

Akademik unvan temelli tercihlere ve sapmalara dayalı ders çizelgeleme modeli-endüstri mühendisliği bölümü örneği

A course scheduling model based on academic title-based preferences and deviations- a case study of industrial engineering department

İlknur TÜKENMEZ¹ , Yeliz BURUK ŞAHİN^{1*} 

¹Endüstri Mühendisliği Bölümü, Mühendislik-Mimarlık Fakültesi, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Eskişehir, Türkiye.
itukenmez@ogu.edu.tr, yelizburuk@ogu.edu.tr

Geliş Tarihi/Received: 23.01.2021
Kabul Tarihi/Accepted: 14.02.2022

Düzeltilme Tarihi/Revision: 22.12.2021

doi: 10.5505/pajes.2022.64597
Araştırma Makalesi/Research Article

Öz

Ders programı çizelgeleme problemi, üniversiteler ve benzeri eğitim kurumlarında yaygın olarak karşılaşılan zaman çizelgeleme problemlerinden birisidir. Çözümü, yoğun iş gücü ve kaynak gerektirmekte olup birçok eğitim kurumunda çizelgeleme problemi halen elle yapılmakta ve çok zaman kaybettirmektedir. Ders programı çizelgeleme problemi, eğitim kurumlarına özgü kısıt yapıları dikkate alınarak, derslerin uygun zaman dilimlerine atanmasını konu almaktadır. Kısıt yapıları, eğitim kurumunun özel kuralları, kapasite kısıtlamaları, yasal düzenlemeler, öğretim elemanları ve öğrencilerin tercihleri gibi farklı faktörlere bağlı olabilir. Bu çalışmada, öğretim elemanı tercihleri doğrultusunda iki yeni 0-1 tam sayılı programlama modeli önerilmiş, bir devlet üniversitesinde yapılan uygulama ile modeller test edilmiştir. Önerilen ilk modelde, öğretim elemanlarının memnuniyetleri en büyükmek istenirken, istenmeyen ders çıkışması da en küçükmek istenmektedir. İkinci modelde ise, ilk model amaçlarına ilave olarak aynı unvana sahip öğretim elemanlarının memnuniyet değerleri arasındaki farkın da en küçükmek amaçlanmıştır. Önerilen modeller, GAMS 23.8.2 yazılımı ile çözülmüş, karar vericiler için uygun olabilecek seçenekler sunulmuştur.

Anahtar kelimeler: Ders programı çizelgeleme, Öğretim elemanı tercihleri, Akademik unvan-temelli çizelgeleme, Tam sayılı programlama.

Abstract

Course timetabling problem is one of the most common time scheduling problems that frequently encountered in universities and whole education institutions. To eliminate this problem requires notable amount of labour and supply and in several education institutions, this scheduling is done manually but it doesn't occur as desired and causes to loss of time. Course timetabling problem is the assignment of courses to appropriate time periods, considering the constraint structures specific to the educational institutions. Constraints may depend on different factors such as the specific rules of the educational institution, capacity constraints, legal regulations, faculty and students' preferences. In this study, two new 0-1 integer programming models were proposed by considering preferences of the faculty members, and the models were tested with the application in a state university. In first proposed model, while the total gladness value is desired to be maximized by considering the time-slot preferences of lecturers, the conflict of courses is tried to be minimized. In the second proposed model, the differences in gladness value between lecturers are aimed to be minimized in addition to first model objectives. The proposed models were solved with GAMS 23.8.2 software, and alternatives that could be suitable for decision makers were presented.

Keywords: Timetable Scheduling, Lecturer preferences, Academic title based scheduling, Integer programming.

1 Giriş

Üniversite Zaman Çizelgeleme Problemi (ÜZÇP), üniversitelerde sınav ve ders çizelgeleme gibi faaliyetlerde, kaynakların uygun zaman dilimlerine atanması ve bu sırada bazı zorunlu (sıkı) kısıtların korunmasını içerir. Sıkı kısıtlar, çözümde mutlaka korunması gerekli kısıtlardır. Diğer yandan, bazı gevşek kısıtlar da olabilir, bunlar kısıtlar karşılanamadığında bir ceza değeriyle sonuca yansıtılan kısıtlardır. ÜZÇP, üniversitelerin ve benzeri kurumların sıklıkla karşılaştığı pratik uygulaması çok yaygın olan bir problemdir ve halen literatürde bu konuda çalışmalar devam etmektedir [1].

Eğitim kurumlarında başta öğretim elemanı, ders, derslik ve öğrenciler olmak üzere çok sayıda kaynak bulunmaktadır. Verilen toplam ders sayısı, dersi alan öğrenci sayıları, dersi veren öğretim elemanı sayısı, bu derslerin işlendiği yerler ve kurumdaki toplam öğrenci sayısı gibi veriler, ders programlarının hazırlanması, sınav, sınav yeri ve gözetmen

planlarının kimlerle, nasıl, ne zaman ve nerelerde yapılacağı konularında karar verme zorluk seviyesini belirlemektedir. ÜZÇP, eğitim kurumlarında, her dönem en az üç-dört kez çözülmesi gereken problemlerdir. Problemin girdi boyutunun büyümesiyle (kısıt ve değişken sayısının artmasıyla) birlikte çözüm uzayı üssel bir şekilde büyüme ve buna bağlı olarak çözüm süresi çok hızlı bir şekilde artmaktadır [2].

