

FİNAL SINAV PROGRAMI HAZIRLAMA PROBLEMİNE AİT BİR MATEMATİKSEL MODEL VE UYGULAMA

Pınar Zarif TAPKAN*

ÖZ

Sınav çizelgeleme problemleri üniversitelerin karşılaştığı önemli problemlerden biridir. Son yıllarda bölümlerdeki öğrenci sayılarındaki artışa rağmen mevcut derslik kaynaklarının aynı kalması sebebiyle oluşturulan sınav programlarında çeşitli sıkıntılar ortaya çıkmaktadır. Mevcut durumda sınav çizelgeleri herhangi bir bilimsel yöntem kullanmadan programı yapan kişinin tecrübelerine dayanarak manuel olarak hazırlanmaktadır. Bunun sonucunda da öğrencilerin aynı günde çok sayıda sınav girmesi, aynı sınıfa ait zor olarak nitelenebilecek derslerin sınavının aynı güne atanması gibi problemler ortaya çıkabilmektedir. Bu tarz sorunların üstesinden gelmek amacıyla, bu çalışmada sınav çizelgeleme problemine yönelik karma tamsayı bir matematiksel model geliştirilmiştir. Önerilen model Erciyes Üniversitesi Endüstri Mühendisliği Bölümü'ne uygulanarak, 2016-2017 güz yarıyılı final programı CPLEX 12.6.1 optimizasyon paket programı kullanılarak çözülmüştür. Model sonucu elde edilen final programı, bölüm araştırma görevlilerince hazırlanan program ile karşılaştırılmıştır. Önerilen yöntem ile elde edilen final programı mevcut final programına göre daha az sayıda derslik kullanmış dolayısıyla gözetmen sayısı azaltılmış, sınavın yapıldığı dersliklerdeki boş yer sayısı minimize edilmiş, öğrencilerin performanslarını düşürmemek adına zor olarak belirtilen dersler aynı güne çizelgenememiş ve öğrencilerin sınavlar arası dinlenmelerine olanak sağlayan zaman boşlukları oluşturulmuştur.

Anahtar Kavramlar: Sınav Çizelgeleme, Karma Tamsayı Programlama.

A MATHEMATICAL MODEL FOR FINAL EXAM SCHEDULE AND AN APPLICATION

ABSTRACT

Exam scheduling problems are one of the major problems faced by universities. Despite the increase in the number of students in recent years, the existing classroom resources remain the same. Because of that, there are various problems in the examination programs. In the present case, the exam schedules are prepared manually based on the experience of the programmer without using any scientific method. As a result, there may occur many problems such as entering several exams or more than one hard exam on the same day. In order to overcome such problems, a mixed integer mathematical model for exam scheduling is proposed in this study. The proposed model is applied to Erciyes University, Department of Industrial Engineering and the final program of the 2016-2017 fall semester is established by using the CPLEX 12.6.1 optimization package program. The obtained exam schedule is compared with the schedule prepared by the research assistants. The final program obtained by the proposed method used fewer classrooms than the current final program, so the number of supervisors is reduced. On the other hand, the number of empty desks in the classrooms is minimized, hard exams are not scheduled on the same day and the time laps between exams are created in order to increase the performance of students.

Keywords: Exam Scheduling, Mixed Integer Programming.

* Dr. Öğr. Üyesi, Erciyes Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, pinartan@erciyes.edu.tr

Makalenin kabul tarihi: Ocak 2019.

GİRİŞ

Çizelgeleme birçok üretim ve hizmet sisteminde sürekli olarak kullanılan bir karar verme sürecidir. Belirli zaman periyodlarında kaynakların işlere atanmasıyla ilgilenir ve bir veya birden fazla amacın optimizasyonunu hedefler (Pinedo, 2008). Çizelgeleme problemi tanımlanmış kurallar dâhilinde, kısıtları sağlayacak şekilde, belirli bir zaman aralığında, gerekli atamaların (ders, iş, araç, personel vb.) yapılmasını sağlar. Bir firma veya kurumdaki kıt kaynakların çizelgeleme ile optimum şekilde tahsis edilmesi, zamanı verimli kullanmanın kazancı arttırdığı günümüzde bir gereklilik halini almıştır.

Çizelgeleme problemlerinin özel bir alanı ders çizelgeleme ve sınav çizelgelemedir. Liseler ve özellikle üniversitelerde ders programlarının, vize ve final sınavlarının hazırlanmasında bu tip problemlerle sık sık karşılaşmaktadır. Literatürde ders ve sınav çizelgeleme problemleri ile ilgili çeşitli çalışmalar mevcuttur. Yapılan çalışmalar temelde matematiksel model ve sezgisel veya metasezgisel yöntemleri içermektedir. Bu çalışmalar arasında, Barbaei, Karimpour ve Hadidi (2015) üniversite ders çizelgeleme probleminde yöneylem araştırması, metasezgisel yöntemler, yeni nesil uzman yöntemler, dağıtık çoklu ajan sistemi tabanlı yöntemler gibi mevcut yaklaşımları analiz etmişlerdir.

Matematiksel modelleme ile ilgili çalışmalar arasında Dimopoulou ve Miliotis (2001), bütünlük bir ders-sınav çizelgesi oluşturarak PC-tabanlı bir bilgisayar sisteminin tasarımını ve uygulamasını sunmuşlardır. Sistemlerinde dersleri zaman dilimi ve dersliklere atayan bir tamsayılı programlama modeli kullanmışlardır. Bu modelden elde ettikleri ders çizelgeleme probleminin çözümünü sınav çizelgesinin başlangıç çizelgesini oluşturmakta kullanmış ve bu çözümü bir sezgiselle iyileştirmeye çalışmışlardır. Al-Yakoob ve Sherali (2015), Kuveyt yerel eğitim sistemi örneği üzerinde öncelikle karma tamsayılı bir model önermişler ancak modelin gerçek örneklerde kullanımının pratik olmamasından dolayı iki farklı ayrıştırma yaklaşımı geliştirmişlerdir. Yaklaşımlarından ilki iki-aşamalı modellemeye, ikincisi ise sütun üretmeye dayanmaktadır. Dorneles, Araujo ve Buriol (2017) lise çizelgeleme problemi için bir çoklu-emptia akış modeli geliştirmişlerdir. Ayrıca Dantzig-Wolfe ayrıştırma yöntemini önerdikleri modele uygulamış, bir sütun üretme algoritması geliştirmiş ve problemin bilinen örnekleri üzerinde deneysel sonuçlar sunmuşlardır. Dammak, Elloumi ve Kamoun (2006) boyutları önceden bilinen bağımsız (çakışmayan) bir sınavlar kümesini belirli kapasitelere sahip derslikler kümesine atama problemini 0-1 tamsayılı programlama problemi ve ulaştırma problemi olarak modellemişlerdir. Ayrıca problemin çözümü için basit bir sezgisel yöntem geliştirmişlerdir. Uçar ve İşleyen (2016) telafi dersi çizelgeleme probleminin çözümü için yeni bir matematiksel model geliştirmiş ve Gazi Üniversitesi Endüstri Mühendisliği Bölümü'nde uygulamışlardır. Model sonucunda derslerin uygun haftalara, günlere, saatlere ve dersliklere atandığı çizelgeler elde etmişlerdir. Demir ve Çelik (2016) derslerin ait oldukları bölüm ve sınıflara ait birçok kısıtı içeren müfredat bazlı akademik zaman çizelgeleme problemine tamsayılı doğrusal bir model önermiş ve küçük boyutlu bir örnek için modeli çözerek sonuçları değerlendirmişlerdir.

