci, öğretim üyeleri ve gözetmenlerin tercihlerini içeren esnek kısıtlardır. Problemin çözümünde aynı anda hem zorunlu hem de esnek kısıtları sağlayan ideal bir çözüm bulmak genellikle mümkün değildir. Bu koşullar altında kabul edilebilir bir sınav çizelgesi oluşturmak için zorunlu kısıtlar sağlanmalı esnek kısıtlar ise mümkün oldukça en yüksek düzeyde sağlanmalıdır. Bu nedenle, sınav çizelgeleme problemi, çok amaçlı optimizasyon problemi olarak formüle edilebilmektedir. Kullanılan diğer yaklaşımların yanı sıra, bu çalışmada olduğu gibi hedef programlama modeli sınav çizelgeleme probleminin çözümü için birçok çalışmada kullanılmıştır. Sınıf ve gözetmen atamalarında genellikle dikkate alınan hedefler; (i) açılan sınıf sayısının en küçüklenmesi, (ii) sınava girecek öğrenci sayılarının sınıflara dengeli olarak dağılması, (iii) gözetmen tercihlerinin sağlanması ve (iv) gözetmenlerin sınav yüklerinin eşit sayıda olması ile ilgilidir.

Literatürde bulunan çalışmalar incelendiğinde dikkate alınan hedef programlama yaklaşımı, çok amaçlı sınav çizelgeleme probleminin çözümü için uygun bir çözüm yaklaşımı olarak karşımıza çıkmaktadır. Harwood ve Lawless (1975) tarafından yapılan çalışmada, öğretim üyelerinin isteklerini göz önünde bulunduran, hedef programlama ve karışık tamsayılı programlama yöntemi, ders programı çizelgeleme probleminin çözümü için önerilmiştir. Badri (1996) tarafından yapılan çalışmada ise ders çizelgeleme probleminin çözümü için, öğretim üyelerinin tercihlerini dikkate alan, çok amaçlı 0-1 tamsayılı programlama modeli formüle edilmiştir. Günalay ve Şahin (2006) tarafından yapılan diğer bir çalışmada, ders çizelgeleme probleminin çözümü için hedef programlama yöntemini kullanan karar destek sistemi geliştirilmiştir. Bergmann ve diğ. (2014) tarafından yapılan çalışmada, sınav çizelgeleme probleminin çözümü için öğrenci ve öğretim üyelerinin tercihlerini dikkate alan bir hedef programlama modeli önerilmiştir. Hanun ve diğ. (2015) tarafından yapılan çalışmada, sınav çizelgelemede gözetmen atama probleminin çözümü için gözetmenlerin sınav döneminde görev dağılımlarının eşit olmasını sağlayan hedef programlama modeli geliştirilmiştir. Ceylan ve diğ. (2019) tarafından yapılan çalışmada ise sınav çizelgeleme probleminin çözümü için hedef programlama yaklaşımı önerilmiştir. Varlı ve diğ. (2017) tarafından yapılan bir diğer çalışmada, araştırma görevlilerinin sınavlara dengeli bir şekilde atanmasını sağlamak amacıyla hedef programlama yöntemi kullanılmıştır.

Bu çalışmada, Cavdur ve Kose (2016) tarafından yapılan çalışmanın uzantısı olarak ele alınan sınav çizelgeleme probleminin çözümü için birinci aşaması sınıf atamalarını, ikinci aşaması gözetmen atamalarını içerecek şekilde iki aşamalı bir yaklaşım önerilmektedir. Cavdur ve Kose (2016) tarafından yapılan çalışmada, sınav kritiklik seviyeleri dikkate alınarak, sınavların zaman dilimlerine atanması sağlanmıştır. Bu çalışmada ise Cavdur ve Kose (2016) tarafından yapılan

çalışmadan farklı olarak, sınav çizelgesinin tamamlanması adına belirli zaman dilimlerine atanan sınavların, sınıf ve gözetmen atanmalarının yapılması için hedef programlama temelli bir yöntem geliştirilmiştir.

### 3. METODOLOJİ

Çalışmanın bu bölümünde ele alınan sınav çizelgeleme probleminin aşamaları ve problemin çözümü için geliştirilen yöntemler ve önerilen matematiksel programlama modellerine ilişkin ayrıntılara yer verilmiştir.

Bu çalışmada, sınav çizelgelemede sınıf ve gözetmen atama probleminin çözümü için hedef programlama temelli bir çözüm yaklaşımı geliştirilmiştir. Çalışmada ele alınan sınav çizelgeleme problemi, iki aşamadan oluşmaktadır. Birinci aşamada Cavdur ve Kose (2016) tarafından yapılan çalışma sonucu belirli zaman dilimlerine atanan sınavlar için sınıf atamaları, ikinci aşamada ise açılan bu sınıflara gözetmenlik yapacak öğretim üyelerinin atamaları gerçekleştirilmektedir.

Önerilen çözüm yaklaşımında sınıf ve gözetmen atama problemi için birden fazla hedefin dikkate alındığı ve bu hedeflerin öncelikleri göz önünde bulundurularak en iyi atamaların yapılması amacıyla öncelikli hedef programlama yöntemi kullanılmıştır. Öncelikli hedef programlama, karar vericinin amaçlar için görece ağırlık değerleri veremediği durumda ortaya çıkmaktadır. Bu durumda hedefler önem derecelerine göre önceliklendirilir ve hedefler arasında bir sıralama yapılır. Sonrasında çözüme önem derecesi en yüksek olan hedeften başlanır ve yüksek öncelikli hedefin optimum değerinin düşük öncelikli hedef tarafından kötüleşmesine izin verilmeyecek şekilde, model her seferinde bir hedefi optimize etmektedir (Taha, 2000).

#### 3.1. Zaman Çizelgeleme

Çalışmada ele alınan sınav çizelgeleme problemi, Cavdur ve Kose (2016) tarafından yapılan çalışmanın uzantısı olarak sınav çizelgelemede sınıf ve gözetmen atamalarını içermektedir. Cavdur ve Kose (2016) tarafından yapılan çalışmada, Bursa Uludağ Üniversitesi-Mühendislik Fakültesi-Endüstri Mühendisliği Bölümü'nde dengeli bir sınav programı oluşturmak amacıyla sınav-zaman çizelgeleme probleminin çözümü için bulanık mantık ve ikili hedef programlama tabanlı iki aşamadan oluşan bir yaklaşım önerilmiştir. Önerilen çözüm yaklaşımının ilk aşamasında, sınavların kritiklik seviyelerinin belirlenmesi amacıyla, (i) ders başarı oranı, (ii) dersin kredisi ve (iii) dersin zorunlu veya seçmeli olmasına göre değişen üç temel parametreyi dikkate alan, bulanık mantık tabanlı bir yaklaşım geliştirilmiştir. Yazarlar tarafından yapılan çalışmada, geliştirilen bulanık sistem söz konusu parametrelerin sınav kritiklik seviyesine olan etkileri için bir model olarak sunulmuştur. Çözüm yaklaşımının ikinci aşamasında ise, geliştirilen hedef programlama modelinde sınav kritiklik seviyelerinin girdi olarak kullanılması ile sınavların belirli zaman dilimlerine atanması sağlanmıştır. Böylece, yazarlar tarafından yapılan çalışma sonucu belirli kısıtlar altında kritiklik seviyeleri tespit edilen sınavlar dengeli olarak çizelgelenmiştir.