Akademik bir kurumda mevcut yönetsel kuralları ve ihtiyaçları, tüm personelin ve öğrencilerin istek ve ihtiyaçlarını da aynı anda göz önünde bulundurarak sağlayabilecek bir çizelge oluşturulması, bu iş ile uğraşan personel için oldukça zor ve zaman alıcı bir faaliyettir. Birçok kurumda bu işlem yönetim kademesine verilmiştir ve genellikle uygulama daha önceki yıllarda yapılmış olan çizelgeler üzerinde yeni gelişen durumlara göre gerekli değişiklikleri yaparak yeni çizelgeyi oluşturmaktır. Fakat son yıllarda değişimlerin çok fazla ve çok hızlı olması nedeniyle, eski çizelgeler üzerinde değişiklikler yapılarak yeni çizelgelerin oluşturulması çoğu zaman en iyi sonucu vermemektedir. Öğretim elemanlarının derslere ve

*Yazışılan yazar/Corresponding author

derslerin uygun zaman dilimlerine atanması, üniversitelerde yönetim kademesi tarafından her dönem yerine getirilmesi gerekli önemli görevlerdendir. Akademik ortam içinde bu planlamaları etkileyen örgütsel ve kişisel öncelikler planlamayı zorlaştırmaktadır. Ders seçimi konusunda öğrencilerin derslere olan taleplerinin değişkenlik göstermesi ve dersleri vermesi planlanan öğretim elemanlarının zaman dilimi tercihleri konusunda isteklilik seviyesi yönetim kademesinin kararlarını etkilemektedir.

İlk olarak Carter tarafından çok boyutlu atama problemleri olarak tanımlanan ders çizelgeleme problemi; dersler, sınıflar ve öğretim elemanları gibi kaynakların haftalık çizelge içindeki uygun zaman dilimlerine önceden belirlenmiş kısıtlarla uygun bir şekilde atanmasını içerir [3]. Ders çizelgeleme problemi, sadece birkaç genel prensip ile çözülemeyecek, karmaşık bir problem türüdür. Probleme dâhil olan tüm aktörlerin (yöneticiler, öğretim elemanları, öğrenciler) kendilerine özel amaçları vardır ve bu amaçlar genellikle birbiri ile çelişmektedir. Dersler, derslikler, zaman dilimleri, eğiticiler ve öğrenciler arasındaki karmaşık ilişkiler uygun bir çözüm bulabilmeyi zorlaştırmaktadır. Son otuz yıl içinde çeşitli çizelgeleme problemlerinin çözümü için birçok model ve yaklaşım önerilmiştir [4].

Uygulamada, çoğu üniversite kendi çalışma koşullarına özgü ders programlarını oluştururken öğretim elemanı ve öğrencilerin de tercihlerini dikkate alabilen esnek kısıtları dikkate alma eğilimindedir. Son yıllardaki pek çok çalışmada, araştırmacılar üniversitelerindeki özel durumları da dikkate alan vakalar üzerinde çalışmışlardır [5]-[8].

Genellikle yeni çizelgeler, mevcut ders çizelgeleme üzerinde değişiklikler yapılarak ve elle uzun uğraşlar sonucu büyük bir zaman kaybı ile hazırlanmaktadır. Hazırlanan çizelgeler genellikle tüm öğretim elemanı ve öğrenci isteklerine uygun yapılandırılmaması ve uygun zaman dilimlerine atanmaması nedeniyle tatmin edici bulunmamaktadır. Problemin boyutları açısından, matematiksel modeller ile çözüme ulaşmak çoğu zaman uzun sürmektedir. Problem boyutu açısından NP-zor problemler sınıfında yer alan üniversite ders çizelgeleme problemleri yaklaşık 50 yıldır araştırmacıların yoğun ilgisini çekmektedir. Problemlerin çözümü için daha uygun çözümler elde edilmesi zaman, maliyet ve sosyal boyutlarda kişi ve kuruma katkı sağlayan bir problemidir.

Bu çalışma kapsamında, faaliyetlerin kaynaklara atanması için ders-derslik-zaman çizelgeleme atamasının yapıldığı ders çizelgeleme problemi ele alınmıştır. Problemin çözümüne yönelik birçok üniversitede geçerli olabilecek temel kısıtlar ele alınarak gerekli tüm atamaları tek aşamada gerçekleştirebilen iki farklı, tam sayılı doğrusal programlama modeli önerilmiştir. Kurulan modellerin çözümdeki başarısı, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Endüstri Mühendisliği Bölümü ders programı üzerinde test edilmiştir. Çalışma, öğretim elemanlarının zaman dilimi tercihleri, yan yana ders çakışmaları ve akademik unvan temelli grup için tercih sapmalarını bir arada dikkate alması yönüyle literatürde ilktir. Bir arada dikkate aldığı amaçlar itibarıyla, sosyal boyutta da öğretim elemanı memnuniyetini dikkate alma, öğrencilerin ders programını oluşturabilmesi için esneklik sağlama ve aynı unvana sahip çalışanlar arası adaleti gözeterek itirazları engelleme yönleriyle dikkat çekmektedir. Ek olarak, geliştirilen modeller ile farklı akademik unvana sahip öğretim elemanları arasında da öncelik gözetilmesi sağlanabilmektedir. Unvan bazlı ders tercih değerleri artırılırken, aynı unvana sahip

öğretim elemanları arasındaki fark fazla olursa çizelgeleme yapılırken adaletin gözetilmediği düşünülebilir. Böylece kişiler arasında anlaşmazlık ve sorunlar ortaya çıkabilir.

Çalışmanın ikinci bölümünde, üniversitelerde ders çizelgeleme problemleri, çözüm yaklaşımları ve matematiksel modelleme ile ilgili literatür taramasına yer verilmiştir. Çalışmanın üçüncü bölümünde ele alınan örnek durum için ders çizelgeleme problemi açıklanarak probleme ilişkin önerilen tam sayılı doğrusal programlama modelleri verilmiştir. Dördüncü bölümde önerilen modeller gerçek bir problem üzerinde denenmiştir. Beşinci bölümde elde edilen çizelgeler tartışılmıştır. Çalışmanın son bölümünde ise sonuçlar değerlendirilmiş ve önerilere yer verilmiştir.