Matematiksel modelleme dışında, Kahar ve Kendall (2009) Malezya Pahang Üniversitesindeki sınav çizelgeleme problemi için kurucu bir sezgisel geliştirmişlerdir. Geliştirdikleri sezgisel, üniversitede mevcut kullanılan yazılımdan daha iyi sonuçlar vermekte ve yazılımın ele alamadığı katı kısıtları da dikkate almaktadır. Qu, Burke ve McCollum (2010) çalışmalarında sınav çizelgeleme ve grafik renklendirme problemleri için melez sezgisellerin adaptif otomatik kurulumunu ele almışlardır. Bu amaçla, farklı kalitedeki çözümleri oluşturmakta rastgele iteratif bir grafik tabanlı üst-sezgisel sunmuşlardır. Santiago-Mozos, Salcedo-Sanz, Deprado-Cumplido ve Bousoño-Calzon (2005) ders çizelgeleri için iki aşamalı bir sezgisel evrimsel algoritma önermiş ve bir İspanyol üniversitesine uygulamışlardır. Burke, Eckersley, McCollum, Petrovic ve Qu (2010) üniversite sınav çizelgeleme problemi için melez bir değişken komşu arama (DKA) yaklaşımı sunmuşlardır. Temel DKA yönteminin yanı sıra DKA'nın genetik algoritma ile melezlenmiş halini de içeren DKA'nın farklı varyantlarını önermişlerdir. Li, Bai, Shen ve Qu (2015) Evrimsel Yıkım ve Stokastik Yeniden Oluşum adını verdikleri durum geçiş tabanlı bir yapı önermişler ve yöntemlerini sınav çizelgeleme probleminde uygulamışlardır. Elloumi, Kamoun, Jarboui ve Dammak (2014) sınav çizelgeleme probleminin NP-zor bir problem olduğunu göstermiş, boyutunu indirgemek için bir teorem sunmuş ve baskınlık kriterinden esinlenen bir indirgeme prosedürü geliştirmişlerdir. İndirgeme yöntemleri genellikle tüm sınavları dersliklere atamadığından iyi kalitede tam bir çözüm üretmek için DKA algoritması önermişlerdir. Arbaoui, Boufflet ve Moukrim (2016) Toronto referans örneğinde sınav çizelgeleme problemini çözmek için bir metasezgisel yöntem sunmuşlardır. Önerdikleri yaklaşım, mevcut matematiksel programlama tabanlı sezgisellerden daha iyi sonuçlar vermiştir.

Bu çalışmada üniversitelerin final sınav çizelgelerinin hazırlanması esnasında karşılaştıkları problemlerin üstesinden gelmek amacıyla karma tamsayı bir matematiksel model geliştirilmiştir. Karma tamsayı programlama problemi, çoğu uygulama probleminde olduğu gibi bazı karar değişkenlerinin tamsayı, bazılarının ise reel sayı olması gerektiği doğrusal programlama problemleridir. Final sınav çizelgelerinin hazırlanması probleminde de hem tamsayı hem de reel değer alması gereken karar değişkenleri olduğundan elde edilen matematiksel model karma tamsayı bir yapıya sahip olacaktır.

Bir sınav çizelgesinin kalitesi kullanılacak derslik sayısı, derslik kapasiteleri, gözetmen sayısı, sınavların yapılacağı zaman aralığı gibi kıt kaynakların etkin kullanımıyla birimin, öğretim elemanlarının ve öğrencilerin taleplerinin ne derece sağlandığı ile ölçülebilir. Birçok üniversitede sınav çizelgeleri ilgili birimlerde görevli kişiler tarafından manuel olarak hazırlanmakta, bu süreç günler sürmekte ve sonuçta öğrencilerin sınavlarının çakışması, aynı günde çok sayıda sınava girmeleri gibi istenmeyen durumlar ortaya çıkabilmektedir. Bu istenmeyen durumlar ise çizelgede tekrar tekrar revizyonlar yapılarak düzeltilmektedir. Üniversitelerdeki öğrenci sayısının her yıl düzenli olarak artması neticesinde mevcut kaynaklar ile sınavların yürütülmesinde yaşanan zorluk, sınav çizelgeleme problemini daha da önemli hale getirmektedir.

Önerilen model Erciyes Üniversitesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü 2016-2017 güz dönemi final programına uygulanmış; literatürde yaygın olarak bulunan kısıtların yanı sıra bölüme özel birtakım isteklere ve öğrencilerin sınav yoğunluklarının azaltılarak başarılı bir sınav dönemi geçirmelerini sağlayacak özel kısıtlara da yer verilmiştir. Geliştirilen model sayesinde bölüm araştırma görevlileri tarafından manuel olarak hazırlanması günler süren sınav çizelgesi bir dakikadan az bir sürede elde edilmiştir. Modelde kıt kaynaklar etkin bir şekilde kullanılmış; öğretim üyesi ve öğrencilerin istekleri karşılanmıştır. Çizelgede olması istenen kısıtlar ve öğretim üyesi veya öğrenci talepleri başta modele yansıtıldığından oluşan final çizelgesi üzerinde revizyona ihtiyaç kalmamıştır.

Makalenin izleyen bölümleri şu şekilde organize edilmiştir: Birinci bölümde sınav çizelgeleme problemi için önerilen karma tamsayı matematiksel model sunulmuştur. İkinci bölümde önerilen modelin çözümü ve mevcut durum ile karşılaştırma sonuçları verilmiştir. Son olarak sonuçlar ve planlanan gelecek çalışmalardan bahsedilmiştir.

I. FİNAL SINAV PROGRAMININ HAZIRLANMASI PROBLEMİ VE MATEMATİKSEL MODEL

Sınav programının hazırlanması problemi, zaman çizelgeleme problemlerinin en yaygın kullanım alanlarından biridir. Üniversitelerde her dönem çözülmesi gereken bu problem için, öğrencilerin aynı anda birden fazla sınavlarının olması, sınav yapılacak dersliğin kapasitesi, gözetmen sayısı ve belli bir zaman içinde bütün sınavların yapılacak olması önemli kısıtlardır. Bu tip problemler için genel bir çözümden bahsetmek zordur. Bununla birlikte her vaka değişik bir problem olarak düşünülürse, her problem için farklı bir algoritma kullanılabilir (Acar ve Şevkli, 2013).

