

DERS PROGRAMI ÇİZELGELEME PROBLEMİ İÇİN 0-1 TAMSAYILI PROGRAMLAMA MODELİ VE BİR ÖRNEK UYGULAMA

Hakan ALTUNAY *
Tamer EREN **

Alınma: 04.08.2015; düzeltme: 18.11.2016; kabul: 27.12.2016

Öz: Ders programı çizelgeleme problemi, başta üniversiteler olmak üzere bütün eğitim kurumlarında sıklıkla karşılaşılan, en yaygın zaman çizelgeleme problemlerinden birisidir. Çözümü gün geçtikçe zorlaşan bu problem, çeşitli kısıt yapıları dikkate alınmak koşuluyla, derslerin ve öğretim üyelerinin en uygun zaman dilimleri ve dersliklere atanmasını ifade etmektedir. Probleme özgü bu kısıt yapıları; eğitim kurumlarının özellikleri ve kuralları, öğretim üyelerinin talepleri, öğrencilerin istek ve önerileri gibi çeşitli faktörlere göre oluşturulmaktadır. Bu çalışmada, ders programı çizelgeleme problemi için öğretim üyelerinin istek ve taleplerini dikkate alan yeni bir 0-1 tamsayılı programlama modeli önerilmiştir. Önerilen bu matematiksel programlama modeli Uludağ Üniversitesinde yapılan bir örnek uygulama ile desteklenmiştir. Bu sayede matematiksel modelin bir gerçek hayat problemi üzerinde test edilmesi ve üretilen sonuçların analiz edilmesi sağlanmıştır. Yapılan uygulama çalışmasının sonuçları, önerilen matematiksel programlama modelinin kurum kurallarını ve öğretim üyelerinin tercihlerini karşılayan haftalık bir ders çizelgesinin elde edilmesinde verimli sonuçlar ürettiğini göstermektedir.

Anahtar Kelimeler: Ders Programı Çizelgeleme Problemi, 0-1 Tamsayılı Programlama, Çizelgeleme, Yöneylem Araştırması

A 0-1 Integer Programming Model for the Course Scheduling Problem and A Case Study

Abstract: The course scheduling problem is one of the most common timetabling problems which are frequently encountered in all educational institutions, especially universities. This problem which is getting harder to solve day by day, means the assignment of the lessons and lecturers into the most suitable time-slots and classrooms, provided that various constraints are taken into account. These constraints peculiar to the problem are consisted due to various factors such as the characteristics and the rules of the educational institutions, preferences of lecturers, students' requests and suggestions. In this study, a novel 0-1 integer programming model that considers preferences of lecturers is proposed for the course scheduling problem. The proposed mathematical model is also tested with a case study from Uludag University. Thus, the performance of the mathematical model can be tested and the results can be analyzed. The results of the carried out application show efficient results in preparing a course schedule that meets the preferences of the lecturers and complies with the rules of the institutions.

Keywords: Course Scheduling Problem, 0-1 Integer Programming, Scheduling, Operations Research

1. GİRİŞ

Çizelgeleme, üretim ve hizmet endüstrilerinde sıklıkla kullanılan bir karar verme sürecidir. Çizelgeleme fonksiyonu, bir işletme içerisindeki sınırlı miktardaki kaynağın çeşitli

* Fırat Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, 23119, Elazığ.

** Kırıkkale Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, 71450, Kırıkkale.

İletişim Yazarı: Tamer Eren (tamereren@gmail.com)

matematiksel veya sezgisel yöntemler kullanılarak ilgili görevlere atanmasını ifade eder. Bu atama işlemi de işletmelerin amaçlarını en iyi şekilde karşılar nitelikte olmalıdır. Çeşitli görevlerle eşleştirilecek kıt kaynaklar; atölyedeki tezgâhlar, bir havalimanındaki pistler, bir inşaattaki işçiler veya bilgisayardaki işlem birimleri gibi sektör ve işletmelerin niteliğine bağlı olarak farklılık gösterebilmektedir (Pinedo, 2005).

Sözü edilen kıt kaynakların, işletmenin hedeflerini optimize edecek şekilde uygun görevlere atanması işlemi çizelgeleme sürecinin amacını ortaya koymaktadır. Çünkü etkin bir çizelgeleme süreci sayesinde belirli faaliyetlerin, daha az kaynak kullanarak daha kısa sürede tamamlanabilmesi sağlanabilmektedir (Güldalı, 1990). Kurum ve sektöre göre farklılık gösterebilen bu faaliyetler hastanelerde görev yapan hemşire ve doktorların çalışma saatlerinin düzenlenmesi, üniversite ve okul gibi eğitim kurumlarındaki ders veya sınav programlarının hazırlanması veya belediyelerdeki toplu taşıma araçlarının hareket saatlerinin belirlenmesi gibi zamana bağlı aktiviteler olabilmektedir. Tüm bu örnekler gibi haftalık veya günlük olarak planlanması gereken faaliyetler zaman çizelgeleme problemleri kapsamında değerlendirilmektedir (Özyandı, 2010). Wren (1996)'e göre zaman çizelgeleme; bazı kısıtlar gözetilmek şartıyla, kısıtlı kaynakların en uygun görev ve zaman dilimlerine atanmasıdır. Burke ve diğ. (2006) göre ise zaman çizelgeleme problemleri; sınav, ders, toplantı gibi belirli sayıdaki faaliyetin, sınırlı miktardaki zaman aralıklarına olabilecek en uygun şekilde yerleştirilmesidir.

1960'lı yıllardan günümüze değin geçen süreçte, çok fazla sayıda araştırmaya konu olan zaman çizelgeleme problemleri, 50 yılı aşkın bir süre geçmesine rağmen yeni uygulama alanları ve çözüm yöntemleri gibi gelişmelerle birlikte halen güncelliğini koruyan bir çalışma alanı olma özelliğine sahiptir. Zaman çizelgeleme, uzun yıllar boyunca yöneylem araştırması ve yapay zekâ alanlarında çalışan araştırmacılar için oldukça ilgi çekici ve önemli bir çalışma alanı olma özelliğini korumuştur. Yapılan çalışmalar incelendiğinde zaman çizelgelemenin; eğitimsel zaman çizelgeleme, hemşire çizelgeleme, spor faaliyetleri çizelgeleme ve nakliye çizelgeleme gibi çeşitli şekillerde ele alındığı görülmektedir (Qu ve diğ., 2009).