2 Literatür taraması

Pek çok analitik tekniğin yanı sıra, ele alınan problemin hesaplama karmaşıklığı (NP-zor), araştırmacıları sezgisel ve meta-sezgisel gibi alternatif yöntemlere de yönlendirmiştir. Bu yaklaşımlar en iyi çözümü garanti etmese de, oldukça iyi performans gösterirler [9]. Bu kısımda, ders çizelgeleme literatüründe, son yıllarda önde gelen çalışmalar özetlenmiştir:

Gunawan ve diğ. [10], yaptıkları çalışmada iki aşamadan oluşan hibrit bir algoritma önermiştir. İlk aşamada, yürütücülerin atanması, ikinci aşamasında ders programının çizelgenmesi yapılmıştır. Birinci algoritma, Langrangian gevşetilmesine dayalı matematiksel model yaklaşımıdır. İkinci algoritma ise tavlama benzetimi algoritmasıdır ve birinci algoritmadan elde edilen başlangıç çözümünün geliştirilmesinde kullanılmıştır. Abuhamdah ve diğ. [11] üniversite ders çizelgeleme problemini yerel arama algoritmasını popülasyon temelli hale getirerek çözmüştür. Geliştirilen algoritma sonuçlar üzerinde yoğunlaşma ve çeşitlendirmeyi başarılı bir şekilde sağlamaktadır. Öztürk ve diğ. [2] ders çizelgeleme problemini çok amaçlı olarak ele almışlardır. Problemin amaçları, öğretim elemanlarının gün ve zaman dilimi tercihlerinin sağlanması, birden fazla oturumda açılan derslerin oturumları arasındaki gün sayısının ve öğrencilerin derslerinin olduğu gün sayısının en büyüklenmesidir. Problem çok ölçütlü karar verme yöntemi ile kısa sürede çözülmüştür. Demir ve Çelik [12] çalışmalarında bir üniversitenin ders çizelgeleme problemini müfredat bazlı olarak ele almışlardır. Müfredat bazlı problemlerde açılan ders sayısı belirlidir. Belli bir amaca göre dersin açılacağı gün, saat ve hangi öğretim elemanı tarafından verileceği kararı verilir. Her öğretim elemanının derslerle ilgili tercihleri vardır ve unvanlarına göre memnuniyet dereceleri belirlenmiştir. Müfredat bazlı problemin amacı öğretim elemanlarının unvanlarına göre memnuniyetlerini en büyüktür. Öğrencilerin dersleri farklı katlarda olduğunda merdivenlerde fazla bir akış, asansörlerde uzun kuyuklar oluşmaktadır. Vermuyten ve diğ. [13] ders çizelgeleme problemini bu akış miktarını azaltma yönüyle ele almışlardır ve problemi iki aşamada çözmüşlerdir. Domenech ve Lusa [14] çalışmalarında, üniversitenin bir bölümünün iki dönemlik ders çizelgeleme problemini ele almışlardır. Atamayı yaparken öğretim elemanlarının kişi başına düşen ders yüklerini dengelemeyi amaçlarken, ders atama tercihlerini en büyükmeyi de amaçlamışlardır. Model çok amaçlı olduğu için amaç fonksiyonlarına farklı ağırlıklar verilerek sonuçlar karşılaştırılmıştır. Lindahl ve diğ. [15] üniversite ders çizelgeleme problemini çok amaçlı olarak stratejik, taktik ve operasyonel seviyelerde ele almışlar, epsilon kısıt yöntemiyle amaçların ödünleşmesini elde etmişlerdir. Faudzi ve diğ. [16] eğitim alanında yapılan atama, çizelgeleme problemleri

hakkında bir literatür taraması yapmışlardır. Eğitim alanındaki zaman çizelgeleme problemleri sınav çizelgeleme, ders çizelgeleme ve okul çizelgeleme olmak üzere 3 sınıfta toplanmıştır. Song ve diğ. [17] ders çizelgeleme problemini üç aşamada ele almışlardır. İlk aşamada, açgözlü sezgisel ile başlangıç çözümü elde etmiş, ardından bu çözümü Tavlama Benzetimi algoritması ile geliştirmişlerdir. Son aşamada ise, çeşitli geliştirme ve bozma prosedürleri uygulanarak Tavlama Benzetimi ile elde edilen çözüm daha da iyileştirmeye çalışılmıştır. Küçük, orta ve büyük boyuttaki toplam 60 test problemi üzerinde geliştirilen algoritmalar uygulanmış ve kaliteli sonuçların elde edildiği görülmüştür. Wikarek [18] ders çizelgeleme problemini öğretim elemanlarının yeteneklerini dikkate alarak çözmüştür. Çalışma, öğretim elemanlarının yeterlilik durumlarını ele alarak, hangi yeterliliklerin eksik olduğu, hangi öğretim elemanlarının bunları tamamlaması gerektiği konusunda karar vericiye bilgi sağlamıştır. Babaei ve diğ. [19] çalışmalarında bir üniversitenin ders çizelgeleme problemini öğretim elemanlarının memnuniyetini artırma ve fazla kaynak kullanımını azaltma amaçlarıyla bulanık kümeleme yöntemleri kullanarak çözmüşlerdir. Yasari ve diğ. [20], ÜZÇP'de derslerin kayıt sonrası iptal edilebilirliğini göz önünde bulundurmışlardır. İki aşamalı bir stokastik programlama modeli ile ders kayıt aşaması sonrası ders durumuna ilişkin olası senaryoları kullanan, aynı zamanda öğretim elemanları ve öğrencilerin memnuniyet düzeylerini eniyileyecek olurlu bir çizelge oluşturulmasını hedeflemişlerdir. Lindahl ve diğ. [21], çizelge üzerindeki olası değişiklik durumunda, öğrenci ve öğretim elemanı açısından sorunları en az zarar ve bozulma ile giderebilmek üzere çözüm kalitesini dikkate alan iki amaçlı bir model sunmuşlardır. Bu yaklaşım, karar vericiye çeşitli çözümler arasında seçim yapma ve öncekine benzer bir zaman çizelgesi bulma ile yüksek kalitede bir zaman çizelgesi bulma arasında ödünleşme yaparak karar verme alternatifini sunmaktadır. Al-Hawari ve diğ. [22] çalışmalarında, üniversitenin sınav programını 3 aşamalı olarak ele almışlardır. İlk aşamada sınavın hangi zaman dilimine atanacağına, ikinci aşamada atanacağı güne, üçüncü aşamada atanacağı dersliğe karar verilmiştir. Problem graf boyama algoritması yardımıyla çözülmüştür. Ayrıca, Altunay ve Eren [23], ders programı çizelgeleme literatüründeki 200'ün üzerindeki çalışmayı derleyerek, sonuçları yararlı olan çözüm yöntemi ve araştırma alanları konusunda analiz eden bir çalışma sunmuşlardır. Aytunay ve Eren [24], Uludağ Üniversitesi Endüstri Mühendisliği Bölümünün 2014-2015 yılı güz dönemine ait ders programı çizelgelenmesi için öğretim elemanlarının tercihlerini dikkate alan bir 0-1 tamsayı programlama modeli önermiştir. Saraç, Özçelik ve Erdoğan [25] telafi sınavları çizelgeleme problemi için bir hedef programlama modeli önermişlerdir. Sancar Edis ve Edis [26], sınav zorluk derecelerini dikkate alan bir matematiksel model önermiştir.

