Pamukkale Univ Muh Bilim Derg, 25(1), 71-81, 2019

Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi

Pamukkale University Journal of Engineering Sciences

Gerçek bir sınav çizelgeleme problemi için iki aşamalı çözüm yaklaşımı

A two-phase solution approach for a real-life examination timetabling problem

Rahime SANCAR EDİS[1], *Emrah Bünyamin EDİS*[2*]

[1,2]Endüstri Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Fakültesi, Manisa Celal Bayar Üniversitesi, Manisa, Türkiye.
rahime.edis@cbu.edu.tr, emrah.edis@cbu.edu.tr

Geliş Tarihi/Received: 16.02.2018, Kabul Tarihi/Accepted: 04.06.2018
doi: 10.5505/pajes.2018.96606
* Yazışılan yazar/Corresponding author
Araştırma Makalesi/Research Article

Öz

Üniversitelerde, ilgili fakültelerde veya bölümlerde sınav çizelgelerinin hazırlanması oldukça uzun süreler alabilmekte, oluşturulan sınav çizelgeleri çoğu zaman ne öğrencileri, ne öğretim üyelerini ne de yöneticileri memnun etmektedir. Bu çalışmada bir üniversitenin bir bölümüne ait yılsonu sınavı çizelgesi oluşturma problemi ele alınmıştır. Tanımlanan problem için, ilk aşamada sınavlar bir tam sayılı programlama modeli ile zorluk derecelerine göre gruplandırılmıştır. İkinci aşamada ise öğrencilerin çalışma ve odaklanabilme verimlerini en üst düzeye çıkaracak sınav çizelgesini elde etmek üzere bir tam sayılı programlama modeli geliştirilmiştir. Modelin amacı, aynı günde birden fazla sınava girme durumu olan öğrenci sayısını, ilgili sınavların zorluk dereceleri toplamı ile ağırlıklandırarak en küçüklemektir. Gerçek verilerden yola çıkarak bir öğretim dönemi için veri kümesi oluşturulmuştur. Oluşturulan veri kümesi üzerinden önerilen çözüm yaklaşımı uygulanarak çözümler alınmış ve elle yapılan çizelgeyle karşılaştırılarak, önerilen yaklaşımla oluşturulan çizelgenin üstünlükleri tartışılmıştır.

Anahtar kelimeler: Sınav çizelgeleme, Tam sayılı programlama, Öğrenci/Öğretim üyesi memnuniyeti, Zorluk derecesi

Abstract

In the faculties or departments of universities, preparing the examination timetables takes quite a long time, and often could not satisfy neither the students nor the instructors or managers. In this study, the final exam timetabling problem of a department of a university is considered. For the problem, in the first stage, the exams are classified into the groups according to their difficulty levels by an integer programming model. In the second stage, an integer programming model is proposed in order to find an exam timetable which will increase the concentration and study efficiency of the students. In the model, the number of students taking more than one exam on the same day is minimized by weighting the difficulty levels of the relevant exams. The proposed solution approach is applied by using a real data set of a semester. By comparing the exam timetable obtained with the schedule prepared by hand, the advantages of the proposed solution approach are presented.

Keywords: Examination timetabling, Integer programming, Student /Instructor satisfaction, Difficulty level

1 Giriş

Üniversitelerde ve ilgili bölümlerde sınavların çizelgelenmesi problemi geçmişten günümüze ilgi çeken bir çalışma alanıdır. Sınavların çizelgelenmesi genellikle öğrenci işleri birimleri veya ilgili bölüm araştırma görevlileri (öğretim elemanları) tarafından uzun uğraşlar sonucunda elle hazırlanmaktadır. Ancak; dikkate alınmayan ve gözden kaçan durumların varlığı, öğrenciler ve öğretim üyelerinde çeşitli memnuniyetsizliklere yol açmaktadır. Sınav çizelgeleme probleminde genellikle öğrencilerin memnuniyetine ve çalışma verimlerine odaklanma durumu öne çıkmaktadır. Genel olarak bakıldığında tüm sınav çizelgeleme problemlerinde kesin kısıtlar (her sınavın mutlaka bir zaman dilimine yerleştirilmesi gereği, aynı sınıfa ait sınavların çakışmaması gereği vb.) ve gevşetilebilir kısıtlar (herhangi bir gün birden fazla sınava giren öğrencinin olmaması vb.) söz konusudur. Gevşetilebilir kısıtların sağlanamadığı durumlar için amaç fonksiyonuna bir ceza ifadesi yansıtılmaktadır [1].

Bu çalışmada bir üniversitenin bir bölümüne ait yılsonu sınav çizelgeleme problemi ele alınmıştır. Mevcut durumda sınav çizelgeleri, idari birimler tarafından herhangi bir en iyileme yaklaşımı kullanılmadan oluşturulmaktadır. Mevcut sınav çizelgelerinde, öğrenciler yönünden genel olarak aşağıdaki memnuniyetsizlikler gözlenmiştir:

- Aynı sınıfta okuyan öğrencilere aynı gün birden fazla sınav atanması,
- Alt dönemlerden ders tekrarı yapan öğrencilerin çokluğu/durumları düşünülmeden yapılan çizelgelerde aynı günde birden fazla sınava girme zorunluluklarının oluşması,
- Zor derslere ait sınavların ardışık günlere yeterli çalışma süresi olmadan yerleştirilmesi,
- Aynı sınıfta öğrenim gören öğrenciler için ardışık günlere yerleştirilen sınavlarda mevcut gündeki sınavın geç saatlere, bir sonraki gündeki sınavın ise erken saatlere yerleştirilmesi,
- Alt dönemlerden ders alan öğrenciler için aynı zaman diliminde iki (veya daha fazla) sınava birden girme zorunluluğunun ortaya çıkması,
- Belirli sınıflara sürekli erken saatlerde veya sürekli geç saatlerde sınav yerleştirilmesi.

Öğretim elemanları açısından bakıldığında ise memnuniyetsizlik yaratan durumlar aşağıdaki gibi sıralanabilir.

- Aynı güne aynı öğretim elemanına ait birden fazla sınav yerleştirilmesi,
- Aynı zaman dilimine ait sınavların çokluğu nedeniyle sınav salonlarının yetersiz kalması ve

öğrencilerin sıkışık yerleştirilmesi durumlarının ortaya çıkması,

- Aynı öğretim üyesine ait tüm sınavların en erken (veya en geç) zaman dilimlerine yerleştirilmesi, sınav dilimlerinin öğretim üyeleri temelinde dengeli dağılmaması,
- Bazı öğretim üyelerinin tüm sınavlarının sınav periyodunun sonuna doğru konulması dolayısıyla sınav kâğıtlarını değerlendirmek için yeterli sürenin kalmaması,

Bu çalışmada yukarıda sıralanan memnuniyetsizlikleri dikkate alan tam sayılı programlama temelli bir çözüm yaklaşımı geliştirilmiştir. İkinci bölümde, yazında sınav çizelgeleme problemini ele alan ve özellikle tam sayılı programlama modelleri öneren çalışmalar incelenmiştir. Üçüncü bölümde problem kısaca tanımlanmış ve önerilen çözüm yaklaşımı sunulmuştur. Dördüncü bölümde, sınav çizelgeleme problemi için bir öğretim dönemine ait veri kümesi oluşturulmuş ve önerilen çözüm yaklaşımı üzerinden alınan çözümler karşılaştırmalı olarak tartışılmıştır. Son bölümde ise yapılan çalışmanın yazına katkıları ve mevcut çalışmaya gelecekte ne gibi eklemeler ve geliştirmeler yapılabileceği vurgulanmıştır.

2 Yazın taraması

Yazında sınav çizelgeleme problemini ele alan oldukça çok sayıda çalışma bulunmaktadır. Carter [2] sınav çizelgeleme uygulamaları içeren çalışmaların incelendiği bir derleme çalışması yapmıştır. Burke ve diğ. [3] , 95 İngiliz üniversitesine ait sınav çizelgeleme problemi kapsamında; problem büyüklüğünün, karşılaşılan zorlukların, çözüm şeklinin (elle veya otomatik) ve beklentilerin sorulduğu bir anket çalışması yapmışlardır. Bir başka anket çalışması Cowling ve diğ. [4] tarafından yapılmış ve sınav çizelgelerinin eksik yanları belirlenerek tartışılmıştır. Burke ve diğ. [5] sınav çizelgeleme ve ders çizelgeleme arasındaki farkları ortaya koymuş ve genel bir yazın taraması çalışması gerçekleştirmiştir. Qu ve diğ. [6] sınav çizelgeleme çalışmaları kapsamında özellikle arama yöntemlerini kullanan ve 1996-2006 arasında yapılan çalışmalara ağırlık veren bir yazın tarama çalışması yapmıştır.