Zaman çizelgeleme problemleri çok farklı uygulama alanlarına sahip olsa da çoğunlukla eğitim kurumlarındaki ders ve sınav programlarının çizelgelenmesi işlemlerinde kullanılmaktadır. Okul ve üniversite gibi kurumlarda yöneticiler, öğretim üyeleri ve öğrencilerin isteklerine cevap verecek mümkün bir ders programının oluşturulmasının zorluğu eğitimsel zaman çizelgeleme problemlerinin önemini ortaya koymaktadır. Öyle ki; bazı durumlarda uygun bir çizelgenin oluşturulması bile imkânsız hale gelebilmektedir (Botsalı, 2000). Uzun yıllardan beri araştırmacıların ilgisini çeken eğitimsel zaman çizelgeleme problemlerinin çözümü için birçok algoritma ve çözüm yöntemi önerilmiştir. Ancak probleme özgü genel bir çözüm yöntemi geliştirilememiştir. Bunun en önemli sebeplerinden birisi, eğitim kurumları arasındaki farklılıklardan kaynaklanan ihtiyaç ve taleplerin çok çeşitli şekillerde ortaya çıkmasıdır. Eğitim sistemlerinin ülkeden ülkeye değişkenlik göstermesi normal karşılanması gereken bir sonuçken, aynı bölgedeki okul veya üniversitelerde bile çok farklı uygulamalarla karşılaşılabilmesi, problemin çözümü için genel bir çözüm yönteminin geliştirilmesini olanaksız kılmaktadır (MirHassani, 2006).

Eğitimsel zaman çizelgeleme problemleri (EZÇP), karakteristik özellikleri ve sahip oldukları kısıt yapılarına göre farklı kategorilerde incelenmektedir. Ancak bu kategorilerden en yaygın şekilde kullanılanları (Schaerf, 1999; Schaerf ve Gaspero, 2001; Qu ve diğ., 2009): okul çizelgeleme problemi, sınav programı çizelgeleme problemi ve ders programı çizelgeleme problemleridir. EZÇP alanında çeşitli sınıflandırma şekilleri kullanılmasına rağmen, probleme özgü olan; sınav/ders, derslik, zaman dilimleri, öğretim üyesi ve öğrenci grupları gibi bileşenler küçük farklılıklar dışında bütün sınıflandırmalar için ortaktır. Bu çalışmada bir eğitimsel zaman çizelgeleme problemi türü olan ders programı çizelgeleme problemi (DPÇP) ele alınmıştır.

Carter ve Laporte (1998) tarafından çok boyutlu bir atama problemi olarak tanımlanan ders programı çizelgeleme problemi; ders, öğretim üyesi ve derslik gibi belirli sayıdaki kaynağın, mümkün zaman dilimlerine atanması olarak ifade edilmektedir (Burke ve diğ., 2001). DPÇP,

bütün yükseköğretim kurumlarının her eğitim-öğretim yılı içerisinde en az iki defa karşılaştığı, uğraştırıcı bir aktivitedir. Öyle ki, bu çizelgeler bilgisayar yardımı olmaksızın oluşturulmaya çalışıldığında çok fazla vakit kaybına ve çok ciddi aksaklıklara sebep olmaktadır. Bu aksaklıklar da öğrenciler ve öğretim üyeleri açısından çözülmesi olanaksız problemlere yol açabilmektedir. Tüm bu sebepler DPÇP'nin bir eğitim kurumu için ne derece önemli olduğunu göstermektedir. Üniversitelerde verilen eğitimin kalite seviyesini doğrudan etkileyebilen ders çizelgeleme faaliyeti, bilgisayar yardımı olmadan çözülemeyecek kadar karmaşık ve zor bir süreci beraberinde getirmektedir.

Bu çalışmada DPÇP'nin çözümü için yeni bir 0-1 tamsayılı programlama modeli önerilmiştir. Önerilen bu matematiksel programlama modelinin:

- Sadece tek bir karar değişkeni içermesi, anlaşılabilirliğinin üst seviyede olması, farklı özellik ve boyuttaki problemlere kolaylıkla uyarlanabilecek basit bir yapıya sahip olması,
- Bu alanda yapılan çalışmaların çoğunda iki veya üç aşamada çözülen DPÇP gibi NP-Hard tipindeki bir problem için, tek aşamada ve dışarıdan bir ara müdahale gerektirmeksizin oldukça makul sürelerde verimli çözümler üretmesi,
- Öğretim üyelerinin derslere önceden atandığı modellerin aksine; eş zamanlı olarak öğretim üyesi-ders eşleştirilmesinin de adaletli ve tercihe bağlı olarak yapılabilmesini sağlayan bir kurguya sahip olması gibi birçok özelliği içerisinde barındırması, bu çalışmanın DPÇP ve zaman çizelgeleme literatürüne olan katkısını ve önerilen matematiksel programlama modelinin önceki modellerden farkını ortaya koymaktadır.

2. ÖNERİLEN 0-1 TAMSAYILI PROGRAMLAMA MODELİ

Bu çalışmada ders programı çizelgeleme probleminin çözümü için yeni bir 0-1 tamsayılı programlama modeli önerilmiştir. Matematiksel programlama yöntemi, 1960'lı yıllardan günümüze değin geçen süreçte DPÇP ve diğer zaman çizelgeleme problemlerinin çözümü için kullanılan en etkili yöntemlerden birisi olmuştur.

DPÇP alanında yapılmış önceki çalışmalar incelendiğinde; tamsayılı programlama, karma tamsayılı programlama, doğrusal programlama ve hedef programlama yöntemleri kullanılarak oluşturulan matematiksel programlama modelleriyle sıklıkla karşılaşılmaktadır (Altunay ve Eren, 2016). Akkoyunlu (1973) üniversitenin sadece bir bölümü için geliştirdiği ve derslik boyutunu içermeyen doğrusal programlama modeli ile en iyi çözümü bulmayı başarmıştır. Harwood ve Lawless (1975) ise öğretim üyelerinin tercihlerinin dikkate alan, amaç programlama ve karışık tamsayılı programlama tekniklerinin birlikte kullanıldığı bir doğrusal programlama modeli önermişlerdir. Shih ve Sullivan (1977), DPÇP'nin çözümünde ders ve zaman dilimi tercihlerinin karşılanmasını hedefleyen, iki aşamalı bir 0-1 tamsayılı programlama modeli ortaya koymuşlardır. Badri (1996) DPÇP için, öğretim elemanlarının ders ve zaman dilimi tercihlerini karşılamaya yönelik olarak, çok amaçlı bir 0-1 tamsayılı programlama modeli önermiştir. Bir üniversitede yapılan örnek bir uygulama ile de önerilen matematiksel modelin verimli ders çizelgelerinin elde edilmesinde başarılı sonuçlar ürettiği görülmüştür. Daskalaki ve diğ. (2004) de problemin çözümü için yeni bir 0-1 tamsayılı programlama modeli önermişlerdir. Bu çalışmanın önemi çok sayıda kurum ve üniversitenin özelliklerini dikkate alan kapsamlı bir araştırma olmasıdır. Önerilen modelin bir mühendislik fakültesindeki uygulamasına ve sonuçlarına da çalışmada yer verilmiştir. Günalay ve Şahin (2006) ise problemin çözümü için amaç programlama yönteminden yararlanarak bir karar destek sistemi geliştirmişlerdir. Bir örnek uygulamaya ait veriler kullanılarak önerilen sistemin test edilmesi sağlanmıştır. Ismayilova ve diğ. (2007) önerilen çok amaçlı 0-1 tamsayılı doğrusal programlama modelinin amaç ifadelerinin önem ağırlıklarını çok ölçütlü karar verme yöntemlerinden yararlanarak belirlemişlerdir. Schimmelpfeng ve Helder (2007) DPÇP'nin çözümü için tamsayılı programlama modeli önermişlerdir. Önerilen model; 156 ders, 181 öğrenci grubu, 99 öğretim üyesi, 30 zaman dilimi ve farklı kapasitedeki 13 derslik için en iyi sonucu vermiştir. Bakır ve