Yazarlar tarafından geliştirilen hedef programlama modelinde, zorunlu ve esnek olmak üzere iki tür kısıt bulunmaktadır. Zorunlu kısıtlar aşağıdaki gibi özetlenebilir:

- Her sınav tek bir zaman dilimine atanmalıdır.
- Bir günde her döneme ait bir adet sınav yapılmalıdır.
- Aynı dönemdeki derslerin sınavları aynı zaman aralığında olmamalıdır.
- İki dersi aynı dönemde alan öğrenci sayısı birden fazla ise (çakışma olması durumunda) bu derslerin sınavları aynı zaman aralığına atanmamalıdır.

Hedef programlama modelindeki esnek kısıtlar ise aşağıdaki gibi özetlenebilir:

- Aynı gün içine atanan sınavlar, mümkün oldukça farklı dönem sınavları olmalıdır (1. Hedef).
- Öğrencilerin iş yükünün, derslerin kritiklik seviyelerine göre dengeli olması sağlanmalıdır (2.Hedef).
- Öğretim görevlilerine ait derslerin sınavları sınav dönemi boyunca eşit olarak dağılması sağlanmalıdır (3. Hedef).

Amaç fonksiyonu ise hedeflerden sapmayı en küçüklemektir. Ek 1’de verilen hedef programlama modeli ile ilgili daha detaylı bilgi için Cavdur ve Kose (2016) tarafından yapılan çalışma incelenebilir. Çalışmada geliştirilen hedef programlama modeli sonucu, sınavların kritiklik seviyelerine göre dengeli bir sınav çizelgesi oluşturulmuştur. Çalışmanın önemi, sadece aynı dönemdeki öğrenciler için değil, farklı dönemlerdeki öğrenciler ve öğretim üyeleri için de dengeli bir sınav çizelgesinin oluşturulmasıdır. Bu çalışmada ise Cavdur ve Kose (2016) tarafından geliştirilen yöntem sonucu oluşturulan sınav-zaman çizelgesinde belirli zaman dilimlerine atanan sınavlar için sınıf ve göznetmen atamalarının yapılması amaçlanmaktadır.

### 3.2. Sınıf Atama Modeli

Çalışma kapsamında ele alınan sınav çizelgeleme probleminde öncelikle sınıf atama probleminin çözümü için öncelikli hedef programlama temelli bir çözüm yaklaşımı geliştirilmiştir. Bu aşamada Cavdur ve Kose (2016) tarafından yapılan çalışmanın, sınav-zaman ikili atama sonuçları geliştirilen öncelikli hedef programlama modelinde girdi olarak kullanılmıştır. Sınıf atamalarının dikkate alındığı birinci hedef programlama modelinde, (i) açılan sınıf sayısının en küçüklenmesi, (ii) açılan sınıflarda sınava girecek öğrenci sayısının dengeli olması amaçlanarak, sınavların hangi sınıfa atandığına karar verilmektedir. Ele alınan hedeflerin önemini sayısal olarak ifade etmek mümkün olmadığı için öncelikli hedef programlama yaklaşımı kullanılmıştır. Birinci öncelikli hedef açılan sınıf sayısının en küçüklenmesi, ikinci öncelikli hedef ise dengeli dağılımdır. İki hedefin de en iyi şekilde sağlanması amacıyla oluşturulan öncelikli hedef programlama modeli aşamalı yöntem ile çözülmüştür. Burada her aşama bir önceki aşamanın optimal sonuçlarını kullanmaktadır. Yapılan çalışmada önerilen modelin birinci aşamasına ait formülasyon aşağıda verilmiştir:

İndisler:

$i$  : sınav indisi,  $i = 1, \dots, n_I, i \in I$

$j$  : sınıf indisi,  $j = 1, \dots, n_J, j \in J$

$t$  : zaman dilimi indisi,  $t = 1, \dots, n_T, t \in T$

Parametreler:

$C_j$  :  $j$ . sınıfın kapasitesi

$S_i$  :  $i$ . sınava girecek öğrenci sayısı

$\lambda_{it}$  :  $i$ . sınav  $t$ . zaman diliminde ise 1, aksi durumda 0 değerini alır



$N_s$  : açılan sınıf sayısı

$M$  : büyük pozitif bir sayı

Değişkenler:

$y_{itj}$  :  $i$ . sınava  $t$ . zaman diliminde  $j$ . sınıfta girecek öğrenci sayısı

$x_{itj}$  :  $i$ . sınav  $t$ . zaman diliminde  $j$ . sınıfta ise 1, aksi durumda 0

Amaç Fonksiyonu:

$$\min z_1 = \sum_i \sum_t \sum_j x_{itj} \quad (1)$$

Kısıtlar:

$$\sum_j x_{itj} \geq 1, \quad \forall i, t \quad (2)$$

$$\sum_i x_{itj} \leq 1, \quad \forall t, j \quad (3)$$

$$\sum_j \sum_t y_{itj} = S_i, \quad \forall i \quad (4)$$

$$y_{itj} \leq C_j, \quad \forall i, t, j \quad (5)$$

$$y_{itj} \leq Mx_{itj}, \quad \forall i, t, j \quad (6)$$

Geliştirilen modelin birinci aşaması için Eş. 1 de verilen amaç fonksiyonu ile açılan sınıf sayısı minimize edilmektedir. Eş. 2 ile her sınav için, her bir zaman diliminde mutlaka bir sınıfa atanması garanti edilmektedir. Eş. 3 ile verilen kısıt her bir zaman diliminde her bir sınıfa en fazla bir sınav atanmasını sağlamaktadır. Eş. 4 ile her bir sınav için sınava girecek öğrenci sayısı ilgili zaman diliminde sınıfa atanan öğrenci sayısına eşit olması sağlanmaktadır. Eş. 5 ile her zaman dilimi için her bir sınav ve her bir sınıf için sınava girecek öğrenci sayısının sınıf kapasitesini aşmaması sağlanmaktadır.