Bu bölümde özellikle tam sayılı programlama modeli geliştiren/kullanan çalışmalar üzerinde durulacaktır. Sınav çizelgeleme için yapılan ilk çalışmalardan birinde Broder [7] öğrencilerin sınav çakışmalarını önlemek üzere matematiksel bir formülasyon önermiş, sezgisel yöntemlerle sonuç almıştır. Lotfi ve Cerveny [8] büyük bir üniversitenin yılsonu sınavlarına ait çok aşamalı bir çizelgeleme paketi geliştirmiştir. İlk aşamada aynı anda sınava girecek olan öğrencilerin sayısını en küçüklemek üzere yılsonu sınavları bloklar adı altında gruplanmıştır. İkinci aşamada, bu bloklar - bir günde birden fazla sınava giren öğrenci sayısını en küçükleyecek şekilde - sınav günlerine atanmıştır. İlk iki aşama karesel atama modelleri ile ifade edilmiştir. Üçüncü aşamada; sınav günleri ve sınav blokları, ardışık sınavlara giren öğrenci sayısını en küçüklemek üzere sıralanmıştır. Son olarak ise, sınav salonlarının kullanım oranını en büyükleyecek şekilde sınavların salonlara atanması için doğrusal olmayan bir tam sayılı programlama modeli önerilmiştir. Tüm aşamalarda çözüme ulaşmak üzere sezgisel yöntemlerden yararlanılmıştır. Karesel atama modelleri sunan bir başka çalışmada Bullnheimer [9], küçük boyutlu sınav çizelgeleme problemleri için öğrencilerin sınavlar arası çalışma sürelerini en büyüklemeyi amaçlamıştır.

Wong ve diğ. [10], yılsonu sınavı çizelgeleme problemi için bir günde üç sınav olma durumlarının sayısının, mevcut günde gece ve bir sonraki günde gündüz sınavı olma durumlarının sayısının ve yıl içi ders periyodu ile sınav periyodunun aynı olmama durumlarının sayısının ağırlıklı toplamını en küçükleme amaçlı bir tam sayılı programlama modeli geliştirmişlerdir. Çözüm almak için ise bir genetik algoritma yaklaşımı önermişlerdir. Mushi [11] bir üniversitenin bölümlerinde uygulanmak üzere üç farklı tam sayılı programlama modeli geliştirmiş, modellerin büyüklüklerini ve performanslarını uygulamalı problemler üzerinden karşılaştırmıştır. MirHassani [12] öğrencilerin sınavlar arasındaki çalışma sürelerini arttırmak için; aynı oturumda, aynı günde ve ardışık günlerde sınava giren öğrenci sayılarını en küçükleyen bir tam sayılı programlama modeli geliştirmiştir.

2007 yılında düzenlenen uluslararası çizelgeleme yarışmasına (International Timetabling Competition ITC-2007, http://www.cs.qub.ac.uk/itc2007/ katılan çalışmalardan, McCollum ve diğ. [13] sınav çizelgeleme problemi için gerçekçi ve kapsamlı bir tam sayılı programlama modeli geliştirmişlerdir. Wang ve diğ. [14] öğrencilerin hiçbir sınavı kaçırmaması için bir derse ait birden fazla sınav oturumu yapılması gereken bir sınav çizelgeleme problemini ele almış ve tekrarlanan sınav oturumlarının sayısını en küçükleme amaçlı bir 0-1 tam sayılı programlama modeli geliştirmişlerdir. Al-Yakoob ve Sherali [15] sırasıyla sınav çizelgeleme ve gözlemci atama problemleri için tam sayılı programlama modelleri geliştirmiş ve bir üniversitenin fakülte ve bölümleri kapsamında uygulayarak başarılı sonuçlar almışlardır. Kahar ve Kendall [16] sınav salonları arasındaki mesafeleri ve bir sınavı birden fazla salona atama durumlarını içeren gerçek bir sınav çizelgeleme problemini ele almış ve doğrusal olmayan bir tam sayılı programlama modeli sunmuştur. Ayob ve diğ. [17] atanan sınavlar arasında kalan zaman dilimlerini hesaplayabilmek üzere farklı bir indeks yapısı ortaya koymuşlar ve doğrusal olmayan bir tam sayılı programlama modeli sunmuşlardır.

Güncel çalışmalardan Komijan ve Koupaei [18], aynı dersin farklı şubelerinin sınavlarının bir arada yapılması durumunu dikkate alan ve farklı sınavların aynı salonu paylaşmasına izin veren bir 0-1 tam sayılı programlama modeli geliştirmiş ve uygulamışlardır. Ahmad ve diğ. [19] sınav çizelgeleme problemi için öğrencilerin sınav çakışmalarını önleme amaçlı bir karesel atama modeli geliştirmişlerdir. Koksalmis ve diğ. [20], öğrencilerin ardışık sınavlara girme durumlarının sayısını sınırlayan, ayrıca aynı sınava giren öğrencilerin birbirinin yanına ve arkasına oturmasını önleyecek şekilde aynı salona birden fazla sınava ait öğrencinin atanabilmesini dikkate alan gerçek bir sınav çizelgeleme problemini ele almışlardır. Problem için sınav salonlarının faydalı kullanım oranını en büyükleyen bir karışık tam sayılı programlama modeli önermişlerdir. Arbaoui ve diğ. [21], sınav çizelgeleme problemi için, ilk olarak, ön çözüm almak üzere doğrusal olmayan bir model önermişlerdir. Sonrasında, değişken ve kısıt sayısını önemli ölçüde azaltan bir doğrusal tam sayılı programlama modeli geliştirmişlerdir. Bu iki modeli temel alan bir sezgisel yöntemle etkin sonuçlara ulaşmışlardır. Cataldo ve diğ. [22], sınavlara girecek öğrenci sayılarının bilinmediği ve olası çakışmaların yalnızca müfredat (ders planı) dikkate alınarak önlenebileceği bir sınav çizelgeleme problemi ile ilgilenmişlerdir. Ardışık olarak çözülen üç matematiksel programlama modeli içeren bir çözüm yaklaşımı geliştirmişler ve bir üniversiteye ait gerçek veri kümelerine uygulamışlardır. Woumans ve diğ. [23], sınav çizelgeleme problemini öğrenci merkezli bir bakış açısı ile ele almış, sınavların birden fazla zaman diliminde tekrarlanmasına izin vermişlerdir. İki farklı sütun türetme yaklaşımı geliştirerek, hem bir gerçek problem üzerinde hem de yazından iki veri kümesi üzerinde uygulamışlardır. Cavdur ve Kose [24] bulanık mantık ve 0-1 hedef programlama temelli bir yaklaşım geliştirerek öğrencilerin ve öğretim üyelerinin istekleri açısından dengelenmiş bir sınav çizelgesi oluşturmaya çalışmışlardır. Sınavların kritiklik derecesini belirlemek ve 0-1 hedef programlama modelinde kullanmak üzere, ders başarı oranını, seçmeli/zorunlu oluşunu ve kredi bilgilerini kullanarak bulanık mantık yaklaşımı uygulamışlardır. Ergul ve Kamisli Öztürk [25], bir milyondan fazla öğrencinin katıldığı ve ülke çapında yapılan çok-oturumlu bir açık öğretim sınavı için, çok amaçlı bir matematiksel model önermişlerdir. Amaç olarak, öğrencilerin oturumlar arası kat etmeleri gereken toplam mesafeyi, sınav binalarındaki boş kapasiteleri ve sınav kitapçığı çeşitliliğini en küçükleme fonksiyonları ele alınmıştır. Problem boyutu oldukça büyük olduğundan, gerçek boyutlu problem için problemi ayrıştırarak çözmeyi veya sezgisel algoritmaların geliştirilmesini önermişlerdir.