Aksop (2008) tarafından geliştirilen 0-1 tamsayılı programlama modeli ise öğrenci ve öğretim üyelerinin memnuniyetsizliğinin en aza indirilmesine yöneliktir. Bir üniversitenin istatistik bölümünde uygulaması yapılan bu matematiksel modelin gelecek çalışmalarda bazı kısıtlar eklenerek, fakülte ve üniversite boyutunda çözümler üretilecek şekilde genişletilmesi gerektiği vurgulanmıştır. Bu çalışmalar gibi DPÇP'nin çözümünde matematiksel programlama yönteminden yararlanılan çok sayıda bilimsel yayına ulaşmak mümkündür (Tripathy, 1984; McClure ve Wells, 1984; Ferland ve Roy, 1985; Gosselin ve Truchon, 1986; Dinkel ve diğ., 1989; Ferland ve Fleurent, 1994; Badri ve diğ., 1998; Boronico, 2000; Dimopoulou ve Miliotis, 2001; Baker ve diğ., 2002; Dimopoulou ve Miliotis, 2004; Martin, 2004; Avella ve Vasiliev, 2005; Sarin ve diğ., 2005; Daskalaki ve Birbas, 2005; Al-Yakoob ve Sherali, 2006; MirHassani, 2006; Al-Yakoob ve Sherali, 2007; Cheng ve Kruk, 2007; Gunawan ve diğ., 2008; Burke ve diğ., 2008; Van Den Broek ve diğ., 2009; Sarin ve diğ., 2010; van den Broek ve Hurkens, 2012; Cacchiani ve diğ., 2013). Bu çalışmada da ders programı çizelgeleme probleminin çözümü için literatürdeki bu modellerle de ilişkili olan bir matematiksel programlama modeli önerilmiştir.

Çalışmanın bu bölümde önerilen matematiksel modele ilişkin ayrıntılara yer verilmiştir. Önerilen modele ait indisler ve tanım kümeleri Tablo 1'de sunulduğu gibidir. Bu tabloda görüldüğü üzere önerilen bu model ders programı çizelgeleme problemini; öğretim üyesi, ders, derslik, gün ve zaman dilimi olmak üzere beş boyutuyla da ele almaktadır.

Tablo 1. Önerilen modele ilişkin indisler ve tanım kümeleri

	İndis	Tanım Kümesi
Öğretim Üyesi	i	$A = \{1, 2, \dots, i_{max}\}$ i_{max} : Mevcut öğretim üyesi sayısı
Ders	j	$C = \{1, 2, \dots, j_{max}\}$ j_{max} : Akademik dönem için toplam ders sayısı
Derslik	k	$R = \{1, 2, \dots, k_{max}\}$ k_{max} : Kullanıma açık toplam derslik sayısı
Gün	l	$D = \{1, 2, \dots, l_{max}\}$ l_{max} : Ders programındaki toplam gün sayısı
Zaman Dilimi	m	$T = \{1, 2, \dots, m_{max}\}$ m_{max} : Bir gündeki zaman dilimi sayısı

Tablo 2.'de ise matematiksel programlama modeline ilişkin kullanılan parametreler ve bu parametrelerin tanımları yer almaktadır.

Tablo 2. Önerilen modele ilişkin parametreler ve tanımları

Parametre	Parametre Tanımı
a_{ji}	j . dersin i . öğretim üyesi tarafından verilebilme durumunu gösteren matris yapısı.
b_{jk}	j . dersin kapasite ve donanım gibi çeşitli özellikleri dikkate alınarak k . derslikte uygulanabilme durumunu belirten matris yapısı.

Tablo 2. (devamı)

Parametre	Parametre Tanımı
r_{il}	Her bir öğretim üyesi için oluşturulan gün bazındaki tercih matrisi (her bir öğretim üyesi için daha çok tercih edilen günler daha yüksek tercih değeri almaktadır).
S_i	i . öğretim üyesine ait ders yükünün alt sınır değeri.
U_i	i . öğretim üyesine ait ders yükünün üst sınır değeri.
M	Büyük bir sayı değeri.
C_n	n . sınıftaki dersleri ifade eden küme ($n= 1,2,\dots,n_{max}$).
c_n	n . sınıftaki öğrenci grubunun sorumlu olduğu ders sayısı.
A_j	j dersi ile ortak öğrenci grubu içeren derslerin kümesi.
B_t	t saatlik derslerin kümesi ($t= 1,2,\dots,t_{max}$).
D_i	i . öğretim üyesinin tercih etmediği günler kümesi.

Ders programı çizelgeleme probleminin çözümü için önerilen matematiksel programlama modeline ilişkin belirlenen karar değişkeni ise 1 numaralı denklemde verildiği gibidir. Karar değişkeni; öğretim üyesi, ders, derslik, gün ve zaman dilimi bilgilerini içerecek şekilde, 0-1 tamsayı (ikili-binary) özellikli bir değişken olarak düzenlenmiştir.

$$x_{ijklm} = \begin{cases} 1, & i. \text{ öğretim üyesi, } j. \text{ ders, } k. \text{ derslik, } l. \text{ gün, } m. \text{ zaman dilimine atanırsa} \\ 0, & \text{diğer durumlarda} \end{cases} \quad (1)$$

Önceki paragraflarda ayrıntıları verilen 0-1 tamsayı programlama modelinin en genel hali 2-16 numaralı denklem sistemlerinde sunulduğu gibidir. Ders programı çizelgeleme probleminin çözümüne ilişkin önerilen matematiksel modelin amaç fonksiyonu, öğretim üyelerinin tercihlerini olabilecek en üst düzeyde karşılamaya yönelik olarak düzenlenmiştir (2). Her bir öğretim üyesi için daha çok tercih edilen günlere daha yüksek tercih değerleri atanarak öğretim üyelerinin günlere ilişkin isteklerinin karşılanması sağlanmaktadır. Öğretim üyelerinin gün bazında tercihlerini içeren, " r_{il} " tercih matrisi; amaç fonksiyonun en önemli parçasıdır. Bu

matris öğretim üyelerinin unvanları ve görevleri dikkate alınarak hazırlanmıştır. Örneğin; bölüm dışından gelen öğretim üyelerine ilişkin önem katsayısı en fazla iken bunu profesör ünvanlı öğretim üyelerinin sahip olduğu önem derecesi takip etmektedir.