Bu çalışmada ise, önceki çalışmalardan farklı olarak, öğretim elemanlarının toplam memnuniyet değerinin en büyüklüğüne yani sıra, yan yana ders çakışmalarının en küçüklüğüne ve aynı unvandaki öğretim elemanlarının taleplerine daha adil yanıt verebilmek üzere, grup içi tercih sapmalarının olabildiğince enküçüklüğüne hedeflenmiştir. Bu durum, aynı unvana sahip öğretim elemanları arasındaki memnuniyet değerleri farkını azaltarak, olası itirazların da önüne geçilebilmesi açısından yararlıdır. Bölüm yönetiminin alacağı kararlarda, aynı unvana sahip öğretim elemanları arasında ayırım gözetilmeksizin ders ataması yapılabilmesini sağlayacaktır. Ek olarak, ardışık sınıflar

arası ders çakışması da sınırlandırılarak, farklı sınıflardan ders almak durumunda olan öğrencilere de seçenek sunulabilmesi ve daha esnek koşullarda program oluşturabilmeleri sağlanmıştır. Çalışmanın diğer katkıları arasında, çakışma değeri toplamına ilişkin amaca ait ağırlığın değiştirilmesi yoluyla farklı senaryoların analiz edilmesi, yöneticilere farklı ders programı seçenekleri sunulması sayılabilir.

3 Önerilen ders çizelgeleme modelleri

Bu çalışmada, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Endüstri Mühendisliği Bölümü lisans ders programı çizelgeleme problemi ele alınmış ve problem karışık tam sayılı matematiksel modeller yardımıyla çözülmüştür. İzleyen varsayımlar altında amaç fonksiyonları birbirinden farklı, çok amaçlı iki matematiksel model ele alınmış ve farklı senaryolar için sonuçlar elde edilmiştir.

Varsayımlar:

- Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Mühendislik Fakültesi içerisinde her bölüm ders programını ayrı ayrı hazırlamakta ve dersler bölümlere ait dersliklerde yapılmaktadır,
- Derslerin yapıldığı günler (Pazartesi, Salı, Çarşamba, Perşembe, Cuma) şeklindedir,
- Dersler sabah 09:00'da başlayıp akşam 18:00'de bitmektedir ve bir ders saati 45 dakikadır. Her bir dersten sonra 15 dakika mola verilmektedir. Saat 12:00 ile 13:00 arası öğle molası olup ders yapılmamaktadır,
- Öğrenci grupları (1.sınıf, 2. Sınıf, 3. Sınıf ve 4. Sınıf),
- İncelenen bölümde ders çizelgeleri her müfredat dönemi başında yapılmaktadır. Ders çizelgeleri oluşturulmadan önce, tüm sınıflar için açılacak olan dersler, her dersin haftalık ders saatleri, derslerin şubeleri, dersleri verebilecek öğretim elemanları ve derslerin verilebileceği derslikler ilgili birimler tarafından planlanmaktadır,
- Dersler haftalık süre içerisindeki ders saatlerine her gün öğleden önce üç ve öğleden sonra beş ders saati olacak şekilde atanmaktadır. Bu aşamalardan sonra hangi dersin, hangi gün, hangi ders saatine atanması gerektiği problemi idareciler tarafından elde çözülmekte, bu da idarecilerin oldukça fazla zamanını almaktadır. Bu şekilde oluşturulan çizelgeler bölümün isteklerini tam olarak karşılayamadıkları için, bu çizelgelerden istenilen verim elde edilememektedir,
- İlgili bölümde dersler hafta içi günlerde yapılmakta ve sadece dördüncü sınıf öğrencilerine bitirme ödevleri nedeniyle cuma günleri ders ataması yapılmamaktadır,
- Derslerin yapılabileceği bir bilgisayar laboratuvarı ve bir üretim sistemleri laboratuvarı olmak üzere toplam 12 adet derslik bulunmaktadır. Bu derslikler farklı kapasitelere sahip olabilmektedir. Bilgisayar uygulaması gerektirmeyen derslerin laboratuvara atanması istenmemektedir. Bölümde güz dönemine ait 36 farklı ders, 19 farklı öğretim elemanı tarafından verilmektedir. İki tane öğretim elemanı farklı bölümlerden gelmektedir.