Görüldüğü üzere yazında sınav çizelgeleme problemini farklı yönleriyle ele alan çok sayıda çalışma bulunmaktadır. Yazındaki çalışmalardan farklı olarak bu çalışmada aşağıdaki durumlar bir arada dikkate alınmaktadır.

1. Dersler, geçmiş yıllara ait yılsonu ve bütünleme sınavlarındaki başarısızlık durumları dikkate alınarak ve bir tam sayılı programlama modeli kullanılarak zorluk gruplarına ayrılmıştır,
2. Aynı günde birden fazla sınava giren öğrenci sayılarının derslerin zorluk indeksleri ile ağırlıklandırılmış toplamı en küçüklenmeye çalışılmıştır,
3. Özgün bir tam sayılı programlama modeli geliştirilerek, hem öğrencilerin hem de öğretim üyelerinin memnuniyetsizliklerini bir arada gidermeye çalışan dengeli bir sınav çizelgesi oluşturulmuştur,
4. Problem bir eğitim dönemine ait gerçek veriler kullanılarak çözülmüş, önerilen modelle oluşturulan çizelge mevcut çizelge ile karşılaştırılmıştır.

3 Problem tanımı ve önerilen çözüm yaklaşımı

Bu çalışmada bir lisans bölümüne ait gerçek bir sınav çizelgeleme problemi ele alınmıştır. Ele alınan sınav çizelgeleme problemi; $s\in S$ sınıflarına ve $o\in OU$ öğretim üyelerine ait n adet sınavın $g\in G$ günlerindeki $t\in T$ zaman dilimlerinden hangisine atanacağını belirleme problemidir. Bu sınavlardan bir kısmı zorunlu ders bir kısmı da seçmeli ders sınavı olabilir.

Problemin temel girdileri aşağıda verilmiştir:

- Sınıfların zorunlu ve seçmeli derslerine ait sınavlar,
- Sınav periyodundaki günler,
- Gün içindeki zaman dilimleri,
- Sınavı olan tüm öğretim üyeleri ve verdikleri dersler,
- İlgili dönemdeki derslerin geçmiş yıllara ait yılsonu ve bütünleme sınavına giren öğrenci sayıları,
- İlgili dönemdeki derslerin geçmiş yıllara ait yılsonu ve bütünleme sınavlarında başarısız olan öğrenci sayıları.

Problemin çıktısı ise ilgili dönemdeki sınavların hangi gün hangi zaman diliminde yapılacağını gösteren sınav çizelgesi olacaktır.

Tanımlanan sınav çizelgeleme problemi için iki aşamalı bir çözüm yaklaşımı geliştirilmiştir. İlk aşamada; sınavlar, öğrencilerin başarısızlık oranına ait bir metrik geliştirilerek ve sonrasında yazında yer alan bir tam sayılı programlama modeli adapte edilerek zorluk derecelerine göre gruplandırılmıştır. İkinci aşamada, zorluk derecesine göre gruplandırılmış sınavları günlere ve zaman dilimlerine atayan bir doğrusal tam sayılı programlama modeli geliştirilmiştir. Her bir aşamaya ait detaylar aşağıdaki bölümlerde verilmiştir.

3.1 Sınavların zorluk derecesine göre gruplandırılması: tam sayılı programlama modeli 1 (TPM1)

Bu aşamada sınavların; "kolay", "orta" ve "zor" olmak üzere üç gruba ayrılması amaçlanmıştır. Bu grupları belirlemek üzere ölçüt olarak her bir dersin başarısızlık oranı hesaplanmıştır. Cavdur ve Köse [20] derslerin kritiklik derecesini; ders başarı oranını, seçmeli/zorunlu oluşunu ve kredi bilgilerini kullanarak bulanık mantık yaklaşımıyla hesaplamışlardır. Bu çalışmada ise, gerçekleşen durumların daha sağlıklı sonuçlar yaratabileceği düşüncesiyle, derslerin geçmiş iki döneme $(d = 1, 2)$ ait yılsonu sınavı ve bütünleme sınavında kalan öğrenci sayıları dikkate alınarak ders başarısızlık oranı (1) No'lu eşitlikle bulunmuştur.

f_{id}	*d.* dönemde *i.* dersin yılsonu sınavına giren öğrenci sayısı
fb_{id}	*d.* dönemde *i.* dersin yılsonu sınavında başarısız olan öğrenci sayısı
b_{id}	*d.* dönemde *i.* dersin bütünleme sınavına giren öğrenci sayısı
bb_{id}	*d.* dönemde *i.* dersin bütünleme sınavında başarısız olan öğrenci sayısı
BO_i	*i.* dersin başarısızlık oranı

$$BO_i = \frac{\sum_{d=1}^{2}(fb_{id} + bb_{id})}{\sum_{d=1}^{2}(f_{id} + b_{id})} \qquad i \in D \tag{1}$$

Her bir ders ikilisi için derslerin başarısızlık oranları arasındaki farkın mutlak değeri, derslerin birbirinden uzaklığı olarak kabul edilmiştir. Bu uzaklık değerleri dikkate alınarak; Sağlam ve diğ. [26] tarafından müşteri gruplarının oluşturulması için önerilen aşağıdaki tam sayılı programlama modeli (TPM1) kullanılmış ve sınavlar üç farklı zorluk grubuna ayrılmıştır. Sağlam ve diğ. [26] tarafından önerilen model aşağıdaki şekilde adapte edilmiştir.

İndisler ve parametreler

d_{ij}	i ve j derslerinin başarısızlık oranları arasındaki mutlak fark, $\lvert BO_i - BO_j \rvert$
l	zorluk grupları indisi $(l = 1, 2, 3)$

Karar değişkenleri

D_l	l zorluk grubunun çapı

x_{il} 1, eğer i dersine ait sınav l grubuna atanmışsa; 0, aksi halde

D_{max} oluşturulan ders gruplarının en büyük mutlak fark çapı

$$\text{En küçükle} \quad Z = D_{max} \tag{2}$$

$$D_l \geq d_{ij}(x_{il} + x_{jl} - 1) \qquad i, j \in D, l = 1,2,3 \tag{3}$$

$$\sum_{l=1}^{3} x_{il} = 1 \qquad i \in D \tag{4}$$

$$D_{max} \geq D_l \qquad l = 1,2,3 \tag{5}$$

$$x_{il} \in \{0,1\} \qquad i \in D, l = 1,2,3 \tag{6}$$

$$D_l \geq 0 \qquad l = 1, 2, 3 \tag{7}$$

$$D_{max} \geq 0 \tag{8}$$

Amaç fonksiyonu (2), ders gruplarına ait en büyük mutlak fark çapını en küçüklemektedir. Kısıt kümesi (3), bir l zorluk grubu çapının en az, bu gruba atanan her (i, j) ders ikilisine ait uzaklıkların (d_{ij}) en büyük değeri kadar olması gerektiğini belirtmektedir. Kısıt kümesi (4)'te her bir sınavın mutlaka bir zorluk grubuna atanması gerektiği vurgulanmaktadır. Kısıt kümesi (5), her bir grubun çaplarının en büyüğünü D_{max} olarak tutmakta ve amaç fonksiyonu ile birlikte çalışmaktadır. Son olarak karar değişkenlerinin alabileceği değerler kümesi (6)-(8)'de belirtilmiştir.

Bu aşamada, derslerin zorluk derecelerine ait gruplar belirlenirken, sınav çizelgeleme problemine ait kısıtların ve amaç fonksiyonunun daha etkin tanımlanabilmeleri açısından üç grup ("kolay", "orta", "zor") oluşturulması öngörülmüştür. TPM1 modeli çıktı olarak "kolay" "orta" ve "zor" sınav gruplarına ait derslerin listesini vermektedir. Sınavların zorluk grupları, ikinci aşamada sınav çizelgeleme problemi için önerilen tam sayılı programlama modelinin girdisi olarak kullanılacaktır. Bu bölümde kullanılan TPM1 modeli, farklı sayıda zorluk grupları için çalıştırılabilir veya gerekli görülmesi durumunda zorluk gruplarının sayısı literatürde önerilen yöntemlerle optimize edilebilir ve elde edilen sonuçlar sınav çizelgeleme problemi için önerilen tam sayılı programlama modelinin ilgili parametresine yansıtılabilir.