Amaç Fonksiyonu:

$$\text{Maksimize } Z = \sum_{i \in A} \sum_{j \in C} \sum_{k \in R} \sum_{l \in D} \sum_{m \in T} r_{il} \cdot x_{ijklm} \quad (2)$$

Kısıtlar:

$$\sum_{j \in C} \sum_{k \in R} x_{ijklm} \leq 1 \quad \forall i \in A, l \in D, m \in T \quad (3)$$

$$\sum_{i \in A} \sum_{j \in C} x_{ijklm} \leq 1 \quad \forall k \in R, l \in D, m \in T \quad (4)$$

$$\sum_{i \in A} \sum_{k \in R} \sum_{l \in D} \sum_{m \in T} x_{ijklm} \leq 1 \quad \forall j \in C \quad (5)$$

$$\sum_{i \in A} \sum_{j \in A_j} \sum_{k \in R} x_{ijklm} \leq 1 \quad \forall l \in D, m \in T \quad (6)$$

$$\sum_{i \in A} \sum_{k \in R} \sum_{l \in D} \sum_{m \in T} a_{ji} \cdot x_{ijklm} = 1 \quad \forall j \in C \quad (7)$$

$$\sum_{i \in A} \sum_{k \in R} \sum_{l \in D} \sum_{m \in T} b_{jk} \cdot x_{ijklm} = 1 \quad \forall j \in C \quad (8)$$

$$x_{ijklm} - M \cdot x_{i(j+1)kl(m+1)} < 0 \quad \forall i \in A, j \in B_3, k \in R, l \in D, m \in T \quad (9)$$

$$x_{ijklm} - x_{i(j+1)kl(m+1)} - x_{i(j+1)kl(m-1)} < 0 \quad \forall i \in A, j \in B_3, k \in R, l \in D, m \in T \quad (10)$$

$$\sum_{i \in A} \sum_j^{j+1} \sum_{k \in R} \sum_{m \in T} x_{ijklm} \leq 1 \quad \forall l \in D, j \in B_4 \quad (11)$$

$$\sum_{i \in A} \sum_{j \in C_n} \sum_{k \in R} \sum_{m \in T} x_{ijklm} \leq C_n / l_{max} \quad \forall l \in D, n (n = 1, 2, \dots, n_{max}) \quad (12)$$

$$\sum_{i \in A} \sum_{k \in R} \sum_{l \in D} \sum_{m \in T} x_{ijklm} \leq U_i \quad \forall i \in A \quad (13)$$

$$\sum_{i \in A} \sum_{k \in R} \sum_{l \in D} \sum_{m \in T} x_{ijklm} \geq S_i \quad \forall i \in A \quad (14)$$

$$\sum_{j \in C} \sum_{k \in R} \sum_{l \in D_i} \sum_{m \in T} x_{ijklm} = 0 \quad \forall i \in A \quad (15)$$

$$x_{ijklm} \in \{0,1\} \quad \forall i \in A, j \in C, k \in R, l \in D, m \in T \quad (16)$$

DPÇP'nin çözümüne ilişkin önerilen 0-1 tamsayılı programlama modelinin bir başka önemli bölümünü de kısıt yapıları oluşturmaktadır. Olası çakışmaların engellenerek tüm derslerin uygun öğretim üyesi, derslik, gün ve zaman aralıklarına atanması, modeldeki kısıt yapılarının doğru şekilde düzenlenmesiyle doğrudan ilişkilidir. Çalışmanın bu bölümünde modeli oluşturan kısıt yapılarına açıklamalarıyla birlikte yer verilmiştir. İlk kısıt yapısında bir öğretim üyesinin, belirli bir gün ve zaman dilimi içerisinde iki farklı ders ve dersliğe atanması engellenmektedir (3). Sonraki kısıt ifadesinde aynı gün ve zaman dilimi içerisinde; bir dersliğe, birden fazla ders ve öğretim üyesinin atanması engellenmektedir (4). 5 numaralı eşitsizlikte bir ders için birden fazla derslik ve öğretim üyesi atanması önlenmektedir. 6 numaralı eşitsizlikte ise ortak öğrenci grubu içeren derslerin aynı gün ve zaman dilimine atanması engellenmektedir. Bu ilk dört kısıt yapısı ifadelerden de anlaşılacağı üzere çakışmaları önleyici zorunlu kısıt yapıları olarak bilinmektedir (3-6). Bu kısıt yapıları mümkün bir ders programının oluşturulabilmesi için olmazsa olmaz yapılardır. 7 numaralı kısıt ifadesinde ise programda yer alması planlanan tüm derslerin, öğretim üyesi ve derslik atamaları eksiksiz yapılarak mutlaka

herhangi bir gün ve zaman dilimine yerleştirilmesini amaçlamaktadır. Bunu izleyen kısıt yapısında ise derslerin bazı özelliklerine göre önceden belirlenen dersliklere atanması sağlanmaktadır (8).

9-11 numaralı kısıtlar ise derslerin saatlerine göre gruplandırılmasını temel almaktadır. Örneğin B_3 kümesi 3 saatlik derslerin oluşturduğu kümeyi ifade etmektedir. B_4 kümesi de benzer şekilde 4 saatlik derslerin yer aldığı kümeyi temsil etmektedir. Bu şekilde bir gruplandırmaya gidilmesinin sebebi ise ders çizelgesinin 2 saatlik bloklar halinde düzenlenmiş olmasıdır. Yani haftanın bir günü için atama yapılacak mümkün zaman dilimi sayısı 2 saatlik bloklar halinde 4 ayrı zaman dilimi olarak belirlenmiştir. Bu durumda bir veya iki saatlik derslerin bu bloklara atanmasında herhangi bir sakınca bulunmamaktadır. Ancak 3 veya 4 saatlik derslerin bu bloklara atanabilmesi için 2+1 ve 2+2 şeklinde bölümlere ayrılması gerekmektedir. Üstelik bu bölümlerin B_3 kümesindeki dersler için aynı günde ve birbirini izleyen zaman dilimlerinde, B_4 kümesindeki derslerin için ise farklı günlerde yer almaları gerekmektedir. Derslerin saatleriyle ilgili olarak oturumların uygun zaman dilimlerine atanmasını sağlayan kısıtlar 3 saatlik dersler için (9-10) ve 4 saatlik dersler için (11) numaralı eşitsizliklerde sunulduğu gibidir.

Kısıt yapılarının bir parçasını da doğrudan öğrenciler ve öğretim üyeleri ile ilgili olan ifadeler oluşturmaktadır (12-14). 12 numaralı kısıt yapısında öğrenciler açısından yorucu bir ders programının oluşturulmasını engellemek amacıyla, her bir sınıfa ait derslerin haftanın günlerine dengeli bir şekilde dağıtılması sağlanmaktadır. 13 ve 14 numaralı kısıt yapıları ise her bir öğretim üyesine atanacak derslerin sayısını, önceden belirlenmiş maksimum ve minimum ders sayısı değerlerine göre sınırlandırmayı amaçlamaktadır.