Literatürde sınav çizelgeleme problemleri için katı ve yumuşak olarak adlandırılan iki çeşit kısıt vardır. Katı kısıtlar uyulması zorunlu olan, yumuşak kısıtlar ise zorunlu olmayan ancak uygulamanın gerçekleştirildiği kuruma göre farklılık gösterebilen ve sağlanması istenen kısıtlardır. Literatürde genellikle iki katı kısıt bulunmaktadır. İlki, öğrencilerin aynı anda birden fazla sınava girememesi; ikincisi ise sınıfların kapasitesinin aşılmamasıdır. Yumuşak kısıtlar ise belli sınavların belli sınıflarda yapılması, öğrencilerin bir günde girebilecekleri sınav sayısının sınırlandırılması, öğrenci sayısı fazla olan sınavların erken tarihlerde yapılması gibi çeşitlendirilebilir (Acar ve Şevkli, 2013).

Geliştirilen matematiksel model, en önemli kıt kaynağın derslik kapasiteleri olduğu gerçeğiyle, dersliklerin mümkün olduğunca etkin kullanımını sağlayabilmek için, final sınav haftası süresince dersliklerdeki toplam boş yer sayısını minimize etmeyi amaçlamaktadır.

Temel atama kısıtları mantığına uygun olarak, her sınav bir dersliğe atanmalı, belli bir zamanda herhangi bir dersliğe en fazla bir sınav atanmalı, belli bir zamanda aynı sınıfa ait en fazla bir sınav ataması yapılmalıdır. Ayrıca bir

öğretim elemanının birden fazla derse girebileceği göz önüne alınarak bir öğretim elemanının verdiği farklı derslerin sınavları da aynı zaman aralığında olmamalıdır. Birden fazla derslikte gerçekleştirilen sınav saatinde bu dersliklerin başka sınavlar tarafından kullanımı da engellenmelidir.

Diğer taraftan öğrencilerin başarılı bir sınav dönemi geçirmelerini sağlamak amacıyla bir günde en fazla iki sınava girmeleri, aynı günde girecekleri iki sınav arasında uygun bir dinlenme süresi olması, öğrenciler tarafından zor olarak nitelendirilen sınavların aynı günde yapılmaması da dikkate alınmalıdır.

Bu bağlamda, final sınav programının hazırlanmasına yönelik önerilen karma tamsayılı matematiksel programlama modeli Şekil 1'de verilmiş olup modelde kullanılan indisler, parametreler ve değişkenler aşağıdaki gibi tanımlanmıştır.

İndisler

$i \in \{1, \dots, I\}$ = sınav kümesi

$j \in \{1, \dots, J\}$ = derslik kombinasyonu kümesi

$g \in \{1, \dots, G\}$ = gün kümesi

$k \in \{1, \dots, K\}$ = zaman aralığı kümesi

$s \in \{1, \dots, S\}$ = sınıf kümesi

$m \in \{1, \dots, M\}$ = zor sınav grupları kümesi

$n \in \{1, \dots, N\}$ = birden fazla derse giren öğretim elemanı kümesi

Parametreler

I = sınav sayısı

J = derslik kombinasyonu sayısı

G = gün sayısı

K = zaman aralığı sayısı

S = sınıf sayısı

M = zor sınav grubu sayısı

N = birden fazla derse giren öğretim elemanı sayısı

$a_j = j$. derslik kombinasyonunun kapasitesi

$b_i = i$. sınava girecek öğrenci sayısı

$c_i = i$. sınavın ait olduğu sınıf

$d_k = k$. zaman aralığının ait olduğu gün

$$e_{im} = \begin{cases} 1, & i. \text{ sınav } m. \text{ zor sınav grubunda ise} \\ 0, & \text{aksi takdirde} \end{cases}$$

$$f_{in} = \begin{cases} 1, & i. \text{ sınav } n. \text{ öğretim elemanı tarafından yapılıyorsa} \\ 0, & \text{aksi takdirde} \end{cases}$$

$$h_{jr} = \begin{cases} 1, & j. \text{ derslik kombinasyonunda yer alan bir derslik} \\ & r. \text{ derslik kombinasyonunda da yer alıyorsa} \\ 0, & \text{aksi takdirde} \end{cases}$$

$$y_{sk} = \begin{cases} 1, & s. \text{ sınıfın } k. \text{ zaman aralığında laboratuvarında sınavı varsa} \\ 0, & \text{aksi takdirde} \end{cases}$$

Önerilen matematiksel modelin ilk parametresi final sınav programına yerleştirilmesi gereken sınav sayısıdır (I). Yapılacak sınava girecek öğrenci sayısı, mevcut derslik kapasitelerinden fazla olduğunda birden fazla derslik kullanımı zorunlu hale geldiğinden mevcut dersliklerin farklı kombinasyonları da dikkate alınmalıdır (1, 2 ve 3 nolu dersliklerin ortak kullanımı gibi). Bu bağlamda oluşturulan derslik kombinasyonları sayısı (J) modelin ikinci parametresini temsil etmektedir. Final sınavlarının yapılacağı gün sayısı (G), final sınavının yapılacağı gün sayısına ve gün içerisinde sınav yapılabilecek saat aralıklarına bağlı olarak oluşturulan ikişer saatlik zaman aralıkları sayısı (K), sınavların kaçınıcı sınıfa ait olduğunu belirlemek amacıyla oluşturulan sınıf sayısı (S) modelin diğer parametreleridir. Ayrıca, öğrenciler tarafından zor olarak nitelendirilen ve aynı günde yer alması istenmeyen sınavlar gruplandırılmış, bu grupların sayısı (M) ve aynı dönem içerisinde birden fazla derse giren öğretim elemanı olabileceğinden, bu özelliğe sahip öğretim elemanı sayısı (N) modelin diğer parametreleri olarak tanımlanmıştır.

Karar değişkenleri

$$X_{ijk} = \begin{cases} 1, & i. \text{ sınav } j. \text{ derslik kombinasyonunda } k. \text{ zaman aralığında yapılırsa} \\ 0, & \text{aksi takdirde} \end{cases}$$

$da_i = i$. sınavdaki kullanılmayan kapasite miktarı (boş yer sayısı)