3.2 Sınavların günlere ve zaman dilimlerine atanması: tam sayılı programlama modeli 2 (TPM2)

Bu bölümde, gerçek bir veri kümesinden yola çıkarak ve elle yapılan sınav çizelgelerindeki memnuniyetsizlikleri gidermek üzere bir tam sayılı programlama modeli geliştirilmiştir. Modelde, bir dersten kalan öğrencilerin tümünün bir önceki yılın alt döneminde başarısız olduğu ve bu öğrencilerin bulundukları dönemin tüm derslerini aldığı varsayılmıştır. Modelde kullanılan notasyon aşağıda özetlenmiştir.

Kümeler ve indisler

D Çizelgelenecek tüm sınavların kümesi,

i, j Sınavlara ait indisler, $i, j \in D$,

G Sınav periyodundaki günlerin kümesi,

g Günlere ait indisler, $g \in G$,

T Gün içindeki zaman dilimleri kümesi,

t Zaman dilimlerine ait indis, $t \in T$,

OU Sınavı olan tüm öğretim üyelerinin kümesi,

o Öğretim üyelerine ait indis, $o \in$ OU,

S Sınıfların kümesi,

s Sınıflara ait indis, $s \in$ S ,

ODL_o o öğretim üyesinin yapacağı sınavların kümesi,

DL_s s sınıfının zorunlu derslerine ait sınavların kümesi ($s = 1,2,3,4$),

TDL_s s sınıfının tüm (zorunlu ve seçmeli) derslerine ait sınavların kümesi ($s = 3,4$),

SDL 3. ve 4. sınıfların ortak seçmeli derslerine ait sınavların kümesi,

ZDL_s s sınıfına ait "Zor" derslerin (zorunlu-seçmeli) sınavlarının kümesi,

Parametreler

z_i i dersinin zorluk düzeyi,

$z_i \in \{1,2,3\}$ öyle ki: 1-"Kolay", 2-"Orta", 3-"Zor",

ks_i önceki dönemde i dersinden kalan öğrenci sayısı,

ts_i i dersinden sınava girecek öğrenci sayısı.

Karar değişkenleri

x_{igt} 1, eğer i. dersin sınavı g.günün t. zaman dilimine atanmışsa,

0, aksi halde.

$y12_{ij}$ 1, eğer birinci sınıf dersine ait i sınavı ile ikinci sınıf dersine ait j sınavı aynı güne atanmışsa,

0, aksi halde.

$y23_{ij}$ 1, eğer ikinci sınıf dersine ait i sınavı ile üçüncü sınıf (zorunlu veya seçmeli) dersine ait j sınavı aynı güne atanmışsa,

0, aksi halde.

$y34_{ij}$ 1, eğer üçüncü sınıf zorunlu dersine ait i sınavı ile dördüncü sınıf zorunlu dersine ait j sınavı aynı güne atanmışsa,

0, aksi halde.

$y3S_{ij}$ 1, eğer üçüncü sınıf zorunlu dersine ait i sınavı ile seçmeli derse ait j sınavı aynı güne atanmışsa,

0, aksi halde.

$y4S_{ij}$ 1, eğer dördüncü sınıf zorunlu dersine ait i sınavı ile seçmeli derse ait j sınavı aynı güne atanmışsa,

0, aksi halde.

ySS_{ij} 1, eğer i.seçmeli dersin sınavı ile j. seçmeli dersin sınavı aynı güne atanmışsa,

0, aksi halde.

Geliştirilen tam sayılı programlama modeline ait amaç fonksiyonu (9), kısıt kümeleri (10)-(15) ile birlikte çalışarak, aynı günde birden fazla sınava girme durumu olan öğrenci sayısının ilgili ders zorlukları ile ağırlıklandırılmış toplamını en küçüklemektedir. Amaç fonksiyonundaki ilk ifade, herhangi bir ikinci sınıf dersine ait sınavın (j), herhangi bir birinci sınıf dersine ait sınav (i) ile aynı güne atanma durumunu $(y12_{ij} = 1)$, birinci sınıf dersinden kalan öğrenci sayısı (ks_i) ile ders ikilisinin toplam zorluk derecelerinin $(z_i + z_j)$ çarpımı sonucu bulunan ağırlık değeri ile cezalandırmaktadır. Örneğin, bir birinci sınıf dersinden (i) kalan öğrenci sayısı 10 $(ks_i = 10)$; ilgili i dersinin zorluk derecesi "Orta", $(z_i = 2)$; ikinci sınıfa ait bir j dersinin zorluk derecesi ise "Zor" $(z_j = 3)$ olsun. Amaç fonksiyonunda, bu iki derse ait sınavların aynı güne atanması $(y12_{ij} = 1)$ durumu; $ks_i\ (z_i + z_j)$ = 10 (2+3) = 50 değeri ile cezalandırılacaktır. Amaç fonksiyonundaki ikinci ve üçüncü ifadeler; sırasıyla ikinci-üçüncü ve üçüncü-dördüncü sınıf derslerine ait sınav ikililerinin aynı güne atanma durumlarını benzer şekilde cezalandırmaktadır. Üçüncü ve dördüncü sınıflar, zorunlu derslerinin yanında, sadece 3. ve 4. sınıflara ortak olarak açılmış seçmeli dersleri de almaktadır. Amaç fonksiyonundaki dördüncü ve beşinci ifadeler; herhangi bir seçmeli derse ait sınav (j) ile üçüncü (dördüncü) sınıf zorunlu dersine ait sınavın (i) aynı güne atanması durumunu $(y3S_{ij} = 1$ veya $y4S_{ij} = 1)$; ilgili j seçmeli dersinden sınava girecek öğrenci sayısının (ts_j), ders ikilisinin toplam zorluk derecesi $(z_i + z_j)$ ile çarpımı sonucu bulunan ağırlık değeri ile cezalandırmaktadır. Amaç fonksiyonundaki son ifade ise benzer şekilde iki seçmeli derse ait sınavların aynı güne atanması durumunu $(ySS_{ij} = 1)$, öğrenci sayısı az olan seçmeli dersin öğrenci sayısının $[min(ts_i, ts_j)]$ seçmeli ders ikilisinin toplam zorluk derecesi $(z_i + z_j)$ ile çarpılması sonucu bulunan ağırlık değeri ile cezalandırmaktadır. Özetle, amaç fonksiyonu; derslere ait sınav ikililerinin aynı güne atanıp atanmayacağına karar verirken; birden fazla sınava girme durumu olan öğrenci sayısını ve ders ikililerinin toplam zorluk derecelerini bir arada dikkate alarak, öğrencilerin yaşayabilecekleri memnuniyetsizlikleri en küçüklemeye çalışmaktadır.

Amaç fonksiyonu

En Küçükle

$$\begin{aligned} Z = & \sum_{\substack{i\in DL_1\\ ks_i>0}} \sum_{j\in DL_2} y12_{ij} ks_i (z_i + z_j) + \\ & \sum_{\substack{i\in DL_2\\ ks_i>0}} \sum_{j\in TDL_3} y23_{ij} ks_i (z_i + z_j) + \\ & \sum_{\substack{i\in DL_3\\ ks_i>0}} \sum_{j\in DL_4} y34_{ij} ks_i (z_i + z_j) + \\ & \sum_{i\in DL_3} \sum_{j\in SDL} y3S_{ij} ts_j (z_i + z_j) + \\ & \sum_{i\in DL_4} \sum_{j\in SDL} y4S_{ij} ts_j (z_i + z_j) + \\ & \sum_{i\in SDL} \sum_{\substack{j\in SDL\\ j\neq i}} ySS_{ij} \min(ts_i, ts_j) (z_i + z_j) \end{aligned} \qquad (9)$$

Kısıtlar

Kısıt kümesi (10), kalan öğrenci sayısı pozitif olan birinci sınıf dersine ait i sınavı ile ikinci sınıf dersine ait j sınavı aynı güne atandıysa $y12_{ij}$ karar değişkeninin (1) değeri almasını sağlamaktadır. Kısıt kümesi (11) ve (12) ise, ikinci-üçüncü sınıflara ve üçüncü-dördüncü sınıflara ait iki dersin sınavlarının (i ve j) aynı güne atanması durumunda sırasıyla $y23_{ij}$ ve $y34_{ij}$ karar değişkenlerinin (1) değeri almasını sağlamaktadır.