15 numaralı kısıt ifadesi ise bazı özel durumların modele yansıtılması gerekliliğini içermektedir. Bu kısıt ifadesinde olduğu gibi herhangi bir öğretim üyesi için belirli günlerde atama yapılması engellenebilmektedir. Bu durumun tersini de, bazı dersler için; öğretim üyesi, derslik, gün ve zaman dilimi sabitlenerek gerçekleştirmek mümkündür. Örneğin, bölüm veya fakülte dışından verilen ortak derslerin genellikle öğretim üyesi, gün ve zaman dilimi atamaları sabittir. Bu kısıt ifadesinin yapısı düzenlenerek bu gibi özel ve istisna durumlar matematiksel modele uyarlanabilir. Son kısıt yapısında ise karar değişkenine ait işaret sınırlaması ve tanım aralığı belirtilmiştir (16). Daha önce de belirtildiği gibi önerilen 0-1 tamsayılı programlama modeline ait karar değişkeni yalnızca 0 ve 1 değerlerini almaktadır.

3. UYGULAMA

Çalışmanın uygulama aşamasında; ders programı çizelgeleme probleminin çözümüne yönelik olarak geliştirilen matematiksel programlama modelinin işlerliğinin test edilmesi amacıyla Uludağ Üniversitesi, Endüstri Mühendisliği Bölümünün 2014-2015 güz yarıyılına ait ders programının hazırlanması sağlanmıştır.

Uludağ Üniversitesi Endüstri Mühendisliği Bölümünde lisans programının güz yarıyılı süresince verilen Tablo 3'teki derslerden sorumlu, çeşitli unvanlara sahip 12 bölüm içi ve 13 bölüm dışı toplam 25 öğretim üyesi bulunmaktadır (Tablo 4). Bu öğretim üyelerinin bölüm eğitim-öğretim planındaki dersleri verebilme özelliklerine göre a_{ji} matrisi oluşturulmuştur. Her bir derse ait ders saati bilgisi de Tablo 3'te görülmektedir.

Tablo 3. Uygulama çalışması için 2014-2015 Güz yarıyılı zorunlu dersleri

	Ders Kodu	Ders saati		Ders Kodu	Ders saati
1. Sınıf Dersleri	ATA101	2	3. Sınıf Dersleri	END3031	2
	TUD101	2		ENDL3032	2
	YAD101	2		END3033	2
	MAT1071	3		ENDL3034	2
	FZK1071	3		END3061	2
	FZKL1071	2		END3065	3
	KMY1077	3		END3068	2
	END1015	3		ENDL3069	2
	END1061	2		END4033	3
END1013	3	END4069	2		
2. Sınıf Dersleri	MAT2071	4	4. Sınıf Dersleri	END4275	3
	END2013	3		END4267	2
	END2017	2		END4075	2
	ELN2060	2		ENDL4070	2
	ISL1203	3		END4071	3
	END2027	3		END4073	3

Tablo 4. Derslere atanacak öğretim üyeleri ve kodları

Öğretim Üyeleri												
Prof. Dr	Prof. Dr	Prof. Dr	Prof. Dr	Doç. Dr	Doç. Dr	Yrd. Doç	Yrd. Doç	Yrd. Doç	Yrd. Doç	Yrd. Doç	Araş. Gör. Dr.	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
A1	A2	A3	A4	B1	B2	C1	C2	C3	C4	C5	C6	
Bölüm Dışı Öğretim Üyeleri												
13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25
D1	D2	D3	D4	D5	D6	D7	D8	D9	D10	D11	D12	D13

Daha önceki bölümde de ifade edildiği üzere; DPÇP'nin matematiksel modelinin oluşturulması aşamasında bazı varsayımlardan yararlanılmıştır. Bunlardan en önemlisi ders çizelgesinin 2 saatlik bloklar halinde düzenlenmesidir. Ders çizelgesi hazırlanırken, haftanın bir günü için 2 saatlik bloklar halinde, 4 ayrı zaman dilimi dikkate alınarak atamalar yapılmıştır. Ders programı oluşturulurken tüm derslerin, haftalık programdaki 5 gün ve 4 farklı zaman dilimine en uygun şekilde atanması sağlanmıştır. 1 ve 2 saatlik dersler tek oturumda gerçekleştirilirken; 3 ve 4 saatlik dersler iki oturuma ayrılmıştır. 3 oturumlu derslere ait iki oturum aynı gün ve ardışık; 4 oturumlu dersler ise 2 oturumlu ve farklı günlerde uygulanacak şekilde programa dâhil edilmiştir. 3 ve 4 saatlik derslere ait oturumlar ayrı dersler gibi düşünülerek modele eklenmiştir. Böylece uygulama çalışmasında programa dâhil edilecek ders sayısı 46'ya yükselmiştir. Ortak derslere sahip öğrenci grubu sayısı ise 4 ayrı sınıfı ifade edecek şekilde düzenlenmiştir.

Uygulama çalışmasının yapıldığı bölümde derslerin atanabileceği: Y104, Y202, Y203, Y322, YLAB1, YLAB2, YLAB3, MMF gibi farklı özelliklere sahip 8 adet derslik bulunmaktadır. Bu dersliklerin kapasite ve donanım özellikleri dikkate alınarak b_{jk} matrisi oluşturulmuştur (Tablo 5). Oluşturulan bu matris yardımıyla her bir ders için uygun dersliğin atanması sağlanmıştır. Her bir öğretim üyesi için ders yükü alt sınırı (S_i) 0, üst sınır değeri ise (U_i) 5 olarak belirlenmiştir.

Yapılan varsayımlar ve uygulamaya ilişkin veriler kullanılarak düzenlenen 0-1 tamsayılı programlama modeli, MPL (Matematiksel Programlama Dili) Maximal Software paket programı ve Gurobi çözücüsü kullanılarak çözüme ulaştırılmıştır. Önerilen tamsayılı doğrusal programlama modeli, 184000 0-1 tamsayılı değişken ve 104953 kısıttan oluşmaktadır. Paket programın diline uygun olarak kodlanan örnek uygulamaya ilişkin matematiksel modelin, 1014 iterasyon sayısı ile birlikte en iyi çözümü elde edilmiştir. Öğretim üyelerinin talep ve isteklerine yönelik olarak hesaplanan tercih matrisine göre amaç fonksiyonu değeri ise 1454 şeklinde elde edilmiştir. Böylelikle, 0-1 tamsayılı matematiksel programlama yöntemi kullanılarak, ilgili bölümün öğretim üyelerinin memnuniyetini mümkün olan en üst düzeyde sağlayacak şekilde bir akademik döneme ait ders çizelgesi oluşturulmuştur. İlgili bölümün güz yarıyılı için elde edilen ve öğretim üyesi atamalarını da içeren ders programı Tablo 6'da sunulmuştur.