Önerilen modelin ikinci aşamasında, ilk aşamanın optimal amaç fonksiyonu değeri kısıt olarak dikkate alınmıştır. İkinci aşamada da birinci aşamada kullanılan indisler, parametreler ve kısıtlar kullanılmaktadır. Buna ek olarak  $w_1$  denge parametresi ve  $d_{itj}^+$  sınıf denge kısıtına ait sapma değişkenleri kullanılmaktadır. Modelin ikinci aşamasında, birinci aşamaya ek olarak kullanılan formülasyonlar aşağıda verilmiştir:

Parametreler:

$w$  : denge durumunu gösteren parametre

Değişkenler:

$d_{itj}^+, d_{itj}^-$  : sınıf denge kısıtına ait sapma değişkenleri

Amaç Fonksiyonu:

$$\min z_2 = \sum_i \sum_t \sum_j d_{itj}^- \quad (7)$$

Kısıtlar:

*Denklem (1-6)*

$$\frac{y_{itj}}{S_i} + d_{itj}^- - d_{itj}^+ = x_{itj}w \quad \forall i, t, j \quad (8)$$

$$\sum_i \sum_t \sum_j x_{itj} = N_s \quad (9)$$

Modelin ikinci aşaması için Eş. 7 ile verilen amaç fonksiyonu ile doluluk oranının en az denge parametresi değerinde olması koşulunun sağlanması için ilgili kritere ait negatif sapma değişkeni minimize edilmektedir. Sınıf doluluk oranları ile ilgili belirlenen %50 koşulunun üstü hedeflenen amaca uygun olduğu için ilgili kritere ait pozitif sapma değişkeni amaç fonksiyonunda ele alınmamıştır. Böylelikle sınıf kapasitelerinin maksimum şekilde kullanılması sağlanmıştır. Eş. 8 ile her bir zaman diliminde, her bir sınıfa atanan her bir sınav için açılan sınıf sayısının birden fazla olması durumunda ilgili sınıflara atanan öğrenci sayılarının olabildiğince eşit olması için belirlenen hedef kısıtı verilmektedir. Bu hedef ile sınıflardaki öğrenci sayılarının dengeli olması hedeflenmiştir. Son olarak Eş. 9 da verildiği gibi ilk aşamanın optimal amaç fonksiyonu değeri ikinci aşamada kısıt olarak kullanılmaktadır.

### 3.3. Gözetmen Atama Modeli

Sınıf atamaları yapıldıktan sonra açılan sınıflara sınav süresi boyunca gözetmenlik yapacak öğretim üyelerinin atamaları benzer şekilde yapılmaktadır. İkinci aşamada ele alınan iki hedef; (i) bir gözetmene atanan toplam sınav sayısı, (ii) bir gözetmene atanan sınavların toplam süresi olarak tanımlanmaktadır. Bu aşamada geliştirilen öncelikli hedef programlama modeli ile iki hedeften minimum sapmayı sağlayacak şekilde, gözetmenlik yapacak öğretim üyelerinin hangi sınıfa atandığına karar verilmektedir. Geliştirilen gözetmen atama modelinde, sınav-sınıf ikili atama sonuçları ve öğretim üyelerinin tercihleri girdi olarak dikkate alınmış ve modelin çözümü için aşamalı yöntem kullanılmıştır. Bu sayede, eşit yük dağılımı ile gözetmen yükünün adil ve dengeli bir şekilde olması sağlanmıştır. Geliştirilen modelin birinci aşamasına ait formülasyon aşağıdaki gibidir:

İndisler:

$i$	: sınav indisi,	$i = 1, \dots, n_I, i \in I$
$j$	: sınıf indisi,	$j = 1, \dots, n_J, j \in J$
$t$	: zaman dilimi indisi,	$t = 1, \dots, n_T, t \in T$
$k$	: gözetmen,	$k = 1, \dots, n_K, k \in$

Parametreler:

$u_{kt}$	: $k$ . gözetmen $t$ . zaman diliminde uygun ise 1, aksi durumda 0 değerini alır
$e_i$	: $i$ . sınavın süresi
$\beta_{ij}$	: $i$ . sınav $t$ . zaman diliminde $j$ . sınıfa atanmış ise 1, aksi durumda 0 değerini alır
$N_T$	: her gözetmen için atandığı toplam sınıf sayısı

Değişkenler:

$z_{itjk}$	: $i$ . sınava $t$ . zaman diliminde $j$ . sınıfa $k$ . gözetmen atanmış ise 1, aksi durumda 0
$d_{itjk}^+, d_{itjk}^-$	: gözetmen yüklerini dengeleyen kısıta ait sapma değişkenleri

Amaç fonksiyonu:

$$\min z_3 = \sum_i \sum_t \sum_j d_{itjk}^- + d_{itjk}^+ \quad (10)$$

Kısıtlar:

$$\sum_i \sum_j z_{itjk} \beta_{itj} \leq 1, \quad \forall t, k \quad (11)$$

$$\sum_k z_{itjk} = \beta_{itj}, \quad \forall i, t, j \quad (12)$$

$$\sum_i \sum_t \sum_j z_{itjk} + d_{itjk}^- + d_{itjk}^+ = N_T, \quad \forall k \quad (13)$$

$$z_{itjk} = 0, \quad \forall i, t, j, k, \quad u_{kt} = 0 \quad (14)$$

Gözetmen atama probleminin çözümü için geliştirilen hedef programlama modelinin birinci aşamasının amaç fonksiyonu Eş. 10 ile verilmektedir. İlgili kritere ait sapma değişkenlerinin minimize edilmesi ile sınav dönemi boyunca her bir gözetmenin sınav sayısının olabildiğince eşit olması sağlanmıştır. Eş. 11 de verilen kısıt ile her bir gözetmenin aynı zaman diliminde belirlenen sınavlar için açılan sınıflardan en fazla bir tanesine atanması sağlanmaktadır. Eş. 12 ile her bir zaman diliminde her bir sınav için açılan her bir sınıfa mutlaka ve yalnızca bir gözetmen atanması sağlanmaktadır. Eş. 13 ile her bir gözetmenin en fazla atanabileceği sınıf sayısı için belirlenen hedef kısıttır. Bu değer toplam açılan sınıf sayısının uygun gözetmen sayısına bölümü ile elde edilmiştir. Ortalama yükü ifade etmektedir. Bu hedef için gözetmenlerin görev sayılarının eşit olması hedeflenmiştir. Son olarak Eş. 14 ile gözetmenlerin uygunlukları dikkate alınmaktadır.