$$\sum_{t\in T} (x_{igt} + x_{jgt}) \le 1 + y12_{ij} \qquad g \in G, i \in DL_1 | ks_i > 0,\ j \in DL_2 \qquad (10)$$

$$\sum_{t\in T} (x_{igt} + x_{jgt}) \le 1 + y23_{ij} \qquad g \in G, i \in DL_2 | ks_i > 0,\ j \in TDL_3 \qquad (11)$$

$$\sum_{t\in T} (x_{igt} + x_{jgt}) \le 1 + y34_{ij} \qquad g \in G, i \in DL_3 | ks_i > 0,\ j \in DL_4 \qquad (12)$$

Kısıt kümesi (13) ve (14); üçüncü sınıf dersine ait i sınavı ile seçmeli derse ait j sınavının ve dördüncü sınıf dersine ait i sınavı ile seçmeli derse ait j sınavının aynı güne atanması durumunda sırasıyla $y3S_{ij}$ ve $y4S_{ij}$ karar değişkenlerinin "1" değerini almasını sağlamaktadır. Kısıt kümesi (15), iki seçmeli dersin sınavlarının (i ve j) aynı güne atanması durumunda ySS_{ij} karar değişkeninin "1" değerini almasını sağlamaktadır.

$$\sum_{t\in T} (x_{igt} + x_{jgt}) \le 1 + y3S_{ij} \qquad g \in G, i \in DL_3, j \in SDL \qquad (13)$$

$$\sum_{t\in T} (x_{igt} + x_{jgt}) \le 1 + y4S_{ij} \qquad g \in G, i \in DL_4, j \in SDL \qquad (14)$$

$$\sum_{t\in T} (x_{igt} + x_{jgt}) \le 1 + ySS_{ij} \qquad g \in G, i \in SDL,\ j \in SDL \mid j \neq i \qquad (15)$$

Kısıt kümesi (16), her sınavın mutlaka bir zaman dilimine atanması gerektiğini ifade etmektedir.

$$\sum_{g\in G} \sum_{t\in T} x_{igt} = 1 \qquad i \in D \qquad (16)$$

Kısıt kümesi (17), öğrencilerin sınav çakışma olasılığını ortadan kaldıracak şekilde her bir günün her bir zaman dilimine en fazla bir adet sınav atanabileceğini belirtmektedir. Ayrıca bu kısıt kümesi ile birlikte her bir zaman aralığı için sınav salonu gereksinimi de en alt düzeye inmekte, her bir zaman aralığı için fakültenin diğer bölümlerinin de sınav salonlarını kullanabilme esnekliği sağlanmaktadır.

$$\sum_{i\in D} x_{igt} \le 1 \qquad g \in G, t \in T \qquad (17)$$

Ele alınan problemde beşer günden oluşan iki haftalık bir sınav dönemi (12 gün) söz konusudur. Cumartesi ve Pazar günlerine denk gelen 6. ve 7. günlerdeki zaman dilimlerine hiç bir sınav atanmaması, kısıt kümesi (18) ile sağlanmaktadır.

$$\sum_{i\in D} \sum_{g\in\{6,7\}} \sum_{t\in T} x_{igt} = 0 \qquad (18)$$

Kısıt kümesi (19), aynı öğretim üyesinin aynı günde birden fazla sınavı olmasını önlemektedir.

$$\sum_{i\in ODL_o} \sum_{t\in T} x_{igt} \le 1 \qquad o \in OU, g \in G \qquad (19)$$

Sınav periyodunda, herhangi bir öğretim üyesinin birden fazla sınavı varsa, bu sınavların haftalar arasında olabildiğince dengeli dağılması, kısıt kümesi (20) ve (21) ile ifade edilmiştir.

$$\sum_{i\in ODL_o} \sum_{g\in\{1,\dots,5\}} \sum_{t\in T} x_{igt} \le \lceil |ODL_o|/2 \rceil \qquad o \in OU:\ |ODL_o| > 1 \qquad (20)$$

$$\sum_{i\in ODL_o} \sum_{g\in\{8,\dots,12\}} \sum_{t\in T} x_{igt} \le \lceil |ODL_o|/2 \rceil \qquad o \in OU:\ |ODL_o| > 1 \qquad (21)$$

Kısıt kümeleri (22)-(23) de benzer şekilde, her bir sınıfa ait zorunlu ders sınavlarının haftalar arasında eşit dağıtılmasını sağlamaktadır.

$$\sum_{i \in DL_s} \sum_{g \in \{1,\dots,5\}} \sum_{t \in T} x_{igt} \leq \lceil |DL_s|/2 \rceil \qquad s \in S \qquad (22)$$

$$\sum_{i \in DL_s} \sum_{g \in \{8,\dots,12\}} \sum_{t \in T} x_{igt} \leq \lceil |DL_s|/2 \rceil \qquad s \in S \qquad (23)$$

Kısıt kümesi (24), aynı sınıfın bir günde birden fazla zorunlu ders sınavının olmasını önlemektedir.

$$\sum_{i \in DL_s} \sum_{t \in T} x_{igt} \leq 1 \qquad g \in G, s \in S \qquad (24)$$

Öğrencilere çalışma zamanı yaratmak ve odaklanma süresini arttırmak üzere; bir sınıfa ait herhangi bir sınav herhangi bir günün son zaman dilimine atanmışsa, bu sınıfa ait başka bir sınavın bir sonraki günün ilk zaman dilimine atanması kısıt kümeleri (25) ve (26) ile önlenmiştir.

$$x_{ig3} \leq 1 - \sum_{j \in DL_s} x_{j,g+1,1} \qquad s \in \{1,2\}, g \in G: g < |G|, \; i \in DL_s \qquad (25)$$

$$x_{ig3} \leq 1 - \sum_{j \in TDL_s} x_{j,g+1,1} \qquad s \in \{3,4\}, g \in G: g < |G|, \; i \in TDL_s \qquad (26)$$

Kısıt kümesi (27) ise, benzer bir durumu öğretim üyeleri için sağlamaktadır. Bir öğretim üyesinin bir sınavı herhangi bir günün son zaman dilimine atanmışsa, bu öğretim üyesinin başka bir sınavı bir sonraki günün ilk zaman dilimine atanmamalıdır.

$$x_{ig3} \leq 1 - \sum_{j \in ODL_o} x_{j,g+1,1} \qquad o \in OU, g \in G: g < |G|, \; i \in ODL_o \qquad (27)$$

Kısıt kümesi (28), bir sınıfın zorluk derecesi yüksek olan dersine ait bir sınavı bir güne atanmış ise, aynı sınıfın yine zorluk derecesi yüksek olan başka bir dersine ait sınavın bir sonraki güne atanmayacağını garanti altına almaktadır.

$$\sum_{t \in T} x_{igt} \leq 1 - \sum_{\substack{j \in ZDL_s \\ j \neq i}} \sum_{t \in T} x_{j,g+1,t} \qquad s \in S, g \in G: g < |G|, \; i \in ZDL_s \qquad (28)$$

“Zor” kategorisinde olan dersler için bir diğer durum, kısıt kümesi (29) ile ifade edilmiştir. Bu kısıt, “zor” olan seçmeli veya zorunlu derslerin, çapraz sınıflarda (1-2, 2-3, 3-4) olsalar bile aynı güne konulmasını önlemektedir. Diğer bir deyişle, “zor” bir dersten kalarak dersi alt yarıyıldan alan öğrencinin, mevcut sınıfındaki herhangi bir “zor” dersinin sınavının, alt yarıyıldan aldığı “zor” dersin sınavıyla aynı güne atanmaması sağlanmaktadır.

$$\sum_{t \in T} x_{igt} \leq 1 - \sum_{j \in ZDL_{s+1}} \sum_{t \in T} x_{jgt} \qquad s \in \{1,2,3\}, g \in G, \; i \in ZDL_s \qquad (29)$$

Son olarak kısıt kümeleri (30)-(36), karar değişkenlerinin alabileceği değerler kümesini ifade etmektedir.