Tablo 5. Dersler için uygun derslikleri gösteren b_{jk} matrisi değerleri

Derslik Kodu	1	2	3	4	5	6	7	8
Ders Kodu	Y104	Y202	Y203	Y322	YLAB1	YLAB2	YLAB3	MMF
ATA101	1	0	0	0	0	0	0	0
TUD101	1	0	0	0	0	0	0	0
YAD101	1	0	0	0	0	0	0	0
MAT1071	1	0	0	0	0	0	0	0
FZK1071	1	0	0	0	0	0	0	0
FZKL1071	0	0	0	0	0	0	0	1
KMY1077	0	0	0	0	0	0	1	0
END1015	0	0	0	0	0	0	1	0
END1061	1	0	0	0	0	0	0	0
END1013	0	0	0	0	1	0	0	0
MAT2071	0	0	0	0	0	0	1	0
END2013	0	0	1	0	0	0	0	0
END2017	0	0	0	0	0	1	0	0
ELN2060	0	0	1	0	0	0	0	0
ISL1203	0	0	1	0	0	0	0	0
END2027	0	0	0	0	1	0	0	0
END3031	0	0	0	1	0	0	0	0
ENDL3032	0	0	0	0	0	0	1	0
END3033	0	0	0	1	0	0	0	0
ENDL3034	0	0	0	0	0	0	1	0
END3061	0	0	0	0	0	0	1	0
END3065	0	0	0	0	1	0	0	0
END3068	0	0	0	0	1	0	0	0
ENDL3069	0	0	0	1	0	0	0	0
END4033	0	1	0	0	0	0	0	0
END4069	0	1	0	0	0	0	0	0
END4275	0	0	0	0	1	0	0	0
END4267	0	1	0	0	0	0	0	0
END4075	0	1	0	0	0	0	0	0
ENDL4070	0	0	0	0	0	1	0	0
END4071	0	1	0	0	0	0	0	0
END4073	0	1	0	0	0	0	0	0

Önerilen 0-1 tamsayılı programlama modeli öğretim üyelerinin tercih ettikleri güne atanarak memnuniyet seviyesini artırmayı amaçlamaktadır. Tablo 7’de de uygulama probleminin çözümüne ilişkin olarak; öğretim üyelerinin başlangıçtaki tercih ettikleri günler ve önerilen matematiksel modelin ürettiği sonuçlara göre atandıkları günler verilmiştir. Bu tablo önerilen matematiksel programlama modelinin, öğretim üyelerinin memnuniyet seviyesini karşılamadaki başarısını ortaya koymaktadır.

Tablo 6. Önerilen matematiksel programlama modelinin çözümü ile elde edilen haftalık ders programı çizelgesi

Gün	Yarıyıl	08.15.-09.00		09.15.-10.00		10.15.-11.00		11.15.-12.00		13.15.-14.00		14.15.-15.00		15.15.-16.00		16.15.-17.00		
		Ders	Derslik	Öğret.	Ders Kodu	Derslik	Öğret.	Ders Kodu	Derslik	Öğret.	Ders Kodu	Derslik	Öğret.	Ders Kodu	Derslik	Öğret.	Ders Kodu	Derslik
Pazartesi	1				ATA101	Y104	D1	ATA101	Y104	D1	END1015	YLAB3	D7	END1015	YLAB3	D7		
	3	END2017	YLAB2	D10	MAT2071	YLAB3	D8	MAT2071	YLAB3	D8	END3068	YLAB1	A1					
	5				ENDL3069	Y322	A1	ENDL3069	Y322	A1	END4071	Y202	C1	ENDL4070	YLAB2	C1		
Salı	1				FZKL1071	MAMF	D5	FZKL1071	MAMF	D5	MAT1071	Y104	D4	MAT1071	Y104	D4		
	3	END2013	Y203	D11	END2013	Y203	D11				END3065	YLAB1	B1	END3065	YLAB1	B1		
	5				END4275	YLAB1	A2	END4275	YLAB1	A2	END4075	Y202	C3	END4075	Y202	C3		
Çarşamba	1	TUD101	Y104	D2	FZK1071	Y104	D5	FZK1071	Y104	D5								
	3	END2027	YLAB1	A4														
	5				END3031	Y322	A3	END3031	Y322	A3	ENDL3032	YLAB3	A3	ENDL3032	YLAB3	A3		
Perşembe	1				END4073	Y202	B2	END4073	Y202	B2	END4267	Y202	C1	END4267	Y202	C1		
	3	ISL1203	Y203	D9	KMY1077	YLAB3	D6	KMY1077	YLAB3	D6	YAD101	Y104	D3	YAD101	Y104	D3		
	5				ISL1203	Y203	D9				END3033	Y322	C4	END3033	Y322	C4		
Cuma	1				END1013	YLAB1	C2	END1013	YLAB1	C2	END1061	Y104	C3	END1061	Y104	C3		
	3				MAT2071	YLAB3	D8	MAT2071	YLAB3	D8	ELN2060	Y203	D12	ELN2060	Y203	D12		
	5				END4267	Y202	A3	END4267	Y202	A3	ENDL3034	YLAB3	C5	ENDL3034	YLAB3	C5	END3061	YLAB3
7										END4069	Y202	D13	END4069	Y202	D13			

Çalışmanın uygulama aşamasında, matematiksel modele veri girişi yapılmadan önce öğretim üyelerinden haftanın 5 günü içerisinde, öncelik ilişkisine göre 3 adet tercihte bulunmaları istenmiştir. Yapılan bu tercihler öncelik ilişkilerine göre 5, 3 ve 1 şeklinde puanlandırılarak amaç fonksiyonuna dâhil edilmiştir. Böylelikle atama sürecinde öğretim üyelerinin tercihlerini dikkate alan bir matematiksel programlama modelinin geliştirilmesi sağlanmıştır.

Tablo 7. Öğretim üyelerinin tercihlerine göre atandıkları günler

Öğretim üyesi	Tercihler					Gerçekleşen (atama sayısı)					Ağırlık	
	Pzt	Salı	Çrş	Per	Cuma	Pzt	Salı	Çrş	Per	Cuma		
A1	1	3	2	0	0	2						8
A2	0	1	3	2	0		2					8
A3	0	0	1	3	2			2		2		8
A4	1	3	2	0	0			2				8
B1	0	1	3	2	0		2					5
B2	2	3	1	0	0			2				5
C1	1	3	2	0	0	3		1				3
C2	0	0	2	3	1					3		3
C3	0	2	1	3	0		1				1	3
C4	3	0	0	1	2				1			3
C5	3	2	0	0	1					1		3
C6	0	3	2	1	0							1
D1	1	2	3	0	0	1						10
D2	2	3	1	0	0			1				10
D3	1	0	0	2	3				1			10
D4	0	1	3	2	0		2					10
D5	3	2	1	0	0		1	2				10
D6	0	3	0	1	2				2			10
D7	2	1	3	0	0	2						10
D8	1	2	3	0	0	1					1	10
D9	0	0	3	1	2				2			10
D10	1	2	3	0	0	1						10
D11	2	1	3	0	0		2					10
D12	0	0	2	1	3						1	10
D13	0	0	3	2	1						1	10