Modelin ikinci aşamasında, ilk aşamanın optimal amaç fonksiyonu değeri kısıt olarak dikkate alınmıştır. İkinci aşamada da birinci aşamada kullanılan indisler, parametreler, amaç fonksiyonu ve kısıtlar kullanılmaktadır. Modelin ikinci aşamasında birinci aşamasından farklı olarak kullanılan parametre ve kısıtların formülasyonu aşağıda verildiği gibidir:

Parametreler:

$T$  : toplam sınav süresi

$K$  : toplam gözetmen sayısı

Kısıtlar:

Denklem(10-14)

$$\sum_i \sum_t \sum_j z_{itjk} = N_T, \quad \forall k \quad (15)$$

$$\sum_i \sum_t \sum_j e_i z_{itjk} + d_{itjk}^- - d_{itjk}^+ = \sum_i \frac{T}{K}, \quad \forall k \quad (16)$$

Farklı olarak parametrelere  $T$  (toplam sınav süresi) ve kısıtlara Eş. 15 ve 16 ile verilen kısıt eklenmiştir. Eş. 15 ile ilk aşamada geliştirilen modelin optimal sonucu ikinci aşamadaki modele kısıt olarak eklenmesi sağlanmıştır. Böylece her bir gözetmen için eşit yük dağılımı hedefinin korunması sağlanmıştır. Eş. 16 ile verilen kısıt ise her bir gözetmenin atandığı sınavların sürelerinin olabildiğince eşit olması için belirlenmiş hedef kısıttır.

#### 4. UYGULAMA

Bu çalışmada, Cavdur ve Kose (2016) tarafından yapılan çalışmanın uzantısı olarak sınav çizelgelemede sınıf ve gözetmen atama probleminin çözümü için öncelikli hedef programlama modeli geliştirilmiştir. Metodoloji bölümünde detaylı bir şekilde açıklanan iki aşamalı ve hedef programlama temelli yaklaşım ile Bursa Uludağ Üniversitesi-Mühendislik Fakültesi-Endüstri Mühendisliği Bölümü'ne ait 2013-2014 bahar yarıyılı final sınav çizelgesinin oluşturulması sağlanmıştır.

Bursa Uludağ Üniversitesi Endüstri Mühendisliği bölümü lisans programının bahar yarıyılı süresince öğrenciler 38 dersten sorumlu tutulmaktadır. Bu çalışmada sınav-sınıf atamaları için her sınava girecek öğrenci sayıları ve sınav süreleri bilgisi kullanılmıştır. İlgili dersin sınavına girecek öğrenci sayıları ve sınav sürelerinden oluşan dört derslik bir örnek, Tablo 1'de verilmiştir. Her bir derse ait sınav zaman dilimi bilgisi için Cavdur ve Kose (2016) tarafından yapılan

çalışmanın sonucu oluşturulan optimal çizelge Ek 2’de verilmiştir. Sınavlar 10 gün, 09:00-11:00, 11:00-13:00 gibi 4 zaman dilimi/gün oluşan zaman periyodunda yapılmaktadır. Oluşturulan çizelge dikkate alınarak sınav-zaman dilimi ikili atama sonuçları ile  $\lambda_{it}$  matrisi oluşturulmuştur.  $\lambda_{it}$  matrisi sadece ikili değerler alan bir parametre olup, sınav ilgili zaman diliminde ise 1 değilse 0 değerini ifade etmektedir. Oluşturulan matris ile ilgili dört sınav ve dört zaman dilimini içeren bir örnek Tablo 2’de verilmiştir.

**Tablo 1. 2013-2014 Bahar yarıyılı dersleri, öğrenci sayıları ve sınav süreleri örneği**

Ders Kodu	Öğrenci Sayısı	Sınav Süresi
END2203	43	45
END3066	16	90
END4010	44	90
MAT2083	69	90

**Tablo 2. Sınav-zaman ikili optimal atama sonuçları ile oluşturulan  $\lambda_{it}$  matrisi örneği**

Zaman Dilimi/ Ders Kodu	1	2	3	4
END2202	0	0	0	1
END3066	0	0	0	1
END4010	0	0	1	0
MAT2083	1	0	0	0

Çalışmanın yapıldığı birimde sınavların atanabileceği: Y101, Y102, Y103, Y104, Y105, Y201, Y202, Y203, Y204, Y205, Y206, Y216, YLAB1, YLAB2, YLAB3 olmak üzere farklı kapasitelere sahip 15 adet sınıf bulunmaktadır. Sınıfların kapasiteleri ile ilgili dört sınıflık bir örnek Tablo 3’de verildiği gibidir. Bölüm içerisinde toplam 7 araştırma görevlisi sınav dönemi boyunca görev almaktadır ve A1, A2 gibi kodlar ile temsil edilmektedir. Uygulama aşamasında araştırma görevlerinin sınav dönemindeki uygunluklarını görebilmek için  $u_{kt}$  uygunluk matrisi oluşturulmuştur.  $u_{kt}$  matrisi sadece ikili değerler alan bir parametre olup, gözetmen ilgili zaman diliminde uygun ise 1 değilse 0 değerini almaktadır. Bu sayede atama sürecinde öğretim üyelerinin isteklerini göz önüne alan bir modelin geliştirilmesi sağlanmıştır.

**Tablo 3. Sınavların atanacakları sınıflar ve kapasiteleri**

Sınıf Kodu	Y101	Y216	Y103	YLAB3
Kapasitesi	18	56	28	39

Çalışmanın yapıldığı uygulamaya ilişkin veriler kullanılarak düzenlenen hedef programlama modelleri, “Intel (R) Core (TM) i5-5200 U CPU@2.20 GHz” işlemcisi, 8 GB belleği ve Windows 10 işletim sistemine sahip bilgisayarda Maximal Software MPL ve Gurobi çözücüsü kullanılarak çözülmüştür. Çalışmada, Pazartesi ve Cuma günleri arasında, toplam 2 haftalık (10 gün) bir sınav çizelgesi oluşturulmuştur. Her sınavın en fazla 1 saat 45 dakika olduğu kabul edilerek, ilk zaman dilimi 09:00-10:45, ikinci zaman dilimi 11:00-12:45 vb. olup, bir gün içerisinde toplam 4 farklı zaman dilimi bulunmaktadır. Sınav çizelgeleme probleminde sınıf ve gözetmen atamaları için geliştirilen modellerin sonuçlarını içeren sınav programı Ek 3’te verilmiştir. Önerilen hedef programlama modelinin performansı incelendiğinde, belirlenen hedefler doğrultusunda gerçek hayatta oluşturulan çizelge ile karşılaştırılması aşağıdaki gibidir:

1. Açılan sınıf sayısı minimize edilmek istenmektedir.
  - a. Gerçek hayatta oluşturulan çizelgede 10 günlük sınav dönemi boyunca toplam açılan sınıf sayısı 57 iken, modelde açılan sınıf sayısı 56'dır.
2. Sınıfların doluluk oranının en az %50 koşulunu sağlanması istenmektedir.
  - a. Gerçek hayatta oluşturulan çizelgede sınıfların doluluk oranlarına dikkat edilmezken, geliştirilen model sonuçları incelendiğinde ortalama sınıf kullanım oranının %80 ve açılan sınıf başına dengeli dağıtım oranının 0.04 olduğu saptanmıştır.
3. Her bir gözetmenin görev sayısının olabildiğince eşit olması istenmektedir.
  - a. Gerçek hayatta oluşturulan çizelgede gözetmen başına görev sayısı dengeli değil iken, modelde bu sayı tüm gözetmenler için 8'dir.
4. Her bir gözetmenin atandığı sınavların sürelerinin olabildiğince eşit olması istenmiştir.
  - a. Mevcut durum ve geliştirilen model sonucu gözetmen iş yükü dağılımı Tablo 4 ve Tablo 5'te verilmiştir. Sonuçlar incelendiğinde, gözetmen başına ortalama sınav süresi 670,71 dakikadır. Gözetmen başına ortalamadan sapma miktarlarının, gerçek hayatta oluşturulan çizelgede ve geliştirilen model sonuçlarında sırasıyla 123,67 ve 48,98 dakika olduğu görülmektedir.

**Tablo 4. Mevcut durum gözetmen iş yükü dağılımı**

Gözetmen Kodu	Sınav Sayısı	Toplam Sınav Süresi	Sapma Miktarı
1	10	840	169,29
2	9	750	79,29
3	9	630	40,71
4	10	855	184,29
5	6	570	100,71
6	7	615	55,71
7	5	435	235,71

**Tablo 5. Geliştirilen model sonucu gözetmen iş yükü dağılımı**

Gözetmen Kodu	Sınav Sayısı	Toplam Sınav Süresi	Sapma Miktarı
1	8	675	4,29
2	8	630	40,71
3	8	735	64,29
4	8	690	19,29
5	8	720	49,29
6	8	705	34,29
7	8	540	130,71

Yapılan çalışma sonuçlarına göre önerilen yaklaşım ile elde edilen çizelgenin, çalışma kapsamında ele alınan hedefler açısından, gerçek hayatta oluşturulan çizelgeden dikkate alınan performans ölçütleri açısından daha iyi sonuçlar verdiği görülmektedir. Çalışma sonuçları incelendiğinde ayrıca öğretim üyelerinin tercihlerinin dikkate alındığı bir çizelge oluşturulması

sağlanmıştır. Buna ek olarak geliştirilen model sonucunda bölümde daha önce insan kaynağı kullanılarak oluşturularak vakit ve çaba gerektiren sınıf ve gözetmen atamalarının makul sürede otomatik olarak yapılması sağlanmıştır. Böylece kullanılan işgücü açısından tasarruf sağlanmıştır.

## 5. TARTIŞMA VE SONUÇLAR

Bu çalışmada, eğitim kurumları için önemli bir problem olan sınav çizelgeleme probleminde sınıf ve gözetmen atama problemi ele alınmıştır. Sınav çizelgeleme problemi eğitim kurumlarında artan öğrenci, bölüm ve ders sayıları dikkate alındığında çözümü giderek zorlaşan bir problem haline gelmiştir. Yöneticiler tarafından tecrübeye dayalı, çaba ve vakit harçayarak el ile hazırlanan çizelgeler, özellikle üniversitelerin ihtiyaçlarını karşılamakta yetersiz kalmaktadır. Bu sebeple kurumların ihtiyaçlarını karşılayacak çizelgelerin, otomatik olarak hazırlanması gerekmektedir.

Çalışmada, Cavdur ve Kose (2016) tarafından yapılan çalışmanın bir uzantısı olarak dengeli bir sınav takvimi oluşturmak amacıyla, sınıf ve gözetmen atama probleminin çözümü için iki aşamalı hedef programlama modeli önerilmektedir. Önerilen yaklaşımda, her aşama birbirinin optimal çözümlerini kullanarak, ardışık olarak çözülmektedir. Böylelikle problem boyutunda azalmalar ve çözüm süresinde iyileşmeler sağlanmaktadır.

Çalışmada önerilen yaklaşımın uygulama alanı olarak, Bursa Uludağ Üniversitesi-Mühendislik Fakültesi-Endüstri Mühendisliği Bölümü güz yarıyılı final programı kapsamında, 38 ders (sınav), 15 derslik ve yedi gözetmen içeren, gün başına dört sınav-zaman dilimi bulunan iki haftalık (10 günlük) bir sınav çizelgesi dikkate alınmıştır. Geliştirilen yaklaşımın ilk aşaması olan sınıf atama modelinde, sınıf kapasitelerinin dikkate alınması ile açılan sınıf sayısının minimum olması ve sınıflarda sınavlara girecek öğrenci sayılarının mümkün oldukça eşit olması amaçlanmış ve bu sayede de sınıf kapasite kullanım oranının %80 seviyelerinde olması ve kullanılan sınıf sayısında bir adetlik bir azalma sağlanmıştır. Buna ek olarak, atamalar sonucunda, sınıflarda azalmalar ve daha dengeli bir atama gerçekleştirildiği görülmektedir. İkinci aşamada ise açılan sınıflara sınav süresi boyunca gözetmenlik yapacak öğretim üyeleri atanmıştır. Bu kapsamda, öğretim üyelerinin tercihlerinin dikkate alınması ile gözetmen yükünü azaltacak, adil ve dengeli atamaların yapılması sağlanmıştır. Atamalar sonucunda gözetmen başına sınav sayısında eşitlik sağlanmış ve gözetmenler arasındaki sapsmanın yaklaşık olarak %60 oranında azaltılarak daha dengeli bir atama gerçekleştirilmesinin de mümkün olduğu görülmektedir.

Yapılan çalışma sonuçlarına göre önerilen yaklaşım ile elde edilen çizelgenin, çalışma kapsamında ele alınan hedefler açısından, gerçek hayatta oluşturulan çizelgeden dikkate alından performans ölçütleri açısından daha iyi sonuçlar verdiği görülmektedir. Çalışma sonuçları incelendiğinde ayrıca öğretim elemanlarının tercihlerinin de dikkate alındığı bir çizelge oluşturulması sağlanmıştır. Buna ek olarak geliştirilen model sonucunda daha önce insan kaynağı kullanılarak oluşturularak önemli ölçüde zaman ve çaba gerektiren sınıf ve gözetmen atamalarının makul sürede otomatik olarak yapılması sağlanmıştır. Böylece kullanılan işgücü açısından tasarruf sağlanmaktadır.

Çalışma kapsamında geliştirilen iki aşamalı atama yapısı diğer sınav çizelgeleme problemlerine kolaylıkla uyarlanabilir. Gelecek çalışmalarda ise önerilen hedef programlama modelinin kapsamı, sadece bir bölüm için değil fakülte genelinde bir sınav çizelgesinin oluşturulması amacıyla genişletilebilir. Buna ilave olarak, problem çözümü için önerilen yaklaşımın entegre edildiği bir yazılımın geliştirildiği çalışmalar yapılabilir.