Şekil 1: Final Sınav Programının Hazırlanmasına Ait Karma Tamsayılı Matematiksel Model

$$\min \quad \sum_i da_i$$

$$\sum_{j:b_i \leq 1.1a_j} \sum_k x_{ijk} = 1 \quad \forall i \quad (1)$$

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

$$\sum_{i:c_i=s} \sum_j x_{ijk} \leq 1 \quad \forall k, s \quad (3)$$

$$\sum_{i:c_i=s} \sum_j x_{ijk+1} + \sum_{i:c_i=s} \sum_j x_{ijk+2} \leq 2 * \left(1 - \sum_{i:c_i=s} \sum_j x_{ijk} \right) \quad \forall k, s \quad (4)$$

$$\sum_{i:e_{im}=1} \sum_j \sum_{k:d_k=g} x_{ijk} \leq 1 \quad \forall m, g \quad (5)$$

$$\sum_{i:c_i=s} \sum_j \sum_{k:d_k=g} x_{ijk} + \sum_{i:e_{is-1}=1} \sum_j \sum_{k:d_k=g} x_{ijk} \leq 1 \quad \forall g, s: s \neq 1 \quad (6)$$

$$\sum_{i:e_{is-1}=1} \sum_j \sum_{k:d_k=d_l} x_{ijk} = 0 \quad \forall s, l: y_{sl} = 1, s \neq 1 \quad (7)$$

$$\sum_{i:f_{in}=1} \sum_j x_{ijk} \leq 1 \quad \forall n, k \quad (8)$$

$$\sum_{i:c_i=s} \sum_j \sum_{r:k-2 \leq r \leq k+2} x_{ijr} = 0 \quad \forall s, k: y_{sk} = 1 \quad (9)$$

$$\sum_{i:c_i=s} \sum_j \sum_{k:d_k=d_t} x_{ijk} \leq 2 - \sum_{r:d_t=d_r} y_{sr} \quad \forall s, t \quad (10)$$

$$\sum_i \sum_{j:h_{jr}=1} x_{ijk} \leq 1 \quad \forall r, k \quad (11)$$

$$da_i \geq (a_j - b_i)x_{ijk} \quad \forall i, j, k \quad (12)$$

$$x_{ijk} \in \{0,1\} \quad (13)$$

$$da_i \geq 0 \quad (14)$$

Önerilen karma tamsayı modelde final sınav programı süresince dersliklerdeki toplam boş yer sayısı minimize edilmiştir. Böylece sınavlardaki öğrenci sayıları ve derslik kapasiteleri de dikkate alınarak derslikler mümkün olduğunca doldurulmaya çalışılmış, sonuçta oldukça sınırlı bir kaynak olan derslikler en etkin şekilde kullanılabilmiştir.

Her sınav herhangi bir zaman aralığında, sınava girecek öğrenci sayısı derslik kombinasyonunun kapasitesini en fazla %10 oranında aşabilecek şekilde mutlaka bir derslik kombinasyonuna atanmalıdır. Bahsedilen derslik kombinasyonu kapasitesini aşma durumu, sınava girecek öğrenci sayısının derslik kombinasyonu kapasitesine çok yakın olması durumunda, öğrencilerin ön sıralarda ikili oturmasına izin verilmesini ifade etmektedir. İlgili kısıt Eş.1 ile sağlanmaktadır. Eş.2 ise herhangi bir derslik kombinasyonuna herhangi bir zaman aralığında en fazla bir sınav atanmasını sağlamaktadır. Aynı sınıf öğrencilerinin belli bir zaman aralığında birden fazla sınava girmeleri mümkün değildir. Bu bağlamda aynı sınıfa ait sınavların aynı zaman aralığına atanmaması durumu Eş.3 ile sağlanmaktadır.

Öğrencilerin iki sınav arasında dinlenmelerine olanak verecek şekilde, her sınıfın ardışık sınavları arasında en az 2 zaman aralığı boş süre olması kısıtı Eş.4 ile sağlanmaktadır. Böylece aynı günde girilecek iki sınav arasında uygun bir dinlenme süresi (2 zaman aralığı = 4 saat) ve farklı günlerde girilecek iki sınav arasında yeterli çalışma süresi verilmiş olmaktadır (Geç saatlerde bitecek bir sınavdan çıkan öğrencinin ertesi gün erken saatlerde tekrar sınavı olmaması gibi). Yine öğrenci memnuniyetini ve performansını artırmak amacıyla zor sınav grubunda yer alan sınavların aynı gün içerisinde olmaması Eş.5 ile sağlanmıştır. Ayrıca zor sınav grubunda yer alan sınavlar öğrencilerin önceki sene başarısız olarak tekrar alacağı derslerden de olabilir. Diğer bir deyişle 3. sınıftaki bir öğrencinin eğitim planındaki derslerinin yanı sıra eğer başarısız olduysa 2. sınıftaki zor dersleri de alması gerekebilir. Bu sebeple olası bir çakışmayı önleyebilmek için her sınıfa ait derslerin önceki sınıftaki zor derslerle de aynı gün içinde olmaması Eş.6 ile sağlanmıştır. Diğer taraftan laboratuvar ortamında yapılan sınavlar da dikkate alınmalı, belli bir sınıfın belli bir gün laboratuvarda sınavı varsa aynı gün bir alt sınıftaki zor derslerin sınavlarının da olmaması gerekir. İlgili kısıt Eş. (7) ile sağlanmıştır.

Bir öğretim elemanı birden fazla ders verebilmektedir ve her bir öğretim elemanı öğrencilerin sınavla ilgili sorularını yanıtlamak için sınavda bulunmalıdır. Bu durum düşünüldüğünde, bir öğretim elemanının verdiği farklı derslerin sınavları aynı zaman aralığında olmamalıdır. İlgili kısıt Eş.8 ile ifade edilmektedir.

Diğer taraftan bazı sınavlar laboratuvar ortamında yapılmaktadır. Uygulamanın gerçekleştirildiği bölümde, laboratuvarlar fakülte bazında ortak kullanıldığından laboratuvarda gerçekleştirilecek sınavların zamanı da merkezi sistemle önceden belirlenmektedir. Bu tür sınavlar için bir derslik ve zaman atanması yapılması gerekmez de ilgili zaman aralığına aynı sınıfın başka bir sınavının atanmaması gerekmektedir. Ayrıca, sınav programına yerleştirilecek sınavlarla laboratuvarda yapılacak sınavlar arasında da yine 2 zaman aralığı boş süre olmalıdır. Bahsedilen kısıt Eş.9 ile sağlanmaktadır. Öğrencilerin memnuniyeti ve performansının artırılması amacıyla her sınıfın bir gün içerisinde en fazla 2 sınava

girmesi uygun görülmektedir. Ancak ilgili sınıfın aynı günde laboratuvarında da sınavı olabilmesi durumu dikkate alınmalıdır. Bahsedilen kısıt Eş.10 ile sağlanmaktadır.

Daha önce bahsedildiği gibi mevcut derslikler sınava girecek öğrenci sayısına bağlı olarak farklı kombinasyonlarda kullanılabilir. Diğer bir deyişle, bir sınav için birden fazla derslik aynı anda ilgili sınav için ayrılabilir ve sınav eşzamanlı olarak bu dersliklerde yürütülebilir. Bu bağlamda belli bir zaman aralığında, çakışmayı engellemek amacıyla aynı dersliği kullanan kombinasyonlardan en fazla birine atama gerçekleştirilmelidir. Bahsedilen durum Eş.11 ile sağlanmıştır. Bir sınavın ataması gerçekleştiyse, atanmış olduğu dersliğin kapasitesi ile sınava girecek öğrenci sayısı arasındaki fark ilgili sınavdaki boş yer sayısı olarak Eş.12 ile tanımlanmaktadır. Eş.13 ve Eş.14 ise değişken tiplerini ifade etmektedir.