3.1 Çakışma ve tercih temelli model (Model-1)

Bu çalışmadaki matematiksel model geliştirilirken, Demir ve Çelik [12] tarafından önerilen matematiksel model temel alınmış, uygulama yapılan eğitim kurumunun özelliklerini de dikkate alan bazı kısıt ve değişkenler ile genişletilmiştir. Model, unvanlarına göre öğretim elemanlarının memnuniyetini eniyilemeyi amaçlayan ve çakışmaları en küçükleyen yapıdadır. Model 1'de Demir ve Çelik [12]'in çalışmasından farklı olarak, unvanlara göre toplam memnuniyet arttırılırken yan yana çakışmanın da azaltılması amaçlanmıştır. Yan yana çakışma, alt sınıftan ders almak durumunda olan öğrencilerin dersi alabilmesi için, ardışık sınıf derslerinin aynı zaman dilimine çizelgenmemesini ifade eder. Toplam çakışma değeri belirlenen bir katsayı ile çarpılarak amaç fonksiyonunun değeri elde edilmiştir. Katsayı değiştirildiğinde toplam çakışma değeri de değişmektedir. Ayrıca bu çalışmada, referans çalışmadan farklı olarak derslerin tek oturumda gerçekleştirildiği dikkate alınmıştır.

Modelde yer alan indis ve parametreler, karar değişkenleri ve sistem kısıtları aşağıdaki şekilde verilmiştir.

İndisler:

$d, dd = \text{Dersler}$	$d = \{1,2, \dots, 36\}$
$g, gg = \text{Günler}$	$g = \{1,2, \dots, 5\}$
$s, ss = \text{Zaman dilimi (saat)}$	$s = \{1,2, \dots, 8\}$
$c = \text{Sınıf}$	$c = \{1,2,3,4\}$
$gn = \text{Grup}$	$gn = \{1,2, \dots, 24\}$
$r = \text{Derslik}$	$r = \{1,2, \dots, 13\}$
$h = \text{Öğretim elemanı}$	$h = \{1,2, \dots, 19\}$

Parametreler:

dps_d	: d dersinin süresi
drs_{dr}	: d dersinin hangi r dersliklerinde yapılabileceği gösteren değer
drh_{ah}	: d dersinin h . öğretim üyesi tarafından verilip verilmediğini gösteren değer
y_{dc}	: d dersinin ait olduğu sınıfı gösteren değer ($0-1$)
dt_d	: d dersinin tipi (1: zorunlu, 2: çok grup, 3: seçme)
dk_d	: d dersinin katsayısı (1: Seçmeli ve çok gruplu, 2: zorunlu)
dg_d	: Çok gruplu d dersine ait grup numarası
unv_h	: h öğretim üyesinin unvan katsayısı
trc_{hgs}	: h öğretim üyesinin g . gün, s . zaman dilimine ait tercih katsayısı (1,2,3)
w	: Çakışma değeri amaç fonksiyonu katsayısı

Karar değişkenleri:

x_{cdgs}	: c sınıfına ait olan d dersi g . gün ve s . zaman diliminde atanmışsa, 1; dd., 0
z_{dg}	: d dersi g . güne atanırsa, 1; dd., 0
u_{dr}	: d dersi r dersliğine atanırsa, 1; dd., 0
uv_{hgs}	: h . öğretim elemanı g . gün s . zaman diliminde ders veriyorsa, 1; dd., 0

v_{cdgsr}	: c sınıfına ait olan d dersi g . gün s . zaman diliminde dersliğine atanırsa, 1; dd., 0
w_{cdgsh}	: c sınıfına ait d dersi h öğretim elemanının g . gün s . periyoduna atanmışsa, 1; dd., 0
m_{cgs}	: c sınıfının g . gün ve s . periyoda atanmış dersin olmaması
t_{cgs}	: c sınıfına ait bloğun g . gün s . periyoda atanmış ders sayısı,
Tt_{cgs}	: Doğrusallaştırma için kullanılan pozitif değişken,
ck_d	: c . sınıfta verilen d dersinin ($c-1$). sınıftaki ve ($c+1$). sınıftaki herhangi bir ders veya derslerle çakışan ders saati sayısı,
dmy_{cdgs}	: doğrusal olmayan kısıtları doğrusallaştırmak için kullanılan 0-1 değişkeni,
sp_{hh}	: Aynı unvana sahip h . ve H . öğretim elemanının Memnuniyet değerleri arasındaki farkın pozitif değeri.

3.1.1 Kısıtlar ve amaç fonksiyonu

$$\sum_{d \in y_{dc}} x_{cdgs} * dk_d \leq 2 \quad \forall c, g, s \quad (1)$$

$$\sum_{\substack{d \in y_{dc} \\ dt_d=2 \\ dg_d=ord(gn)}} x_{cdgs} \leq 1 \quad \forall c, g, s, gn \quad (2)$$

$$x_{cdgs} * 2 + \sum_{\substack{dd \in y_{dc} \\ dt_{dd}=2}} x_{cdags} \leq 2 \quad \forall c; \forall d \in y_{dc} \\ dt_d = 3; \forall g, s \quad (3)$$

$$\sum_g \sum_s x_{cdgs} = dps_d \quad \forall c, \forall d \in y_{dc} \quad (4)$$

$$dps_d * (x_{cdgs} - x_{cdg(s+1)}) + \sum_{ss \geq ord(s+2)} x_{cdgss} \leq dps_d * z_{dg} \quad \forall c, \forall d \in y_{dc}, \forall g, \forall s < card(s) - 1 \quad (5)$$

$$\sum_g z_{dg} = 1 \quad \forall d \in y_{dc} \quad (6)$$

$$\sum_{\substack{d \in y_{dc} \\ dt_d \neq 2}} x_{cdgs} = t_{cgs} \quad \forall c, g, s \quad (7)$$

$$ck_d = \sum_g \sum_s x_{cdgs} * (t_{(c-1)gs} + t_{(c+1)gs}) \quad \forall c \in [2,3]; \quad \forall d \in y_{dc} \quad (8)$$