## KAYNAKLAR

1. Abou Kasm, O., Mohandes, B., Diabat, A. ve El Khatib, S. (2019) Exam timetabling with allowable conflicts within a time window, *Computers and Industrial Engineering*, 127, 263-273. doi: 10.1016/j.cie.2018.11.037
2. Aldeeb, B.A., Al-Betar, M.A., Abdelmajeed, A.O., Younes, M.J., Alkenani, M., Alomoush, W., Alissa, A.O. ve Alqahtani, M.A. (2019) A comprehensive review of uncapacitated university examination timetabling problem, *International Journal of Applied Engineering Research*, 14(24), 4524-4547
3. Al-Yakoob, S.M., Sherali, H. ve Al-Jazzaf, M. (2010) A mixed-integer mathematical modeling approach to exam timetabling, *Computational Management Science*, 7(1), 19-46. doi: 10.1007/s10287-007-0066-8
4. Al-Yakoob, S. M. ve Sherali, H. D. (2006) Mathematical programming models and algorithms for a class-faculty assignment problem, *European Journal of Operational Research*, 173(2), 488-507. doi: 10.1016/j.ejor.2005.01.052
5. Badri, M. A. (1996) A two-stage multiobjective scheduling model for faculty-course-time assignments, *European Journal of Operational Research*, 94, 16-28. doi: 10.1016/0377-2217(95)00204-9
6. Beaumont, N. (1997) Scheduling staff using mixed integer programming, *European Journal of Operational Research*, 98(3), 473-484. doi: 10.1016/S0377-2217(97)00055-6
7. Bergmann, L. K., Fischer, K. ve 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*, 82-101
8. Burke, E.K., Elliman, D.G., Ford, P.H. ve Weare, R.F. (1996) Examination timetabling in British universities: a survey. Burke E, Ross P, *Practice and theory of automated timetabling*, 76-90. doi: 10.1007 / 3-540-61794-9\_52
9. Burke, E. K. ve Petrovic, S. (2002) Recent research directions in automated timetabling, *European Journal of Operational Research*, 140(2), 266-280. doi: 10.1016/S0377-2217(02)00069-3
10. Carter, M.W. ve Laporte, G. (1995) *Recent developments in practical examination timetabling*, Springer, Berlin, Heidelberg.
11. Carter, M.W ve Tovey, C.A. (1992) When is the classroom assignment problem hard, *Operations Research*, 40(1), 32-7. doi: 10.1287/opre.40.1.S28
12. Cavdur, F. ve Kose, M. (2016) A fuzzy logic and binary-goal programming-based approach for solving the exam timetabling problem to create a balanced-exam schedule, *International Journal of Fuzzy Systems*, 18(1), 119-129. doi: 10.1007/s40815-015-0046-z
13. Ceylan, Z., Yüksel, A., Yıldız, A. ve Şimşak, B. (2019) Sınav Çizelgeleme Problemi için Hedef Programlama Yaklaşımı ve Bir Uygulama, *Erzincan Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 12(2), 942-956. doi: 10.18185/erzifbed.513981



14. Chu, S. C., Chen, Y. T. ve Ho, J. H. (2006) Timetable scheduling using particle swarm optimization, *Innovative Computing, Information and Control*, 3, 324-327. doi:10.1109/ICICIC.2006.541
15. Dammak, A., Elloumi, A. ve Kamoun H. (2006) Classroom assignment for examtimetabling, *Advances in Engineering Software*, 37 (10) 659–666. doi: 10.1016/j.advengsoft.2006.02.001
16. Daskalaki, S., Birbas, T. ve Housos, E. (2004) An integer programming formulation for a case study in university timetabling, *European Journal of Operational Research*, 153(1), 117-135. doi:10.1016/S0377-2217(03)00103-6
17. Dener, M. ve Calp, M.H. (2018) Solving the exam scheduling problems in central exams with genetic algorithms, *Mugla Journal of Science and Technology*, 102-115. doi: 10.22531/muglajsci.423185
18. Dorneles, A.P., Araujo, O.C.B. ve Buriol, L.S. (2017) A column generation approach to high school timetabling modeled as a multicommodity flow problem, *European Journal of Operational Research*, 256, 685-695. doi: 10.1016/j.ejor.2016.07.002
19. Eley, M. (2006) Ant algorithms for the exam timetabling problem, *International Conference on the Practice and Theory of Automated Timetabling*, 364-382. doi:10.1007/978-3-540-77345-0\_23
20. Elloumi, A., Kamoun, H., Jarboui, B. ve Dammak, A. (2014) The classroom assignment problem: Complexity, size reduction and heuristics, *Applied Soft Computing Journal*, PART C(14), 677-686. doi: 10.1016/j.asoc.2013.09.003
21. Ferland J.A. ve Roy S. (1985) Timetabling problem for university as assignment of activities to resources, *Computers & Operations Research*, 12(2), 207–18. doi: 10.1016/0305 0548(85)90045-0
22. Günelay, Y. ve Şahin, T. (2006) A decision support system for the university timetabling problem with instructor preferences, *Asian Journal of Information Technology*, 5(12), 1479-1484. doi: ajit.2006.1479.1484
23. Harwood, G. B. ve Lawless, R. W. (1975) Optimizing organizational goals in assigning faculty teaching schedules, *Decision Sciences*, 6(3), 513-524. doi: 10.1111/j.1540-5915.1975.tb01040.x
24. Hanum, F., Romliyah, M. A. ve Bakhtiar, T. (2015) Exam invigilators assignment problem: a goal programming approach, *Applied Mathematical Sciences*, 9(58), 2871- 2880. doi: 10.12988/ams.2015.52134
25. June T.L., Obit J.H., Leau Y.B. ve Bolongkikit J. (2019) *Implementation of Constraint Programming and Simulated Annealing for Examination Timetabling Problem*, Springer, Singapore. doi:10.1007/978-981-13-2622-6\_18
26. Kahar, M.N.M. ve Kendall, G. (2010) The examination timetabling problem at Universiti Malaysia Pahang: Comparison of a constructive heuristic with an existing software solution, *European Journal of Operational Research*, 207(2),557-565. doi: 10.1016/j.ejor.2010.04.011