II. GELİŞTİRİLEN KARMA TAMSAYILI MODELİN UYGULANMASI

Geliştirilen karma tamsayılı matematiksel modelin etkinliği Erciyes Üniversitesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü I. ve II. öğretim müfredat programı verileri baz alınarak değerlendirilmiştir. İlgili bölümde, final sınavları 2 hafta süresince hafta içi günlerde ($G = 10$), sınavın I. veya II. öğretim olmasına bakılmaksızın 08.00-17.00 saatleri arasında ikişer saatlik zaman dilimleri ($K=4*10=40$) halinde gerçekleştirilmektedir. Matematiksel modelin karar değişkenlerinde gün ve saat indislerini ayrı ayrı kullanmak yerine zaman aralığı indisi kullanılarak her iki bilgi birleştirilmiştir. Kullanılan zaman aralıkları Tablo 1'de verilmiştir.

Tablo 1: Zaman Aralığı ve Gün Bileşkeleri

Zaman aralığı (k)	Gün (d_k)	Saat	Zaman aralığı (k)	Gün (d_k)	Saat
1	Pazartesi (1)	08.00-10.00	21	Pazartesi (6)	08.00-10.00
2	Pazartesi (1)	10.00-12.00	22	Pazartesi (6)	10.00-12.00
3	Pazartesi (1)	13.00-15.00	23	Pazartesi (6)	13.00-15.00
4	Pazartesi (1)	15.00-17.00	24	Pazartesi (6)	15.00-17.00
5	Salı (2)	08.00-10.00	25	Salı (7)	08.00-10.00
6	Salı (2)	10.00-12.00	26	Salı (7)	10.00-12.00
7	Salı (2)	13.00-15.00	27	Salı (7)	13.00-15.00
8	Salı (2)	15.00-17.00	28	Salı (7)	15.00-17.00
9	Çarşamba (3)	08.00-10.00	29	Çarşamba (8)	08.00-10.00
10	Çarşamba (3)	10.00-12.00	30	Çarşamba (8)	10.00-12.00
11	Çarşamba (3)	13.00-15.00	31	Çarşamba (8)	13.00-15.00
12	Çarşamba (3)	15.00-17.00	32	Çarşamba (8)	15.00-17.00
13	Perşembe (4)	08.00-10.00	33	Perşembe (9)	08.00-10.00
14	Perşembe (4)	10.00-12.00	34	Perşembe (9)	10.00-12.00
15	Perşembe (4)	13.00-15.00	35	Perşembe (9)	13.00-15.00
16	Perşembe (4)	15.00-17.00	36	Perşembe (9)	15.00-17.00
17	Cuma (5)	08.00-10.00	37	Cuma (10)	08.00-10.00
18	Cuma (5)	10.00-12.00	38	Cuma (10)	10.00-12.00
19	Cuma (5)	13.00-15.00	39	Cuma (10)	13.00-15.00
20	Cuma (5)	15.00-17.00	40	Cuma (10)	15.00-17.00

Final sınav programının hazırlanması esnasında ataması yapılacak sınavlar (laboratuvarda yapılan sınavlar hariç, $I = 23$), sınava girecek öğrenci sayıları ve sınavın ait olduğu sınıf Tablo 2'deki gibi belirlenmiştir. Uygulamanın gerçekleştirildiği bölümde aynı derse ait I. ve II. öğretim derslerinin sınavları birlikte yapılacağından birleştirilmiş, öğrenci sayıları da I. ve II. öğretimdeki öğrenci sayılarına göre güncellenmiştir. Ayrıca uzaktan eğitim şeklinde işlenen derslerin sınavları da uzaktan eğitim yöntemiyle haftasonları yapıldığı için bu dersler modelin dışında tutulmuştur.

Tablo 2: Final Sınav Programında Yer Alacak Sınav Bilgileri

Sınav no	Sınav adı	Sınava girecek öğrenci sayısı (b_i)	Sınavın ait olduğu sınıf (c_i)
1	Matematik I	195	1
2	Fizik I	308	1
3	Genel Kimya	278	1
4	Endüstri Mühendisliğine Giriş	214	1
5	Genel Ekonomi	207	1
6	Doğrusal Cebir	248	2
7	İş Bilimine Giriş	215	2
8	İstatistik ve Olasılık I	249	2
9	Veri tabanı Yönetimi	204	2
10	Üretim Bilgi Sistemleri	231	2
11	Sistem Analizi ve Tasarımı	247	2
12	İş Sağlığı ve Güvenliği	85	2
13	Üretim Planlama ve Kontrol I	259	3
14	Yöneylem Araştırması I	217	3
15	Bilim, Teknoloji ve Mühendislik	89	3
16	Sermaye Piyasası	80	3
17	Finansal Yönetim	70	3
18	İnsan Kaynakları ve Ücret Yönetimi	92	3
19	Stokastik Modeller	177	4
20	Yalın İmalat	158	4
21	Bulanık Küme Teorisi	56	4
22	Grup Teknolojisi	70	4
23	Mühendislikte Yapay Zeka	62	4

Final sınavları ders dönemi tamamlandıktan sonra başladığı için dersliklerin kullanımı sadece sınavlara ait olacaktır. Uygulama çalışmasının gerçekleştirildiği bölümün kendine ait 5 dersliği bulunmakta, bunun yanı sıra fakülte içinde başka bir bölüme ait ve daha büyük kapasiteye sahip (85 öğrenci) başka bir dersliğin (D2) sadece sınav haftalarında kullanımı da mümkün olmaktadır. Mevcut 6 dersliğin öğrenci sayısına bağlı olarak 41 (J) farklı kombinasyonu oluşturulmuş ve

kapasiteleriyle birlikte Tablo 3’de sunulmuştur. Örneğin 6 nolu kombinasyon 1. ve 2. dersliklerin ortak kullanımını ifade etmektedir. Dolayısıyla 6 nolu kombinasyonun kapasitesi ($48+45=93$) olarak belirlenmiştir.

Tablo 3: Derslik Bilgileri

Derslik Kombinasyon No (j)	Derslik Kombinasyon Bileşkesi	Kapasite (a_j)
1	1	48
2	2	45
3	3	45
4	4	48
5	5	18
6	1+2	93
7	1+3	93
8	1+4	96
9	1+5	66
10	2+3	90
11	2+4	93
12	2+5	63
13	3+4	93
14	3+5	63
15	4+5	66
16	1+2+3	138
17	1+2+4	141
18	1+2+5	111
19	1+3+4	141
20	1+3+5	111
21	1+4+5	114
22	2+3+4	138
23	2+3+5	108
24	2+4+5	111
25	3+4+5	111
26	1+2+3+4	186
27	1+2+3+5	156
28	1+2+3+6	223
29	1+2+4+5	159
30	1+2+4+6	226
31	1+3+4+5	204
32	1+3+4+6	226
33	2+3+4+5	156
34	2+3+4+6	223
35	1+2+3+4+5	204
36	1+2+3+4+6	271
37	1+2+3+5+6	241
38	1+2+4+5+6	244
39	1+3+4+5+6	244
40	2+3+4+5+6	241
41	1+2+3+4+5+6	289

Fakülte içinde başka bir bölüme ait ve final sınavları esnasında kullanıma açık olan 6. derslik ancak ve ancak, bölümün kendi derslikleri yeterli olmadığında kullanılabilir. Bir başka deyişle herhangi bir kombinasyonda 6. dersliğin kullanımıyla kapasite, bölümün kendi dersliklerinin toplam kapasitesi olan ($45+45+48+48+18$) 204 öğrenciyi geçmiyorsa, 6. derslik ilgili kombinasyona dâhil edilmemiştir.