$$x_{igt} \in \{0,1\} \qquad i \in D, g \in G, t \in T \qquad (30)$$

$$y12_{ij} \in \{0,1\} \qquad i \in DL_1, j \in DL_2 \qquad (31)$$

$$y23_{ij} \in \{0,1\} \qquad i \in DL_2, j \in TDL_3 \qquad (32)$$

$$y34_{ij} \in \{0,1\} \qquad i \in DL_3, j \in DL_4 \qquad (33)$$

$$y3S_{ij} \in \{0,1\} \qquad i \in DL_3, j \in SDL \qquad (34)$$

$$y4S_{ij} \in \{0,1\} \qquad i \in DL_4, j \in SDL \qquad (35)$$

$$ySS_{ij} \in \{0,1\} \qquad i \in SDL, j \in SDL \qquad (36)$$

4 Önerilen çözüm yaklaşımının gerçek veriler üzerinden uygulanması ve sonuçların mevcut sınav çizelgesi ile karşılaştırılması

Uygulamanın yapıldığı bölümde dört farklı sınıfa ait 29 adet dersin yılsonu ve bütünleme sınavları için iki haftalık periyoda yayılan ve her gün üç farklı zaman dilimine sınavların atanabileceği sınav çizelgesi elle uzun uğraşlar sonucu yapılıp kullanılmaktadır. Bazı dersler birden fazla öğretim üyesi tarafından şubeli olarak verilmektedir. Dört sınıfın zorunlu derslerine ek olarak hem 3.sınıfların hem de 4. sınıfların aldığı ortak seçmeli dersler mevcuttur. Derslere ait bilgiler (dersler, derslerin sınıfları, dersleri veren öğretim elemanları) Tablo 1’in ilk dört sütununda verilmiştir.

Sınav programı için önerilen çözüm yaklaşımı iki aşamadan oluşmaktadır. İlk aşama, sınavların zorluk derecelerinin belirlenmesi aşamasıdır. Bu aşama için öncelikle 29 adet derse ait geçmiş iki dönem verileri kullanılarak derslerin başarısızlık oranları (BO_i) hesaplanmıştır. Derslerin başarısızlık oranları arasındaki farkları girdi olarak kullanan ve detayları Bölüm 3.1’de verilen TPM1 modeli IBM ILOG CPLEX Optimization Studio 12.6.2 [27] sürümünde modellenmiştir. Gerçek probleme ait TPM1 modeli, 91 değişken ve 2215 kısıta sahiptir.

TPM1 modeli, Intel Core i5 2.40 Ghz hızında 8 GB RAM’a sahip bir bilgisayarda bir saniyeden az bir sürede çözüme ulaşmış ve 29 adet ders “kolay”, “orta”, “zor” olarak gruplandırılmıştır. Tablo 1’de TPM1 modelinin çözülmesiyle elde edilen derslerin zorluk düzeylerinin yanı sıra, dersleri alan toplam öğrenci sayıları, derslerden önceki dönemde kalan öğrenci sayıları ve derslerin başarısızlık oranları verilmiştir.

Önerilen çözüm yönteminin ikinci aşaması ise, detayları Bölüm 3.2’de verilen TPM2 modeliyle sınav programının elde edilmesidir. TPM2 modeli, IBM ILOG CPLEX Optimization Studio 12.6.2 [27] sürümünde modellenmiş ve çözüme kavuşturulmuştur. Gerçek problemin TPM2 modeli, 1290 değişken ve 4012 kısıt içermektedir ve Intel Core i5 2.40 Ghz hızında 8 GB RAM’a sahip bir bilgisayarda 105.82 saniyede en iyi çözüme ulaşmıştır.

Mevcut yılsonu sınav programı birçok durumu dikkate alarak hazırlanmaya çalışılsa da, elle hazırlanan bir programda bütün kısıtların sağlanması ve bunların kontrolü oldukça zordur. İlgili dönem için elle hazırlanmış olan mevcut yılsonu sınav programı Tablo 2’de verilmiştir. Önerilen tam sayılı programlama temelli çözüm yaklaşımı sonucunda elde edilen yılsonu sınav programı ise Tablo 3’te verilmiştir. Tablo 2 ve Tablo 3’te her bir zaman diliminde; ders adı, öğretim üye ad(lar)ı, dersin zorluk grubu (z_i), bir önceki dönemde dersten kalan öğrenci sayısı (ks_i) ve dersin sınavına girecek toplam öğrenci sayısı (ts_i) verilmiştir.

Tablo 1: İlgili döneme ait veriler ve derslerin zorluk düzeyleri.

Ders Adı	Sınıfı	Öğretim Üyesi 1	Öğretim Üyesi 2	Önceki Yıldan Kalan Öğr. Sayısı (ks_i)	Başarısızlık Oranı (BO_i)	Dersi Alan Öğrenci Sayısı (ts_i)	Zorluk Düzeyi (z_i)
BBT	1	A.Y.İ.	S.İ.F.	5	0.104	167	1
IF	1	C.M.A.		27	0.395	162	2
ISWRE	1	C.E.		2	0.258	154	2
KG	1	T.N.	A.A.	11	0.303	175	2
IM	1	U.E.		20	0.445	150	3
RTDB	1	K.M.		3	0.056	74	1
IDT	1	A.K.İ	E.A.	3	0.125	158	1
ITIIA	2	A.M.		3	0.218	107	2
TE	2	E.H.		13	0.414	124	2
SITP	2	M.Ö.P.		16	0.298	121	2
IRO	2	E.E.	A.C.	20	0.490	128	3
PCA	2	A.Y.A.	E.E.	12	0.509	119	3
DD	2	D.D.		29	0.630	192	3
MM	2	D.E.		15	0.573	123	3
IIIRO	3	A.C.		9	0.242	70	2
IMSSP	3	S.E.R.		20	0.341	86	2
ASW	3	E.Ö.		21	0.422	80	2
EM	3	I.M.A.		10	0.198	67	1
AS	3	A.H.		14	0.255	70	2
OUBB	4	E.Ö.		1	0.143	117	1
KPK	4	D.F.M.	A.H.	1	0.185	118	1
SE	4	A.H.		1	0.045	115	1
CU	S	M.Ö.P.		1	0.085	26	1
YS	S	C.İ.		0	0.040	50	1
VKKÇ	S	I.M.A.		0	0.052	71	1
UY	S	U.E.G.		0	0.067	57	1
ER	S	D.F.M.		0	0.129	54	1
YF	S	K.F.		0	0.227	19	2
UTE	S	S.E.R.		0	0.527	49	3

Daha önce de bahsedildiği üzere, aynı günde birden fazla sınava girme durumunda olan öğrenci sayısının ilgili ders zorluklarının toplamı ile ağırlıklandırılmış değerlerin toplamının en küçüklenmesi amaç fonksiyonu olarak belirlenmiştir. Mevcut sınav programının amaç fonksiyonu değeri hesaplandığında 1437 olduğu görülürken, önerilen programda bu değer büyük ölçüde iyileştirilerek 645'e düşmüştür. Mevcut programda amaç fonksiyonu değerinin oldukça yüksek çıkmasının nedenleri için Tablo 2'de verilen mevcut yılsonu sınav programının ilk haftasının Çarşamba günü incelenebilir. Birinci sınıflara ait IF dersinin sınavı ve ikinci sınıflara ait DD dersinin sınavı aynı günün farklı zaman dilimlerine konulmuştur. IF dersinden kalan 27 kişi aynı zamanda DD dersini de almakta ve aynı günde iki sınava girmek zorunda kalmaktadır. IF dersinin zorluk derecesi 2 (orta), DD dersinin zorluk derecesi 3 (zor) olduğu için bu tercih edilmeyen bir durumdur ve bu iki derse ait sınavların aynı güne atanmasının amaç fonksiyonuna etkisi 27(2+3)=135'dir.

Aynı güne üçüncü sınıflara ait zorunlu AS dersinin sınavı da yerleştirilerek, DD dersinden kalan 29 kişinin de iki sınava girmesi zorunluluğu oluşmuştur. Bu derslerin zorluk dereceleri 2 ve 3 olduğu için, amaç fonksiyonuna 29(2+3)= 145 birim etki etmektedir. Yine aynı güne yerleştirilen ve zorluk derecesi 1 (kolay) olan VKKÇ seçmeli dersinin sınavının da bir alt sınıfa ait DD dersinin sınavı ile ilişkisinden dolayı amaç fonksiyonu değeri giderek artmaktadır. Benzeri durumlar diğer günlerde de kolaylıkla görülebilir. Oysa önerilen çözüm yaklaşımından elde edilen çizelgede, mevcut öğrenci sayısı nispeten az olan veya zorluk derecesi kolay grupta olan derslere ait sınavların aynı güne konulduğu gözlenmektedir. Bu durum amaç fonksiyonu değerinin daha düşük olmasını (iyileştirilmesini) sağlamaktadır.