$$ck_d \leq 1 \quad \forall d \quad (9)$$

$$\sum_{r \in drs_{dr}} u_{dr} = 1 \quad \forall d \quad (10)$$

$$u_{dr} * x_{cdgs} = v_{cdgsr} \quad \forall c, \forall d \in y_{dc}, \quad (11)$$

$$\forall g, s, \forall r \in drs_{dr}$$

$$\sum_c \sum_{\substack{d \in y_{dc} \\ d \in dr_r}} v_{cdgsr} \leq 1 \quad \forall r, g, s \quad (12)$$

$$x_{cdgs} = w_{cdgsh} \quad \forall c, \forall d \in y_{dc}, \forall g, s, \forall h \in drh_{dh} \quad (13)$$

$$\sum_c \sum_{\substack{d \in y_{dc} \\ d \in drh_{dh}}} w_{cdgsh} \leq 1 \quad \forall h, g, s \quad (14)$$

$$\sum_c \sum_{\substack{d \in y_{dc} \\ d \in drh_{dh}}} w_{cdgsh} = uv_{hgs} \quad \forall h, g, s \quad (15)$$

$$\sum_d x_{cdgs} = 0 \quad \forall (c, g, s) \in SDK \quad (16)$$

$$\sum_d x_{r_4 d r_5 s} = 0 \quad \forall s \quad (17)$$

$$Enb Z_{TM} = \sum_h \sum_g \sum_s uv_{hgs} * trc_{hgs} * unv_h - w * \sum_d ck_d \quad (18)$$

Kısıt (1) ile her sınıf için aynı gün ve aynı zaman diliminde; zorunlu dersler için en fazla bir, seçmeli ve çok gruplu dersler için en fazla iki ders atanması sağlanmaktadır. Kısıt (2) ile ders tekrarı yapan öğrencilere seçenek oluşturması açısından aynı dersin farklı şubelerinin aynı zaman dilimlerine atanmaması sağlanır. Kısıt (3) seçmeli derslerin gruplu dersler ile çakışmasını engellemektedir. Kısıt (4) ilgili dersin çizelgede ilgili sınıf bloğuna süresi kadar atanmasını sağlamaktadır. Kısıt (5) ile, derse ait oturumların ders saati kadar aralıksız bir şekilde zaman çizelgesine atanması sağlanır. Kısıt (6)'ya göre her ders sadece bir güne atanabilir. Kısıt (7) ile hesaplanan t_{cgs} değişkeni, ilgili periyodun dolu olduğunu göstermiş ve yan yana çakışmayı tespit etmek için tanımlanmıştır. Kısıt (8) ile c. sınıftaki bir dersin bir önceki (c-1). sınıfa ve bir sonraki (c+1). sınıfa ait bir ders ile yan yana çakışan ders süresi hesaplanır. Kısıt (9) ile yan yana çakışma süresinin her ders için bir ders saatini geçmemesi sağlanır. Kısıt (10), her dersin her oturumunun bir dersliğe atanmasını sağlar. Kısıt (11) ile ders ve derslik programları eşleştirilir. Kısıt (12) aynı zaman diliminde bir dersliğe en fazla bir ders atanmasını sağlamaktadır. Kısıt (13) ders ve öğretim elemanı programlarının eşleştirilmesini sağlamaktadır. Kısıt (14) ile, bir öğretim elemanının aynı zaman diliminde en fazla bir derse girebilmesi garanti edilmiştir. Kısıt (15) ile bir öğretim elemanının, herhangi g. gün ve s. zaman diliminde ders verip vermediği hesaplanmaktadır. Kısıt (16) ile, atamaları öğrenci işleri tarafından belirlenen Fizik, Kimya gibi tüm fakültede ortak verilen dersler ile öğretim elemanları başka fakültelerden derse gelip ders atamaları öğrenci işleri tarafından bildirilen derslerin olduğu zaman dilimine ve dersliğe başka ders atanmaması sağlanır. Kısıt (17) ise, bir dersin seçilen bir güne atanmamasını sağlamaktadır. Eşitlik (18)'de ifade edilen ve birinci modeli temsil eden çakışma ve tercih temelli model amaç fonksiyonu (Z_{TM}) ile öğretim elemanlarının derslerinin tercih ettikleri saatlere atanması ile memnuniyet dereceleri en

büyüklenmeye çalışılırken, ders çakışmalarının en küçüklenmesi amaçlanmaktadır.

3.1.2 Doğrusal olmayan kısıtların doğrusallaştırılması

Bölüm 3.1.1'de tanımlanan (8) ve (11) numaralı kısıtlar çarpım ifadesi içerdiğinden doğrusal hale getirilmiş ve işlemler (19) ve (20) No.lu kısıtlar üzerinden açıklanmıştır.

Bölüm 3.1.1'deki (8) No.lu kısıtın doğrusallaştırılması:

$$ck_d = \sum_g \sum_s x_{cdgs} * (t_{(c-1)gs} + t_{(c+1)gs}) \quad \forall c \in [2,3], \forall d \in y_{dc} \quad (19)$$

Modelin doğrusallaştırılması için izleyen kısıtlar modele eklenmiştir. Dmy isimli pozitif tamsayı değişken, x ve tt değişkenlerinin çarpımını ifade etmektedir.

$$Tt_{(c-1)gs} = t_{(c-1)gs} + t_{(c+1)gs}, \forall g, s, \forall c \in \{1 < c < 4\} \quad (19a)$$

$$dmy_{cdgs} \leq 4 * x_{cdgs}, \forall c \in \{1 < c < 4\}, \forall d \in y_{dc}, \forall g, s \quad (19b)$$

$$dmy_{cdgs} \leq Tt_{(c-1)gs}, \forall c \in \{1 < c < 4\}, \forall d \in y_{dc}, \forall g, s \quad (19c)$$

$$dmy_{cdgs} \geq Tt_{(c-1)gs} - 4 * (1 - x_{cdgs}), \forall c \in \{1 < c < 4\}, \forall d \in y_{dc}, \forall g, s \quad (19d)$$

$$ck_d = \sum_g \sum_s dmy_{cdgs}, \forall c \in \{1 < c < 4\}, \forall d \in y_{dc} \quad (19e)$$