Diğer taraftan örneğin 6 nolu derslik kombinasyonuna (1. ve 2. dersliklerin ortak kullanımı) belli bir gün ve zaman aralığında herhangi bir sınav atandığında, aynı gün ve zaman aralığında 1. ve/veya 2. dersliklerin kullanımını içeren herhangi bir kombinasyonun kullanılmaması gerekmektedir. Netice olarak belli bir gün ve zaman aralığında aynı dersliği kullanan kombinasyonlardan en fazla birine atama gerçekleştirilmektedir. Oluşturulan bu derslik kombinasyonlarını modele yansıtılabilmek amacıyla Tablo 4’de bir kısmı verilen 0-1 matris (h_{jr}) matematiksel modele parametre olarak girilmiştir. İlgili matriste 1 değerleri satırdaki derslik kombinasyonu kullanıldığında aynı gün ve zaman aralığında kullanılamayacak, 0 değerleri ise kullanılabilir derslik kombinasyonlarını ifade etmektedir.

Tablo 4: Derslik Kombinasyonları Matrisi

	1	2	3	4	5	6 (1+2)	7 (1+3)	8 (1+4)	9 (1+5)	10 (2+3)	11 (2+4)	12 (2+5)
1	1	0	0	0	0	1	1	1	1	0	0	0
2	0	1	0	0	0	1	0	0	0	1	1	1
3	0	0	1	0	0	0	1	0	0	1	0	0
4	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	1	0
5	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	1
6 (1+2)	1	1	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1
7 (1+3)	1	0	1	0	0	1	1	1	1	1	0	0
8 (1+4)	1	0	0	1	0	1	1	1	1	0	1	0
9 (1+5)	1	0	0	0	1	1	1	1	1	0	0	1
10 (2+3)	0	1	1	0	0	1	1	0	0	1	1	1
11 (2+4)	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	1	1
12 (2+5)	0	1	0	0	1	1	0	0	1	1	1	1

İlgili bölüm 1, 2, 3 ve 4. sınıflar olmak üzere farklı dersler içeren 4 farklı sınıfa sahiptir ($S=4$). Öğrenci performanslarının düşmemesi amacıyla zor grubunda yer alan derslere ait sınavların aynı güne atanmaması gerekmektedir. Bu amaçla Tablo 5 oluşturulmuş olup her bir sınıftaki zor sınavlar (e_{im}) belirlenmiştir ($M=4$).

Tablo 5: Zor Sınav Grupları

Zor sınav grupları	Sınav no	Sınav Adı
1. sınıf	1	Matematik I
	2	Fizik I
	3	Genel Kimya
2. sınıf	8	İstatistik ve Olasılık I
	9	Veritabanı Yönetimi
3. sınıf	13	Üretim Planlama ve Kontrol I
	14	Yöneylem Araştırması I
4. sınıf	19	Stokastik Modeller
	20	Yalın İmalat

Bölümde 8 öğretim üyesi birden fazla derse girmekte ($N=8$) ve bu derslere ait sınavların aynı zaman aralığında çizelgelenmemesi gerekmektedir. Bu doğrultuda birden fazla derse giren öğretim üyelerinin hangi derslere girdiği bilgisi ($f_{in}=1$) Tablo 6’da sunulmuştur. Tablodaki 1 değerleri satırda yer alan dersin

sütunda yer alan öğretim üyesi tarafından verildiğini göstermektedir. Örneğin 1 nolu öğretim üyesi 4 ve 21 nolu dersleri vermektedir.

Tablo 6: Birden Fazla Derse Giren Öğretim Üyelerine Ait Veriler

Öğretim üyesi no	Ders no
1	4,21
2	4,19
3	8,13
4	8,12,20
5	14,23
6	16,17
7	18,22
8	1,6

Daha önce de bahsedildiği gibi bazı derslerin sınavları laboratuvarında gerçekleştirilmektedir (Teknik Resim, Endüstride Bilgisayar Uygulamaları, Sistem Simülasyonu, Kurumsal Kaynak Planlama ve Matlab ile Problem Çözümleme). Bu tür derslerin sınav zamanları fakülte tarafından önceden belirlenmekte olup, önerilen matematiksel modele bir girdi (y_{sk}) teşkil etmektedir. Bahsedilen girdilerin bir örneği Tablo 7’de verilmiştir. Örneğin 1. sınıfların Teknik Resim sınavı ilk hafta Pazartesi günü 15:00-17:00 (4. zaman aralığı) saatleri arasında ve 4. sınıfların Endüstride Bilgisayar Uygulamaları sınavı ilk hafta Çarşamba günü 13:00-15:00 (15. zaman aralığı) saatleri arasında yapılacaktır.

Tablo 7: Laboratuvarında Gerçekleştirilen Sınavların Zamanları

Sınıf	Zaman aralığı
1	4
2	-
3	15,28
4	11,23

Önerilen matematiksel modelin Erciyes Üniversitesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü verileri ele alınarak CPLEX 12.6.1 optimizasyon paket programı ile Intel Core i7, 2.9GHz ve 8GB RAM özelliklerine sahip bilgisayarda çözülmesi neticesinde, 47 saniyelik çalışma süresi sonunda 33 amaç fonksiyonu değeri ile en iyi çözüme ulaşılmıştır. Aynı öğretim dönemine ait mevcut ve matematiksel modellerle elde edilen final sınav programları sırasıyla Tablo 8 ve Tablo 9’da sunulmuştur.