Tablo 2: İlgili döneme ait mevcut sınav çizelgesi.

Gün	Periyot	I. Sınıf	II. Sınıf	III. Sınıf	IV. Sınıf
Pazartesi	1				KP (D.F.M.-A.H.) (z:1, ks:1, ts:118)
	2			EM (I.M.A.) (z:1, ks:10, ts:67)	
	3				
Salı	1	RTDB (K.M.) (z:1, ks:3, ts:74)		UY (U.E.G.) (z:1, ks:0, ts:57)	UY (U.E.G.) (z:1, ks:0, ts:57)
	2		SITP (M.Ö.P.) (z:2, ks:16, ts:121)		
	3				
Çarşamba	1		DD (D.D.) (z:3, ks:29, ts:192)		
	2	IF (C.M.A.) (z:2, ks:27, ts:162)		VKKÇ (I.M.A.)	VKKÇ (I.M.A.) (z:1, ks:0, ts:71)
	3			AS (A.H.) (z:2, ks:14, ts:70)	
Perşembe	1		PCA (A.Y.A.-E.E.) (z:3, ks:12, ts:119)		
	2				
	3				
Cuma	1			ASW (E.Ö.) (z:2, ks:21, ts:80)	
	2				
	3				
Pazartesi	1		TE (E.H.) (z:2, ks:13, ts:124)		
	2	BBT (A.Y.İ.-S.İ.F.) (z:1, ks:5, ts:167)		UTE (S.E.R.) (z:3, ks:0, ts:49)	UTE (S.E.R.) (z:3, ks:0, ts:49)
	3				
Salı	1				
	2	ISWRE (C.E.) (z:2, ks:2, ts:154)		IIIRO (A.C.) (z:2, ks:9, ts:70)	
	3				
Çarşamba	1	IDT (A.K.İ-E.A.) (z:1, ks:3, ts:158)		ER (D.F.M.) (z:1, ks:0, ts:54)	ER (D.F.M.) (z:1, ks:0, ts:54)
	2		IRO (E.E.-A.C.) (z:3, ks:20, ts:128)	YS (C.İ.) (z:1, ks:0, ts:50)	YS (C.İ.) (z:1, ks:0, ts:50)
	3				
Perşembe	1	IM (U.E.) (z:3, ks:20, ts:150)	ITIIA (A.M.) (z:2, ks:3, ts:107)	YF (K.F.) (z:2, ks:0, ts:19) CU (M.Ö.P.) (z:1, ks:1, ts:26)	YF (K.F.) (z:2, ks:0, ts:19) CU (M.Ö.P.) (z:1, ks:1, ts:26)
	2			IMSSP (S.E.R.) (z:2, ks:20, ts:86)	
	3				
Cuma	1		MM (D.E.) (z:3, ks:15, ts:123)		SE (A.H.) (z:1, ks:1, ts:115)
	2	KG (T.N.-A.A.) (z:2, ks:11, ts:175)			OUBB (E.Ö.) (z:1, ks:1, ts:117)
	3				

Tablo 3: Önerilen çözüm yaklaşımı ile oluşturulan sınav çizelgesi.

Gün	Periyot	I. Sınıf	II. Sınıf	III. Sınıf	IV. Sınıf
	1				KP (D.F.M.-A.H.) (z:1, ks:1, ts:118)
Pazartesi	2			IIIRO (A.C.) (z:2, ks:9, ts:70)	
	3		PCA (A.Y.A.-E.E.) (z:3, ks:12, ts:119)		
	1	BBT (A.Y.İ.-S.İ.F.) (z:1, ks:5, ts:167)			
Salı	2			UTE (S.E.R.) (z:3, ks:0, ts:49)	UTE (S.E.R.) (z:3, ks:0, ts:49)
	3		ITIIA (A.M.) (z:2, ks:3, ts:107)		
	1	KG (T.N.-A.A.) (z:2, ks:11, ts:175)			
Çarşamba	2			VKKÇ (I.M.A.) (z:1, ks:0, ts:71)	VKKÇ (I.M.A.) (z:1, ks:0, ts:71)
	3			CU (M.Ö.P.) (z:1, ks:1, ts:26)	CU (M.Ö.P.) (z:1, ks:1, ts:26)
	1	ISWRE (C.E.) (z:2, ks:2, ts:154)			
Perşembe	2		MM (D.E.) (z:3, ks:15, ts:123)		
	3			AS (A.H.) (z:2, ks:14,ts:70)	
	1		TE (E.H.) (z:2, ks:13, ts:124)		
Cuma	2	RTDB (K.M.) (z:1, ks:3, ts:74)			
	3			ASW (E.Ö.) (z:2, ks:21,ts:80)	
	1				SE (A.H.) (z:1, ks:1, ts:115)
Pazartesi	2			EM (I.M.A.) (z:1, ks:10, ts:67)	
	3		IRO (E.E.-A.C.) (z:3, ks:20, ts:128)		
	1			YF (K.F.) (z:2, ks:0, ts:19)	YF (K.F.) (z:2, ks:0, ts:19)
Salı	2	IM (U.E.) (z:3, ks:20,ts:150)			
	3			IMSSP (S.E.R.) (z:2, ks:20, ts:86)	
	1	IDT (A.K.İ-E.A.) (z:1, ks:3, ts:158)			
Çarşamba	2		SITP (M.Ö.P.) (z:2, ks:16, ts:121)		
	3			UY (U.E.G.) (z:1, ks:0, ts:57)	UY (U.E.G.) (z:1, ks:0, ts:57)
	1				
Perşembe	2		DD (D.D.) (z:3, ks:29, ts:192)		
	3				OUBB (E.Ö.) (z:1, ks:1, ts:117)
	1	IF (C.M.A.) (z:2,ks:27, ts:162)			
Cuma	2			ER (D.F.M.) (z:1, ks:0, ts:54)	ER (D.F.M.) (z:1, ks:0, ts:54)
	3			YS (C.İ.) (z:1, ks:0, ts:50)	YS (C.İ.) (z:1, ks:0, ts:50)

Önerilen yaklaşımın diğer üstünlükleri aşağıda sıralanmıştır:

1) Mevcut programın sağlayamadığı kısıtlardan birisi herhangi iki sınavın aynı günün aynı zaman dilimine atanmamasıdır. Mevcut çizelgede, bu şekilde 11 farklı ders ikilisine ait sınavlar aynı zaman dilimine atanırken, önerilen çizelgede beklendiği üzere aynı zaman dilimine birden fazla sınav atanmamıştır. Bu durum, her bir zaman dilimi için ihtiyaç duyulan sınav salonu sayısını da en aza indirgemiştir,
2) Mevcut programda dört öğretim üyesinin tüm sınavları aynı haftaya atanırken; önerilen programda, böyle bir durumla karşılaşılmamış ve öğretim üyelerine ait sınavlar haftalara olabildiğince eşit dağıtılmıştır,
3) Mevcut programda birinci sınıfların sınavlarından sadece ikisi ilk haftaya, geriye kalan beş tanesi ise ikinci haftaya atanmıştır. Önerilen programda ise her bir sınıfa ait sınavlar haftalara eşit dağıtılmıştır,
4) Mevcut programda, 4.sınıflara ait SE ve OUBB zorunlu derslerine ait sınavlar aynı güne atanırken önerilen programda beklendiği üzere aynı sınıfın bir günde sadece bir zorunlu ders sınavı bulunmaktadır,
5) Ayrıca, mevcut programda ikinci sınıfın "zor" grubundaki derslerinden olan PCA ve DD derslerine ait sınavlar ardışık iki güne atanırken, önerilen çizelgede zorluk derecesi "zor" olan derslerin sınavları arasında en az bir gün ara verilmiştir.