Bölüm 3.1.1'deki (11) No.lu kısıtın doğrusallaştırılması:

$$u_{dr} * x_{cdgs} = v_{cdgsr} \quad \forall c, \forall d \in y_{dc}, \quad (20)$$

$$\forall g, s, \forall r \in drs_{dr}$$

İzleyen kısıtlar eklenerek model doğrusallaştırılmıştır:

$$v_{cdgsr} \leq u_{dr}, \quad \forall c, \forall d \in y_{dc}, \forall g, s, \forall r \in drs_{dr} \quad (20a)$$

$$v_{cdgsr} \leq x_{cdgs}, \quad \forall c, \forall d \in y_{dc}, \forall g, s, \quad (20b)$$

$$\forall r \in drs_{dr}$$

$$v_{cdgsr} \geq x_{cdgs} + u_{dr} - 1, \quad \forall c, \forall d \in y_{dc}, \forall g, s, \quad (20c)$$

$$\forall r \in drs_{dr}$$

3.1.3 Sapma eklentili model (Model-2)

Öğretim elemanlarının ders atama tercihleri en büyüklenirken aynı unvana sahip öğretim elemanları arasında büyük farkların olması adalet duygusu ve güven açısından sorunlara yol açabilir. Toplam memnuniyetin en büyüklenmesinin yanında her unvana sahip öğretim elemanlarının olabildiğince birbirine yakın memnuniyet değerine sahip olmaları bölüm içerisinde adil davranıldığını göstereceği için kişiler arasında sorun olmasını engelleyecek, öğretim elemanlarının bölüm yönetimine olan bakışımı olumlu etkileyecektir. Bu nedenlerden dolayı, önerilen ikinci matematiksel model ile ilk modelden farklı olarak aynı unvana sahip olan öğretim elemanlarının memnuniyet değerlerinin olabildiğince birbirine yakın olması istenmiştir. Eşitlik (21)'de sapmaları da dikkate alan amaç fonksiyonu (Z_{SM}) yer almaktadır. Model-2'de amaç fonksiyonu Model-1'deki amaçlara ek olarak aynı unvana sahip öğretim elemanları arasındaki memnuniyet farkını en küçüklemeyi de amaçlar. Öğretim elemanları dört gruba ayrılmıştır. Her

gruptaki öğretim elemanlarının memnuniyet değerleri arasındaki fark hesaplanarak her grup için bu değerlerin toplamının en küçük olması istenmiştir. İlk modeldeki tüm kısıtlar bu modelde de kullanılmıştır. Aynı unvana sahip öğretim elemanları arasındaki sapma değerleri kısıtlar (22-23) aracılığıyla hesaplanmaktadır. (22) ve (23) no'lu kısıtlar aynı kümedeki öğretim elemanları kendi aralarındaki memnuniyet değerleri arasındaki farkı hesaplamakta ve bu sapma değerinin pozitif olmasını sağlamaktadır. K_i kümesi Profesör, Doçent, Dr. Öğretim Üyesi ve Öğretim görevlilerini içeren öğretim elemanları kümesini ifade etmektedir. Burada, $i=1$ Profesör, $i=2$ Doçent, $i=3$ Dr. Öğretim üyesi, $i=4$ ve Arş. Gör. Dr. ve Öğretim görevlilerine ait kümenin indisini ifade etmektedir.

$$Enb Z_{SM} = \sum_h \sum_g \sum_s uv_{hgs} * trc_{hgs} * unv_h - w * \sum_d ck_d - \sum_{h,H} sp(h,H) \quad (21)$$

$$sp_{hH} \geq \sum_s \sum_g uv_{hgs} * trc_{hgs} * unv_h - \sum_s \sum_g uv_{Hgs} * trc_{Hgs} * unv_H, \forall h, H, h \neq H, \forall K_i \quad (22)$$

$$sp_{Hh} \geq \sum_s \sum_g uv_{Hgs} * trc_{Hgs} unv_H - \sum_s \sum_g uv_{hgs} * trc_{hgs} * unv_h, \forall h, H, h \neq H, \forall K_i \quad (23)$$

4 Uygulamalı hesaplamalar

Çalışmanın uygulama aşamasında, ders programı çizelgeleme probleminin çözümüne yönelik olarak geliştirilen 0-1 karma tam sayılı doğrusal matematiksel modelinin test edilmesi amacıyla Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü güz yarıyılına ait dersler dikkate alınmıştır. Bölüme ait birinci sınıflara ait toplam 10 ders bulunmaktadır. 10 dersin sadece biri Endüstri Bölümü öğretim elemanları tarafından verilmektedir. Geri kalan derslerin ataması öğrenci işleri tarafından otomatik olarak yapılmaktadır. Endüstri Mühendisliği Bölümünde lisans programının güz yarıyılına ait ders bilgileri Tablo 1'de verilmiştir. Uygulamanın gerçekleştirildiği yarıyılta bölüme ait çeşitli unvanlara ait 17 öğretim elemanı ve 2 bölüm dışı öğretim elemanı olmak üzere toplam 19 öğretim elemanı mevcuttur. Öğretim elemanlarından 6'sı Profesör, 5'ü Doçent, 5'i doktor öğretim üyesi, 1'i Öğretim görevlisi ve 2'si Arş. Gör. Dr. olarak görev yapmaktadır. Unvan katsayıları Profesör için 4, Doçent için 3, Dr. Öğr. Üyesi için 2, Arş Gör. Dr. ve Öğretim Görevlisi için 1 olarak belirlenmiştir.