Tablo 8: Mevcut Final Sınav Programı

		MÜHENDİSLİK FAKÜLTESİ ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ FİNAL SINAV PROGRAMI		Yayın Tarihi	22.12.2016
				Sürüm No	ASIL
				Dönem	2016-2017 GÜZ
Tarih	Saat	Sınıf	Ders	Sınav Salonu	
26.12.2016 Pazartesi	08:00-10:00	1	Matematik I	301,302,303,304	
	10:00-12:00	3	Yöneylem Araştırması I	302,303,304,305,D2	
	15:00-17:00	1	Teknik Resim	Autocad, ERP, MBM, Biyomedikal	
27.12.2016 Salı	10:00-12:00	1	Genel Ekonomi	301,302,303,304,305	
	13:00-15:00	2	İstatistik ve Olasılık I	301,302,303,304,D2	
28.12.2016 Çarşamba	10:00-12:00	1	Fizik I	301,302,303,304,305,D2	
	13:00-15:00	4	Endüstride Bilgisayar Uygulamaları	Autocad, ERP	
	15:00-17:00	2	Sistem Analizi ve Tasarımı	301,302,303,304,305,D2	
29.12.2016 Perşembe	10:00-12:00	2	Veritabanı Yönetimi	301,302,303,304,305	
	13:00-15:00	3	Sistem Simülasyonu	Autocad, ERP, MBM, Biyomedikal, G Zemin, Harita	
	15:00-17:00	3	Bilim Teknoloji ve Mühendislik	301,302	
30.12.2016 Cuma	08:00-10:00	1	Genel Kimya	301,302,303,304,305,D2	
	10:00-12:00	4	Mühendislikte Yapay Zeka	301,302	
	13:00-15:00	4	Bulanık Küme Teorisi	302,305	
	15:00-17:00	2	Doğrusal Cebir	301,302,303,304,305,D2	
02.01.2017 Pazartesi	10:00-12:00	3	Üretim Planlama ve Kontrol I	301,302,303,304,305,D2	
	13:00-15:00	4	Kurumsal Kaynak Planlama	ERP	
	15:00-17:00	2	Üretim Bilgi Sistemleri	301,302,303,304,305,D2	
03.01.2017 Salı	08:00-10:00	3	İnsan Kaynakları ve Ücret Yönetimi	301,302	
	10:00-12:00	1	Endüstri Mühendisliğine Giriş	301,302,304,D2	
	15:00-17:00	3	Matlab ile Problem Çözümleme	ERP, Autocad	
04.01.2017 Çarşamba	10:00-12:00	2	İş Bilimine Giriş	301,302,303,304,305	
	13:00-15:00	4	Stokastik Modeller	301,302,303,304	
	15:00-18:00	3	Finansal Yönetim	301,302	
05.01.2017 Perşembe	10:00-12:00	4	Yalın İmalat	301,302,303,304	
	15:00-17:00	3	Sermaye Piyasası	301,302	
05.06.2015 Cuma	10:00-12:00	2	İş Sağlığı ve Güvenliği	301,302	
	13:00-15:00	4	Grup Teknolojisi	302,303	

Tablo 9: Matematiksel Modelle Elde Edilen Final Sınav Programı

		MÜHENDİSLİK FAKÜLTESİ ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ FİNAL SINAV PROGRAMI		Yayın Tarihi
				Sürüm No
				Dönem
				2016-2017 GÜZ
Tarih	Saat	Sınıf	Ders	Sınav Salonu
26.12.2016 Pazartesi	08:00-10:00	1	Genel Ekonomi	301,303,304,305
	10:00-12:00	3	Üretim Planlama ve Kontrol I	301,302,304,305,D2
	13:00-15:00	2	Sistem Analizi ve Tasarımı	302,303,304,305,D2
	15:00-17:00	1	Teknik Resim	Autocad, ERP, MBM, Biyomedikal
27.12.2016 Salı	08:00-10:00	3	Bilim Teknoloji ve Mühendislik	302,303
	13:00-15:00	1	Fizik I	301,302,303,304,305,D2
	15:00-17:00	4	Grup Teknolojisi	301,305
28.12.2016 Çarşamba	08:00-10:00	3	Finansal Yönetim	301,305
	10:00-12:00	2	Üretim Bilgi Sistemleri	301,302,303,D2
	13:00-15:00	4	Endüstride Bilgisayar Uygulamaları	Autocad, ERP
29.12.2016 Perşembe	08:00-10:00	2	Doğrusal Cebir	301,302,304,D2
	10:00-12:00	4	Mühendislikte Yapay Zeka	303,305
	13:00-15:00	3	Sistem Simülasyonu	Autocad, ERP, MBM, Biyomedikal, G Zemin, Harita
30.12.2016 Cuma	08:00-10:00	2	İstatistik ve Olasılık I	301,302,304,305,D2
	15:00-17:00	4	Bulanık Küme Teorisi	303,305
02.01.2017 Pazartesi	08:00-10:00	1	Matematik I	301,302,303,304
	13:00-15:00	4	Kurumsal Kaynak Planlama	ERP
	15:00-17:00	3	Sermaye Piyasası	302,303
03.01.2017 Salı	08:00-10:00	1	Genel Kimya	301,302,303,304,D2
	15:00-17:00	3	Matlab ile Problem Çözümleme	ERP, Autocad
04.01.2017 Çarşamba	13:00-15:00	4	Yalın İmalat	301,302,303,305
	15:00-17:00	2	Veritabanı Yönetimi	301,302,303,304,305
05.01.2017 Perşembe	10:00-12:00	4	Stokastik Modeller	301,302,303,304
	13:00-15:00	3	İnsan Kaynakları ve Ücret Yönetimi	302,303
	15:00-17:00	2	İş Sağlığı ve Güvenliği	302,303
05.06.2015 Cuma	10:00-12:00	3	Yöneylem Araştırması I	301,302,303,304,305
	13:00-15:00	2	İş Bilimine Giriş	301,303,304,305
	15:00-17:00	1	Endüstri Mühendisliğine Giriş	301,302,303,304,305

Her iki final sınav programı çeşitli kriterler açısından karşılaştırılmış, elde edilen bulgular Tablo 10'da özetlenmiştir.

Tablo 10: Matematiksel Model İle Elde Edilen Ve Mevcut Final Sınav Programlarının Karşılaştırılması

Kriter	Mevcut final sınav programı	Matematiksel modelle elde edilen final sınav programı
Dersliklerdeki toplam boş yer sayısı	384	33
Dersliklerdeki en fazla boş yer sayısı	58	10
Kullanılan toplam sınıf sayısı	93	85
Görevli gözetmen sayısı	102	92
Dersliklerde ikili oturacak toplam öğrenci sayısı	42	140
D2 sınıfını kullanma sayısı	9	7
Her sınıf için günde 2 sınavdan fazla girme sayısı	0	0
Her sınıf için sınavlar arası 2 zaman diliminden az süre olma sayısı	2	0
Her sınıf için günde 1 zor sınavdan daha fazla olma sayısı	0	0
Alt sınıftaki zor sınavlarla çakışma sayısı	5	0