Görüldüğü üzere önerilen çözüm yaklaşımı; derslerin zorluk düzeylerini, derslerden kalan öğrenci sayılarını, öğrenci/öğretim üyelerinin memnuniyetsizliklerini dikkate alarak; sınıflara ve öğretim üyelerine ait sınavların gün ve haftalara dengeli dağıldığı bir sınav programı sunmaktadır.

5 Sonuç

Bu çalışmada sınav çizelgeleme problemi ele alınmış olup, iki aşamalı bir çözüm yaklaşımı önerilmiştir. Tam sayılı programlama modelleri kullanılarak, ilk aşamada sınavlar zorluk gruplarına ayrılırken, ikinci aşamada sınav çizelgesi oluşturulmaktadır. Çözüm yaklaşımının uygulanması sonucu elde edilen sınav çizelgesi elle yapılan çizelge ile karşılaştırılmış ve önerilen çözüm yaklaşımı ile oluşturulan çizelgenin üstünlükleri sıralanmıştır.

Çalışmanın yazına yaptığı katkılar dört başlıkta toplanabilir:

1) Dersler, yılsonu ve bütünleme sınavlarındaki başarısızlık oranları dikkate alınarak, bir tam sayılı programlama modeli ile zorluk gruplarına ayrılmıştır,
2) Aynı günde -alt dönemden ders alan öğrenci sayıları dikkate alınarak- birden fazla sınava giren öğrenci sayısının derslerin zorluk dereceleri ile ağırlıklandırılmış toplamı en küçüklenmeye çalışılmıştır,
3) Öğrencileri ve öğretim üyelerini memnun edebilecek denge kısıtlarını içeren özgün bir tam sayılı programlama modeli geliştirilmiştir,
4) Gerçek bir sınav çizelgeleme problemi, bir eğitim dönemine ait gerçek verilerle ele alınmış ve önerilen çözüm yöntemi ile oluşturulan programın mevcut durumdaki çizelgeden üstünlükleri ortaya konulmuştur.

Ele alınan problemin büyük boyutlu versiyonları için sezgisel veya meta-sezgisel çözüm yaklaşımları geliştirilebilir. Fakat günümüzde hem en iyileme yazılımlarının çözüm algoritmalarının güçlenmesi hem de bilgisayar donanımları açısından işlemci hızlarının ve bellek büyüklüklerinin oldukça arttırılması sayesinde; bu tür atama problemlerinde, problem büyüklüğü arttıkça, kabul edilebilir bir sürede en iyi çözüme ulaşma açısından bir sıkıntı yaşanmayacağı öngörülmektedir.

Gelecekteki çalışmalarda; önerilen çözüm yaklaşımı, fakültenin tüm bölümlerini kapsayacak şekilde genişletilebilir. Fakültelerde birden fazla bölüme ortak olarak verilen dersler varsa, bu derslere ait sınavların çizelgelendiği zaman diliminin sabitlenmesi ve/veya bölümlerin ortak olarak kullandığı laboratuvarlar bulunuyorsa, bu laboratuvarlara ihtiyaç duyulan sınavların çakışmaması vb. kısıtlar da modele eklenebilir.

Mevcut çalışma, birden fazla amaç fonksiyonunun bir arada değerlendirildiği çok amaçlı bir çerçeveye kavuşturulabilir. Ayrıca çalışmanın uygulama kolaylığını arttırmak üzere bir kullanıcı ara yüzü tasarlanabilir.

6 Kaynaklar

[1] Turabieh H, Abdullah S. "An integrated hybrid approach to the examination timetabling problem". *Omega*, 39(6), 598-607, 2011.

[2] Carter MW. "Or Practice-a survey of practical applications of examination timetabling algorithms". *Operations Research*, 34(2), 193-202, 1986.

[3] Burke E, Elliman D, Ford P, Weare R. *Examination Timetabling in British Universities: A Survey*. Editors: Burke E, Ross, P. Practice and Theory of Automated Timetabling, LNCS, 1153, 76-90, Berlin, Heidelberg, Springer, 1996.

[4] Cowling P, Kendall G, Hussin NM. "A Survey and Case Study of Practical Examination Timetabling Problems". *4th international Conference on the Practice and Theory of Automated Timetabling (PATAT 2002)*, Gent, Belgium, 21-23 August 2002.

[5] Burke E, Jackson K, Kingston JH, Weare R. "Automated university timetabling: the state of the art". *The Computer Journal*, 40(9), 565-571, 1997.

[6] Qu R, Burke EK, McCollum B, Merlot LT, Lee SY. "A survey of search methodologies and automated system development for examination timetabling". *Journal of Scheduling*, 12(1), 55-89, 2009.

[7] Broder S. "Final examination scheduling". *Communications of the ACM*, 7(8), 494-498, 1964.

[8] Lotfi V, Cerveny R. "A final-exam-scheduling package". *Journal of the Operational Research Society*, 42(3), 205-216, 1991.

[9] Bullnheimer B. *An Examination Scheduling Model to Maximize Students' Study Time*. Editors: Burke E, Carter M. *Practice and Theory of Automated Timetabling II*, LNCS, Vol. 1408, 78-91, Berlin, Heidelberg, Springer, 1998.

[10] Wong T, Côté P, Gely P. "Final Exam Timetabling: A Practical Approach". *IEEE Canadian Conference on Electrical and Computer Engineering, (CCECE 2002),* Manitoba, Canada, 12-15 May 2002.

[11] Mushi AR. "Mathematical programming formulations for the examinations timetable problem: the case of the University Of Dar Es Salaam". *AJST*, 5(2), 34-40, 2004.

[12] MirHassani SA. "Improving paper spread in examination timetables using integer programming". *Applied Mathematics and Computation*, 179(2), 702-706, 2006.

[13] McCollum B, McMullan P, Parkes AJ, Burke EK, Qu R. "A new model for automated examination timetabling". *Annals of Operations Research*, 194(1), 291-315, 2012.

[14] Wang S, Bussieck M, Guignard M, Meeraus A, O'Brien F. "Term-end exam scheduling at United States Military Academy/West Point". *Journal of Scheduling*, 13(4), 375-391, 2010.

[15] Al-Yakoob SM, Sherali HD. "A mixed-integer programming approach to a class timetabling problem: a case study with gender policies and traffic considerations". *European Journal of Operational Research*, 180(3), 1028-1044, 2007.

[16] Kahar MNM, Kendall G. "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, 2010.

[17] Ayob M, Hamdan AR, Abdullah S, Othman Z., Nazri MZA, Razak KA, ... Sabar NR. "Intelligent examination timetabling software". *Procedia-Social and Behavioral Sciences*, 18, 600-608, 2011.

[18] Komijan AR, Koupaei MN. "A new binary model for university examination timetabling: a case study". *Journal of Industrial Engineering International*, 8(1), 1-7, 2012.

[19] Ahmad F, Mohammad Z, Hassan H, Rose ANM, Muktar D. "Quadratic assignment approach for optimization of examination scheduling". *Applied Mathematical Sciences*, 9(130), 6449-6460, 2015.

[20] Koksalmış E, Gracia C, Rabadi G. "The optimal exam experience: a timetabling approach to prevent student cheating and fatigue". *International Journal of Operational Research,* 21(3), 263-278, 2014.

[21] Arbaoui T, Boufflet JP, Moukrim A. "A matheuristic for exam timetabling". *IFAC-PapersOnLine*, 49(12), 1289-1294, 2016.

[22] Cataldo A, Ferrer JC, Miranda J, Rey PA, Sauré A. "An integer programming approach to curriculum-based examination timetabling". *Annals of Operations Research*, 258(2), 369-393, 2016.

[23] Woumans G, De Boeck L, Beliën J, Creemers S. "A column generation approach for solving the examination-timetabling problem". *European Journal of Operational Research*, 253(1), 178-194, 2016.

[24] Cavdur F, Kose M. "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, 2016.

[25] Ergul Z, Kamisli Ozturk, Z. "A new mathematical model for multisession exams-building assignment". *Acta Physica Polonica A*, 132(3), 1207-1210, 2017.

[26] Sağlam B, Salman FS, Sayın S, Türkay M. "A mixed-integer programming approach to the clustering problem with an application in customer segmentation". *European Journal of Operational Research*, 16, 173(3), 866-879, 2006.

[27] ILOG, IBM. IBM ILOG CPLEX Optimization Studio, V12.6.2., 2013.