4. SONUÇ

Bu çalışmada bütün eğitim kurumları için oldukça uğraştırıcı ve önemli bir aktivite olan ders programı çizelgeleme problemi ele alınmıştır. DPÇP, özellikle üniversitelerde; artan bölüm, program ve öğrenci sayıları dikkate alındığında çözümü giderek güçleşen bir sorun haline gelmiştir. İdareciler tarafından geleneksel bir yaklaşımla, büyük çaba ve vakit harcanarak elle hazırlanan ve de ne yazık ki birçok karışıklığa yol açan verimsiz çizelgeler, günümüz koşullarında eğitim kurumlarının ihtiyaçlarını karşılamakta oldukça yetersiz kalmaktadır. Bu sebeple kurumların ihtiyaçlarını mümkün olan en üst seviyede karşılayacak çizelgelerin, teknolojik gelişmelerden faydalanılarak otomatik olarak hazırlanması gerekliliği kaçınılmaz bir zorunluluk haline gelmiştir.

Bu araştırma makalesinde DPÇP'nin çözümü için yeni bir 0-1 tamsayılı programlama modeli önerilmiştir. Önerilen bu model, Uludağ Üniversitesi Endüstri Mühendisliği Bölümünün

2014-2015 yılı güz dönemine ait ders programının hazırlanmasında kullanılmıştır. 184000 (0-1) tamsayılı değişken ve 104953 kısıttan oluşan örnek uygulamanın çözümünde MPL (Matematiksel Programlama Dili) Maximal Software paket programı ve Gurobi çözücüsü kullanılmıştır. Bir döneme ait derslerin; öğretim üyelerinin tercihleri dikkate alınarak, en uygun derslik, gün ve zaman dilimine atanması gerçekleştirilmiştir. Bu sayede bölümde daha önce elle oluşturularak büyük çaba ve vakit sarfiyatına sebep olan çizelgeleme sorunu otomatik olarak ve makul süreler içerisinde çözülmüştür.

Önerilen 0-1 tamsayılı programlama modelinin performansı, üretilen sonuçlar incelendiğinde kolaylıkla analiz edilebilmektedir. Bilgisayar yardımı olmaksızın yapılan çalışmalar ile sadece mümkün bir çizelgenin elde edilmesi amaçlanırken, bu çalışmada önerilen matematiksel model kullanılarak öğretim üyelerinin tercihlerinin yüksek oranda karşılandığı bir ders çizelgesinin oluşturulması sağlanmıştır. Yapılan 46 adet atamanın; 33 tanesi (% 71,74) 1. tercih edilen, 10 tanesi (%21,74) ikinci tercih edilen, 1 tanesi (%2,17) üçüncü tercih edilen ve 2 tanesi de hiç tercih edilmeyen günlere yapılmıştır (Tablo 8). Bu sonuçlar önerilen matematiksel modelin öğretim üyelerinin tercihlerini karşılamadaki başarısını ortaya koyar niteliktedir.

Tablo 8. Uygulama çalışmasına ilişkin elde edilen sonuçlar

Uludağ Üniversitesi Örneğine İlişkin Sonuçlar	Tercihlerin Gerçekleşme Oranları				Amaç Fonksiyonu Değeri
	1. Tercih	2. Tercih	3. Tercih	İstenmeyen Tercih	
	71,74%	21,74%	2,17%	4,35%	1454

Gelecek çalışmalarda ise kuruma özgü, öğrenci veya öğretim üyelerine yönelik bazı esnek kısıtlar eklenerek önerilen 0-1 tamsayılı programlama modeli genişletilebilir. Bu esnek kısıtların sağlanma derecesi amaç fonksiyonuna eklenecek değişkenler ile kontrol edilerek, bu amaçlara yönelik bir hedef programlama modeli de kullanılabilir. Ancak eklenecek yeni kısıtlar ve değişkenler modelin boyutunu artıracığından, kesin çözüm yöntemleri kullanılarak problemin optimum sonucunun bulunması giderek zorlaşacaktır. Bu durumda en iyi çözümü garanti etmeyen ama mümkün bir çizelgenin elde edilebilmesini sağlayan sezgisel tabanlı yöntemlerden yararlanılabilir. Bunların yanı sıra kurumlara özgü kısıt yapılarını da içerecek şekilde, probleme özgü karar destek sistemleri tasarlanabilir.

KAYNAKLAR

1. Akkoyunlu, E. A. (1973) A linear algorithm for computing the optimum university timetable, *The Computer Journal*, 16(4), 347-350. doi: 10.1093/comjnl/16.4.347
2. Altunay, H. ve Eren, T. (2016) Ders programı çizelgeleme problemi için bir literatür taraması, *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*. doi: 10.5505/pajes.2016.37233
3. 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
4. Al-Yakoob, S. M. ve Sherali, H. D. (2007) 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. doi: 10.1016/j.ejor.2006.04.035

5. Avella P. ve Vasiliev I. (2005) A computational study of a cutting plane algorithm for university course timetabling, *Journal of Scheduling*, 8(6), 497-514. doi: 10.1007/s10951-005-4780-1
6. 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
7. Badri, M. A., Davis, D. L., Davis, F. D. ve Hollingsworth, J. (1998) A multi-objective course scheduling model: Combining faculty preferences for courses and times, *Computers and Operations Research*, 25(4), 303-316. doi: 10.1016/S0305-0548(97)00048-8
8. Baker K. R., Magazine M. J. ve Polak G. G. (2002) Optimal Block Design Models for Course Timetabling, *Operations Research Letters*, 30, 1-8. doi: 10.1016/S0167-6377(01)00116-X
9. Bakır, M. A. ve Aksop, C. (2008) A 0-1 integer programming approach to a university timetabling problem, *Hacettepe Journal of Mathematics and Statistics*, 37(1), 41–55.
10. Boronico, J. (2000) Quantitative modeling and technology driven departmental course scheduling, *The International Journal of Management Science*, 28(3), 327-346. doi: 10.1016/S0305-0483(99)00056-0
11. Botsalı A. R. (2000). A timetabling problem: constraint and mathematical programming approaches, Yüksek Lisans Tezi, Bilkent Üniversitesi, Ankara.
12. Burke, E. K. MacCarthy, B. Petrovic, S. ve Qu, R. (2001) Case-based reasoning in course timetabling: An attribute graph approach, Case-Based Reasoning Research and Development, Jul-Aug, *Proceedings of the 4th International Conference on Case-Based Reasoning*, Vancouver, Canada, 90-104. doi: 10.1007/3-540-44593-5_7
13. Burke, E. K. Petrovic, S. ve Qu, R. (2006) Case-based heuristic selection for timetabling problems, *Journal of Scheduling*, 9(2), 115-132. doi: 10.1007/s10951-006-6775-y
14. Burke, E.K. Marecek, J. Parkes, A. J. ve Rudová, H. (2008) Penalizing patterns in timetables: Novel integer programming formulations, *Operations Research Proceedings*, Berlin, Springer, Germany, ISSN 0721-5924, 2007, 409-414. doi: 10.1007/978-3-540-77903-2_63
15. Cacchiani V. Caprara A. Roberti R. ve Toth P. (2013) A new lower bound for curriculum-based course timetabling, *Computers and Operations Research*, 40(10), 2466-2477. doi: 10.1016/j.cor.2013.02.010
16. Carter M.W. ve Laporte G. (1998) Recent developments in practical course scheduling, in: E.K. Burke, P. Ross (Eds.), *The Practice and Theory of Automated Timetabling*, 2, 3-19. doi:10.1007/3-540-61794-9_49
17. Cheng, E. ve Kruk, S. (2007) A case study of an integer programming model for instructor assignments and scheduling problem, *Proceedings of the 3rd Multidisciplinary International Conference on Scheduling: Theory and Applications (MISTA)*, Paris, France, 267-275.
18. 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, 117–135. doi: 10.1016/S0377-2217(03)00103-6
19. Daskalaki, S. ve Birbas, T. (2005) Efficient solutions for a university timetabling problem through integer programming, *European Journal of Operational Research*, 160(1), 106-120. doi: 10.1016/j.ejor.2003.06.023