27. Leite, N., Melício, A. ve Rosa, A. (2019) A fast simulated annealing algorithm for the examination timetabling problem, *Expert Systems with Applications*, 122, 137-151. doi:10.1016/j.eswa.2018.12.048
28. Meisels, A., Gudes, E. ve Solotorevsky, G. (1996) Employee Timetabling, Constraint Networks and Knowledge-based Rules: A mixed approach, *Lecture Notes in Computer Science (including subseries Lecture Notes in Artificial Intelligence and Lecture Notes in Bioinformatics)*, 1153, 93–105. doi: 10.1007/3-540-61794-9\_53
29. Meisels, A. ve Kaplansky, E. (2003) Scheduling agents-distributed timetabling problems, *Lecture Notes in Computer Science (including subseries Lecture Notes in Artificial Intelligence and Lecture Notes in Bioinformatics)*, 2740, 166–177. doi: 10.1007/978-3-540-45157-0\_11
30. MirHassani, S. A. ve Habibi, F. (2013) Solution approaches to the course timetabling problem, *Artificial Intelligence Review*, 1-17. doi: 10.1007/s10462-011-9262-6
31. Mukherjee, A. ve Gilbert, K. (1997) Lagrangian heuristics for instructor scheduling in executive development programmes, *Journal of the Operational Research Society*, 48(4), 373–382. doi: 10.1057/palgrave.jors.2600368
32. Mullinax, C. ve Lawley, M. (2002) Assigning patients to nurses in neonatal intensive care, *Journal of the Operational Research Society*, 53(53), 25–35. doi: 10.1057/palgrave/jors/2601265
33. Mansour, N., Isahakian, V. ve Ghalayini, I. (2011) Scatter search technique for exam timetabling, *Applied Intelligence*, 34, 299–310. doi.org/10.1007/s10489-009-0196-5
34. Pillay, N. ve Banzhaf, W. (2010) An informed genetic algorithm for the examination timetabling problem. *Applied Soft Computing*, 10(2), 457-467. doi: 10.1016/j.asoc.2009.08.011
35. Saat, E. H. M., Ilham, N. I., Othman, N., Bakar, Z. A., Yusof, Y. ve Rahman, N. H. A. (2019) The examination timetabling problem based on expert system: a case study in malaysia, *IEEE 10th Control and System Graduate Research Colloquium*, Malaysia, 121-126, doi: 10.1109/ICSGRC.2019.8837058.
36. Saraç, T., Özçelik, F. ve Erdoğan, H. (2019) A goal programming model for the make-up/compensation examination problem, *Pamukkale University Journal of Engineering Sciences*, 26 (1), 203-210. doi: 10.5505/pajes.2019.01033
37. Schaerf A. (1999) A survey of automated timetabling, *Artificial Intelligence Review*, 13(2), 87–127. doi: 10.1023/A:1006576209967
38. Taha, H. A. (2000), *Yöneylem Araştırması*, Literatür Yayıncılık, İstanbul.
39. Tapkan, P. (2019) Final sınav programı hazırlama problemine ait bir matematiksel model ve uygulama, *Erciyes Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 53, 138-156. doi: 10.18070/erciyesiibd.341232

40. Varlı, E., Alağaç, H.M., Eren, T. ve Özder, E.H. (2017) Goal Programming Solution of the Examiner Assignment Problem, *Bilge International Journal of Science and Technology Research*, 1(2), 105-118.
41. Veenstra, M. ve Vis, I. F. (2016) School timetabling problem under disturbances, *Computers & Industrial Engineering*, 95, 175-186. doi:10.1016/j.cie.2016.02.011
42. Yadollahi, M. ve Razavi, S. (2019) Using Artificial Fish Swarm Algorithm to Solve University Exam Timetabling Problem, *Journal of Advances in Computer Research*, 10 (2), 109-117.

### Ek 1. Hedef Programlama Modeli

$i$	: derslerin indisi, $i=1, \dots, n_I, i \in I$ tüm derslerin kümesi
$j$	: öğretim elemanı indisi, $i=1, \dots, n_J, j \in J$ tüm öğretim elemanlarının kümesi
$k$	: dönem indisi, $i=1, \dots, n_K, i \in K$ tüm dönemlerin kümesi
$t$	: zaman dilimi indisi, $i=1, \dots, n_T, t \in T$ tüm zaman kümelerinin kümesi
$u$	: zaman dilimi indisi (her gün için), $u=1, \dots, 3, u \in t \in T$
$T_1, T_2$	: sınav döneminde birinci ve ikinci haftadaki zaman dilimlerinin kümesi
$T_F = 1, 5, 9, \dots, 37$	: her günün ilk zaman dilimine karşılık gelen zaman dilimlerinin kümesi
$I_O: \{(i_1, i_2)   i_1, i_2 \in I, i_1 \neq i_2\}$	: çakışan ders çiftlerinin kümesi
$c_i$	: $i$ dersinin sınav kritiklik seviyesi (kümeleme yöntemi ile belirlenmiş olan)
$c_{avg}$	: bir gündeki ortalama kritiklik seviyesi
$n_{max}$	: bir gündeki maksimum sınav sayısı
$x_{ijkt}$	: $j$ öğretim elemanının, $k$ dönemdeki $i$ dersi $t$ zaman dilimine atanırsa 1, aksi halde 0 değerini alan karar değişkeni

$$\begin{aligned} \min z(x, d) = & w_1 \left( \sum_{t \in T_F} d_t^{-1} \right) + w_2 \left( \sum_{k=1}^{n_K} \sum_{t \in T_F} d_{kt}^{+2} + d_{kt}^{-2} \right) \\ & + w_3 \left( \sum_{k=1}^{n_K} d_{kt}^{+3} + d_{kt}^{-3} \right) + w_4 \left( \sum_{t \in T_F} d_{kt}^{+4} + d_{kt}^{-4} \right) \\ & + w_5 \left( \sum_{j=1}^{n_J} d_{kt}^{+5} + d_{kt}^{-5} \right) \end{aligned} \quad (1)$$

$$\sum_{t=1}^{n_T} x_{ijkt} = 1, \quad \forall i \in I, j \in J, k \in K \quad (2)$$

$$\sum_{i=1}^{n_I} \sum_{j=1}^{n_J} \sum_{k=1}^{n_K} \sum_{u=0}^3 x_{i,j,k,t+u} \leq n_{max}, \quad t \in T_F \quad (3)$$

$$\sum_{i=1}^{n_I} \sum_{j=1}^{n_J} x_{i,j,k,t} \leq 1, \quad \forall k \in K, \quad \forall t \in T \quad (4)$$

$$\sum_{j=1}^{n_J} \sum_{k=1}^{n_K} x_{i_1,j,k,t} \sum_{j=1}^{n_J} \sum_{k=1}^{n_K} x_{i_2,j,k,t} \leq 1, \quad \forall t \in T, \quad \forall (i_1, i_2) \in I_0 \quad (5)$$