Mevcut final sınav programı ile matematiksel modelle elde edilen final sınav programı karşılaştırıldığında final sınav süresi boyunca dersliklerdeki toplam boş yer sayısı mevcut programda 384 iken, matematiksel model ile elde edilen programda boş yer sayısı 33'e indirgenmiştir. Boş yer sayılarının en büyük değerleri dikkate alındığında ise mevcut programda bir derslikte en fazla 58 boş yer oluşmuşken, önerilen programda en fazla 10 boş yer ortaya çıkmıştır. Kullanılan toplam sınıf sayıları ise mevcut programda 93 iken önerilen programda 85'e düşmüştür. Diğer taraftan sınavlardaki gözetmen sayısı derslik kapasitelerine göre belirlenmiş olup 301, 302, 303, 304 ve 305 nolu sınıflara birer gözetmen, D2 nolu sınıfa ise iki gözetmen atanması uygundur. Bu durumda mevcut sınav programında 102 gözetmen görevlendirilirken, matematiksel modelle elde edilen programda 92 gözetmen görevlendirilmiştir. Böylece eldeki hem derslik hem de gözetmen sayısına bağlı kısıtlı kaynaklar daha etkin kullanılabilmiştir. Ayrıca matematiksel model ile öğrenci sayısının derslik kapasitesine çok yakın olduğu (%10) durumlarda ikili oturmasına izin verilmiştir. İkili oturma sayısına bakıldığında mevcut programda 42 öğrenci, önerilen programda ise 140 öğrenci ikili oturmuştur. Bu durum bir dezavantaj gibi gözükse de, aslında mevcut program daha fazla sayıda derslik kullanarak boş yerlerin oluşmasına sebebiyet vermiş, dolayısıyla da ikili oturma sayısını azaltabilmiştir. Matematiksel model ile elde edilen final programında ise ikili oturma sayısı her sınav için belli bir limit dâhilinde tutulduğu için kullanılan sınıf sayısı azaltılabilmektedir. Ayrıca daha önce belirtildiği gibi D2 dersliği aslında fakültedeki başka bir bölüme ait bir dersliktir ve sınav zamanlarında Endüstri Mühendisliği Bölümü'nün de kullanımına izin verilmektedir. Dolayısıyla bölümün kendine ait derslikleri etkin bir şekilde kullanılarak D2 dersliğinin

mümkün olduğunca az kullanılması gerekmektedir. Mevcut final programında D2 sınıfı 9 kez kullanılırken, önerilen programda 7 kez kullanılmıştır.

Öğrenci performanslarını etkilememek için dikkate alınan karşılaştırma kriterleri incelendiğinde ise her iki modelde de öğrenciler günde 2 sınavdan daha fazla ve 1 zor sınavdan daha fazla sınava girmemektedir. Ancak öğrencilere aynı gündeki 2 sınav arasında 4 saatlik dinlenme ve çalışma süresi sağlamak amacını taşıyan kriter mevcut programda 2 kere sağlanmamışken, önerilen programda her zaman sağlanmıştır. Son olarak öğrencilerin alttan alabilecekleri derslerle mevcut müfredatlarındaki sınavların aynı gün içerisinde olmaması durumu mevcut programda 5 kez sağlanmamışken, önerilen programda ilgili durum ihlal edilmemiştir.

SONUÇ

Bu çalışmada sınav çizelgeleme problemi için karma tamsayı bir matematiksel model geliştirilmiş ve Erciyes Üniversitesi Endüstri Mühendisliği Bölümü verilerine uygulanmıştır. Önerilen modelde, literatürde yaygın olarak bulunan sınav çizelgeleme kısıtlarının yanı sıra bölüme özel birtakım isteklere ve öğrencilerin sınav yoğunluklarının azaltılarak başarılı bir sınav dönemi geçirmelerini sağlayacak özel kısıtlara da yer verilmiştir. Geliştirilen matematiksel modelin CPLEX 12.6.1 optimizasyon paket programı kullanılarak çözülmesi neticesinde 42 saniyede en iyi çözüme ulaşılmıştır. Elde edilen program kullanılan derslik sayısı, boş yer sayısı gibi çeşitli kriterler açısından bölüm araştırma görevlilerince manuel olarak hazırlanan final programı ile karşılaştırılmış ve çok daha etkin sonuçlara çok kısa sürede ulaşılmıştır. Önerilen matematiksel modelin final sınav programı hazırlama sürecinde kullanılması ile hem zamandan hem de iş gücünden tasarruf edilebilecek, ayrıca belirlenen kısıtlar ve amaç fonksiyonu dâhilinde en iyi çözümün elde edildiği garantilenebilecektir. Çalışmanın sonraki aşamasında kapsam genişletilerek fakülte bazında sınav çizelgeleme problemi ele alınacaktır. Ayrıca vize sınav çizelgeleme ve ders programı hazırlama bileşenleri de dahil edilerek bütünlük bir sistem ortaya konması planlanmaktadır.

KAYNAKÇA

- Acar, M.F. ve Şevkli, M. (2013). Sınav çizelgelemesi için matematiksel model yaklaşımı, *Verimlilik Dergisi*, 1, 75-86.
- Al-Yakoob, S.M. ve Sheralı, H.D. (2015). Mathematical models and algorithms for a high school timetabling problem, *Computers & Operations Research*, 61, 56-68.
- Arbaoui, T., Boufflet, J.P. ve Moukrim, A. (2016). A matheuristic for exam timetabling, *IFAC-PapersOnLine*, 49(12), 1289-1294.
- Babaei, H., Karimpour, J. ve Hadidi, A. (2015). A survey of approaches for university course timetabling problem, *Computers & Industrial Engineering*, 86, 43-59.
- Burke, E.K., Eckersley, A.J., McCollum, B., Petrovic, S. ve Qu, R. (2010). Hybrid variable neighbourhood approaches to university exam timetabling, *European Journal of Operational Research*, 206, 46-53.
- Dammak, A., Elloumi, A. ve Kamoun, H. (2006). Classroom assignment for exam timetabling, *Advances in Engineering Software*, 37, 659-666.
- Demir, Y. ve Çelik, C. (2016). Müfredat bazlı akademik zaman çizelgeleme probleminin çözümüne tamsayı doğrusal programlama yaklaşımı, *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 31(1), 145-159.
- Dimopoulou, M. ve Miliotis, P. (2001). Implementation of a university course and examination timetabling system, *European Journal of Operational Research*, 130, 202-212.
- 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.
- Elloumi, A., Kamoun, H., Jarboui, B. ve Dammak, A. (2014). The classroom assignment problem: Complexity, size reduction and heuristics, *Applied Soft Computing*, 14, 677-686.
- Kahar, M.N.M. ve Kendall, G. (2009). The examination timetabling problem at Universiti Malaysia Pahang: Comparison of a constructive heuristic with an existing software solution, *European Journal of Operational Research*, 207, 557-565.
- Li, J., Bai, R., Shen, Y. ve Qu, R. (2015). Search with evolutionary ruin and stochastic rebuild: A theoretic framework and a case study on exam timetabling, *European Journal of Operational Research*, 242, 798-806.
- Pinedo, M.L. (2008). *Scheduling: Theory, Algorithms, and Systems*. 3rd Edition, New York: Prentice Hall.

- Qu, R., Burke, E.K. ve McCollum, B. (2010). Adaptive autoated construction of hybrid heuristics for exam timetabling and graph colouring problems, *European Journal of Operational Research*, 198, 392-404.
- Santiago-Mozos, R., Salcedo-Sanz, S., Deprado-Cumplido, M. ve Bousono-Calzon, C. (2005). A two-phase heuristic evolutionary algorithm for personalizing course timetables: A case study in a Spanish university, *Computers & Operations Research*, 32, 1761-1776.
- Uçar, U.Ü. ve İşleyen, S.K. (2016). Telafi dersi çizelgeleme probleminin (TDÇP) matematiksel modelle çözümü: Gerçek bir uygulama, *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 31(2), 331-346.