20. Dimopoulou, M. ve Miliotis, P. (2001) Implementation of a university course and examination timetabling system, *European Journal of Operational Research*, 130, 202-213. doi: 10.1016/S0377-2217(00)00052-7
21. Dimopoulou, M. ve Miliotis, P. (2004) An automated university course timetabling system developed in a distributed environment: A case study, *European Journal of Operational Research*, 153, 136-147. doi: 10.1016/S0377-2217(03)00104-8
22. Dinkel, J. J. Mote, J. ve Venkataramanan, M. A. (1989) An efficient decision support system for academic course scheduling, *Operations Research*, 37(6), 853-864. doi: 10.1287/opre.37.6.853
23. Ferland, J. A. ve Roy, S. (1985) Timetabling problem for university as assignment of activities to resources, *Computers and Operations Research*, 12(2), 207-218. doi: 10.1016/0305-0548(85)90045-0
24. Ferland, J. A. ve Fleurent, C. (1994) SAPHIR: A decision support system for course scheduling, *Interfaces*, 24, 105-115. doi: 10.1287/inte.24.2.105
25. Gosselin, K. ve Truchon, M. (1986) Allocation of classrooms by linear programming, *The Journal of the Operational Research Society*, 37(6), 561-569. doi: 10.1057/jors.1986.98
26. Gunawan, A. Ng, K. M. ve Ong, H. L. (2008) A genetic algorithm for the teacher assignment problem for a university in Indonesia, *Information and Management Sciences*, 19(1), 1-16.
27. Güldalı, A. (1990). Seri iş-akışlı atölye çizelgelemesinde sezgisel teknikler, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, Ankara.
28. Günalay, 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
29. 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
30. Ismayilova, N. A. Sagir, M. ve Gasimov, R. N. (2007) A multiobjective faculty-course-time slot assignment problem with preferences, *Mathematical and Computer Modelling*, 46(7-8), 1017-1029. doi: 10.1016/j.mcm.2007.03.012
31. Martin, C. H. (2004) Ohio University's college of business uses integer programming to schedule classes, *Interfaces*, 34(6), 460-465. doi: 10.1287/inte.1040.0106
32. McClure, R. H. ve Wells, C. E. (1984) A mathematical programming model for faculty course assignment, *Decision Sciences*, 153, 409-420. doi: 10.1111/j.1540-5915.1984.tb01226.x
33. MirHassani, S.A. (2006) A computational approach to enhancing course timetabling with integer programming, *Applied Mathematics and Computation*, 175(1), 814-822. doi: 10.1016/j.amc.2005.07.039
34. Özyandı, G. (2010). Ders çizelgeleme probleminin 0-1 tamsayı programlama tabanlı uygulaması, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, Ankara.
35. Pinedo, M. L. (2005) *Planning and Scheduling in Manufacturing and Services*, Springer, New York. doi: 10.1007/978-1-4419-0910-7

36. Qu, R. Burke E. K. McCollum B. Merlot L. T. G. ve Lee S. Y. (2009) A survey of search methodologies and automated system development for examination timetabling, *Journal of Scheduling*, 12(1), 55–89. doi: 10.1007/s10951-008-0077-5
37. Sarin, S. C. Wang, Y ve Varadarajan, A. (2005) Solving a timetabling problem using benders' decomposition, *In proceedings of the 2nd Multidisciplinary International Conference on Scheduling: Theory and Applications (MISTA 2005)*, New York, USA, 673-675.
38. Sarin, S. C. Wang, Y. ve Varadarajan, A. (2010) A university-timetabling problem and its solution using Benders' partitioning: a case study, *Journal of Scheduling*, 13(2), 131-141. doi: 10.1007/s10951-009-0157-1
39. Schaerf, A. (1999) A survey of automated timetabling, *Artificial Intelligent Review*, 13, 87-127. doi: 10.1023/A:1006576209967
40. Schaerf, A. ve Di Gaspero, L. (2001) Local search techniques for educational timetabling problems, *Proceeding of the 6th International Symposium on Operational Research (SOR-01)*, Preddvor, Slovenia., 13-23.
41. Schimmelpfeng, K. ve Helber, S. (2007) Application of a real-world university-course timetabling model solved by integer programming, *OR Spectrum*, 29, 783–803. doi: 10.1007/s00291-006-0074-z
42. Shih, W. ve Sullivan, J. A. (1977) Dynamic course scheduling for college faculty via zero-one programming, *Decision Sciences*, 8, 711-721. doi: 10.1111/j.1540-5915.1977.tb01114.x
43. Tripathy, A. (1984) School timetabling-a case in large binary integer linear programming, *Management Science*, 30(12), 1473-1489. doi:10.1287/mnsc.30.12.1473
44. Wren, A. (1996) Scheduling, timetabling and rostering - a special relationship, *In Proceedings of the Practice and Theory of Automated Timetabling*, LNCS 1153, Springer Verlag, 46-76. doi: 10.1007/3-540-61794-9_51
45. Van Den Broek, J. Hurkens, C. ve Woeginger, G. (2009) Timetabling problems at the TU Eindhoven, *European Journal of Operational Research*, 196(3), 877-885. doi: 10.1016/j.ejor.2008.04.038
46. Van Den Broek, J. ve Hurkens, C. (2012) An IP-based heuristic for the post enrolment course timetabling problem of the ITC2007, *Annals of Operational Research*, 194(1), 439-454. doi: 10.1007/s10479-010-0708-z