$$\sum_{i=1}^{n_I} \sum_{j=1}^{n_J} \sum_{k=1}^{n_K} \sum_{u=0}^3 x_{i,j,k,t+u} - d_t^{+1} + d_t^{-1} = n_{max}, \quad \forall t \in T_F \quad (6)$$

$$\sum_{i=1}^{n_I} \sum_{j=1}^{n_J} \sum_{k=1}^{n_K} \sum_{u=0}^3 x_{i,j,k,t+u} - d_{kt}^{+2} + d_{kt}^{-2} = 1, \quad \forall k \in K, \forall t \in T_F \quad (7)$$

$$\sum_{i=1}^{n_I} \sum_{j=1}^{n_J} \sum_{t \in T_1} c_i x_{i,j,k,t} - \sum_{i=1}^{n_I} \sum_{j=1}^{n_J} \sum_{t \in T_2} c_i x_{i,j,k,t} - d_k^{+3} + d_k^{-3} = 0, \quad \forall k \in K \quad (8)$$

$$\sum_{i=1}^{n_I} \sum_{j=1}^{n_J} \sum_{k=1}^{n_K} \sum_{u=0}^3 c_i x_{i,j,k,t+u} - d_t^{+4} + d_t^{-4} = \frac{\sum_{i=1}^{n_I} c_i}{n_I} = c_{avg}, \quad \forall t \in T_F \quad (9)$$

$$\sum_{i=1}^{n_I} \sum_{k=1}^{n_K} \sum_{t \in T_1} x_{i,j,k,t} - \sum_{i=1}^{n_I} \sum_{k=1}^{n_K} \sum_{t \in T_2} x_{i,j,k,t} - d_j^{+5} + d_j^{-5} = 0, \quad \forall j \in J \quad (10)$$

**Ek 2. Cavdur ve Kose (2016) tarafından yapılan çalışma sonucundaki optimal zaman çizelgesi**

Gün	.Zaman Aralığı	1.Sınıf Ders Kodu	2.Sınıf Ders Kodu	3.Sınıf Ders Kodu	4.Sınıf Ders Kodu
Pazartesi	09:00		MAT2083		
-1-	11:00				
	13:00				END4010
	15:00		END2202	END3066	
Salı	09:00			END3238	
-2-	11:00	MAT1072			
	13:00		ISL1004		
	15:00				END4236
Çarşamba	09:00	MAK1004			END4276
-3-	11:00				
	13:00		END2203		
	15:00			END3032	
Perşembe	09:00			END3036	
-4-	11:00				
	13:00		END2030		
	15:00				END4072
Cuma	09:00	END1013			
-5-	11:00			END3244	
	13:00				END4058
	15:00		END2018		
Pazartesi	09:00	IKT1003			
-6-	11:00		END2024		
	13:00			END3034	
	15:00				END4062
Salı	09:00	FZK1072		END3142	END4066
-7-	11:00				
	13:00		MAK2092		
	15:00				
Çarşamba	09:00				
-8-	11:00	END1216		END3236	
	13:00		END2012		END4074
	15:00				
Perşembe	09:00			END3070	
-9-	11:00				
	13:00	YAD102			END4060
	15:00		END2028		
Cuma	09:00		MAK2090		
-10-	11:00			END3068	
	13:00				
	15:00	TUD102			

**Ek 3. Yapılan çalışmanın sonucu oluşturulan sınıf ve gözetmen atamaları**

Gün	Zaman Aralığı	1.Sınıf			2.Sınıf		
		Ders Kodu	Sınav Yeri	Gözetmen	Ders Kodu	Sınav Yeri	Gözetmen
Pazartesi	09:00				MAT2083	Y216-YLAB3	A7-A6
-1-	11:00						
	13:00						
	15:00				END2202	Y216	A5
Salı	09:00						
-2-	11:00	MAT1072	Y216-YLAB1	A1-A2			
	13:00				ISL1004	Y216	A7
	15:00						
Çarşamba	09:00	MAK1004	Y216-YLAB3	A1-A4			
-3-	11:00						
	13:00				END2203	Y216	A7
	15:00						
Perşembe	09:00						
-4-	11:00						
	13:00				END2030	Y216-YLAB1	A4-A3
	15:00						
Cuma	09:00	END1013	Y216-YLAB1	A5-A4			
-5-	11:00						
	13:00						
	15:00				END2018	Y216	A4
Pazartesi	09:00	IKT1003	Y216-YLAB3	A7-A1			
-6-	11:00				END2024	Y216-YLAB2	A5-A6
	13:00						
	15:00						
Salı	09:00	FZK1072	Y216-YLAB3	A1-A3			
-7-	11:00						
	13:00				MAK2092	Y216	A2
	15:00						
Çarşamba	09:00						
-8-	11:00	END1216	Y216-YLAB3	A3-A4			
	13:00				END2012	Y216-YLAB2	A1-A6
	15:00						
Perşembe	09:00						
-9-	11:00						
	13:00	YAD102	YLAB1-YLAB3	A6-A3			
	15:00				END2028	YLAB2-YLAB3	A6-A4
Cuma	09:00				MAK2090	Y102	A5
-10-	11:00						
	13:00						
	15:00	TUD102	YLAB1-YLAB3	A5-A2			

**Ek 3. (devamı)**

Gün	Zaman Aralığı	3.Sınıf			4.Sınıf		
		Ders Kodu	Sınav Yeri	Gözetmen	Ders Kodu	Sınav Yeri	Gözetmen
Pazartesi	09:00						
-1-	11:00						
	13:00				END4010	Y216	A1
	15:00	END3066	Y101	A6			
Salı	09:00	END3238	Y101	A7			
-2-	11:00						
	13:00						
	15:00				END4236	Y101	A7
Çarşamba	09:00				END4276	Y101	A3
-3-	11:00						
	13:00						
	15:00	END3032	Y216-YLAB3	A7-A2			
Perşembe	09:00	END3036	Y216	A2			
-4-	11:00						
	13:00						
	15:00				END4072	Y216-YLAB1	A2-A6
Cuma	09:00						
-5-	11:00	END3244	YLAB1	A3			
	13:00				END4058	YLAB1	A5
	15:00						
Pazartesi	09:00						
-6-	11:00						
	13:00	END3034	Y216-YLAB3	A3-A1			
	15:00				END4062	Y205	A3
Salı	09:00	END3142	Y103	A2	END4066	Y202	A7
-7-	11:00						
	13:00						
	15:00						
Çarşamba	09:00						
-8-	11:00	END3236	Y205	A2			
	13:00				END4074	Y102	A4
	15:00						
Perşembe	09:00	END3070	Y216-YLAB1	A5-A1			
-9-	11:00						
	13:00				END4060	Y102	A4
	15:00						
Cuma	09:00						
-10-	11:00	END3068	Y216-YLAB1	A5-A6			
	13:00						
	15:00						