Daha önce ifade edildiği üzere, ders programlama çizelgelemesinin modellenmesi aşamasında da bazı varsayımlarda bulunulmuştur. Ek olarak, bazı zorunlu dersler de öğrenci yoğunluğu nedeniyle A ve B olmak üzere iki grup olarak açılmaktadır. Bu dersler çok gruplu dersler olarak isimlendirilmiş, ders programında öğretim elemanı, derslik gibi çakışmaları önlemek için modelde farklı ders olarak tanımlanmıştır.

Ders çizelgeleme problemi için oluşturulan modelde derslerin atandığında zorunlu derslerin veya grup derslerinin çakışmaması için dersler; zorunlu, çok gruplu ve seçmeli olarak sınıflandırılmıştır. Ders tipine göre zorunlu dersler "1", çok gruplu dersleri "2", seçmeli dersler de "3" ile gösterilmiş olup bilgiler Tablo 1'de mevcuttur. Çok gruplu derslerde, diğer ifadeyle şube derslerine aynı grup numarası verilerek, derslerin çakışması önlenmiştir. Ders programlama çalışmasının yapıldığı Endüstri Mühendisliği Bölümünde, derslerin atanabileceği: E001, E002, E003, E004, E101, E102, E103, E104, E105, E204, İş-Lab, YÖNTEK gibi farklı özelliklere sahip 12 adet derslik bulunmaktadır. Her bir dersliğin donanımı ve kapasitesi farklıdır. Ders ataması yapılırken, dersliklerin donanım ve kapasiteleri dikkate alınarak atama yapılmalıdır. Atama yapılabilir alternatif derslik kümelerine de Tablo 1'de yer verilmiştir. Tablo 1'de ayrıca, dersin hangi öğretim elemanı tarafından verilebileceği ve akademik unvanına bağlı olarak tanımlanan unvan katsayısı gibi bilgiler de yer almaktadır.

Öğretim elemanlarının gün ve saat temelinde dersleri tercih etme değerleri aşağıdaki Ek A'da verilmiştir. İlk değer gün, ikinci değer saat, üçüncü değer öğretim elemanını ifade etmektedir. Tercihler [1-3] ölçeğinde derecelendirilmiş olup, "1: mümkünse tercih etmiyorum", "2: tercih edilebilir" ve "3: tercih ediyorum" anlamındadır.

Geliştirilen 0-1 Tam Sayılı Doğrusal Programlama modelleri, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü örneği için GAMS 23.8.2 yazılımı CPLEX çözücüsü ile 3.10 GHz işlemci ve 4 GB RAM özelliklerine sahip bilgisayarda çözülmüştür.

5 Deneysel sonuçlar

Bu çalışmada, ilki iki amaçlı ve ikincisi üç amaçlı olan iki model ele alınmıştır. İlk modelde, öğretim elemanlarının toplam memnuniyetini en büyüklerken istenmeyen yan yana ders çakışmalarının da en küçüklenmesi istenmiştir. İkinci model ile, ilk modelin amaçlarına ilave olarak öğretim elemanları toplam tercih değerleri arasındaki sapmanın da akademik unvanlara göre oluşturulmuş gruplar bazında dengelenmesi amaçlanmıştır. Modellerin çözüm sonuçlarına model-1 ve model-2 için sırasıyla Ek B ve Ek C'de yer verilmiştir. Her iki model için de {-} işareti ile ayrılmış ifadeler sırasıyla, ders numarası, sınıf ve öğretim elemanı bilgisini temsil etmektedir. Örneğin, model-1 sonuçlarına göre, ikinci sınıfa ait 9 no'lu ders, E101 dersliğinde 8 no'lu öğretim elemanı tarafından pazartesi günü 3. ve 4. zaman dilimlerinde yürütülecektir. Tablo 1'de yer alan tüm dersler, ilgili sınıf bloğunda karşı gelen zaman çizelgesine atanmıştır. Ancak farklı derslere ait çok gruplu ders şubelerinin, aynı zaman dilimine atanabildiği dikkat çekmektedir. Örneğin, model-1 sonuçlarına göre çok gruplu 11 ve 16 no'lu üçüncü sınıf dersleri perşembe günü 1, 2 ve 3 no'lu periyotlarda üst üste çakışmıştır. Ancak, bu derslerin grupları farklı olduğundan, bu atama olurludur. Aynı dersin farklı şubeleri ise kısıtlar gereği üst üste çakışmamıştır. Zorunlu dersler için de üst üste çakışma engellenmiştir. Kısıtlara göre seçmeli derslerin en fazla iki tanesinin üst üste çakışmasına izin verilmiş olup bu duruma pazartesi günü 32 ve 34 no'lu dördüncü sınıf seçmeli derslerinin ilk üç periyotta üst üste çakışması örnek verilebilir. Her iki modelde de, bir derslikte aynı anda bir ders işlenebilmesi ve bir öğretim elemanının aynı zaman diliminde tek bir sınıfta ders vermesi kısıtlarının korunduğu görülmüştür.

Her iki modelde, çakışmalar toplamı ile ifade edilen amaç için seçilen ağırlık katsayıları (w) değiştirilerek farklı senaryolar da incelenmiştir. Modeller için elde edilen en iyi sonuçlar ve süre değerleri Tablo 2’de verilmiştir. İlgili tabloda, bir önceki bölümde söz edilen skalerleştirilmiş amaç fonksiyonu değerleri; öğretim elemanlarının toplam memnuniyet değeri (Z1), toplam çakışma değeri (Z2) ve aynı unvana sahip öğretim elemanları arasındaki toplam sapma değeri (Z3) gösterilmiştir.

Geliştirilen modellere ilişkin boyut analizi Ek D’de sunulmuştur. Ağırlık değeri (w=1) iken, birinci model 20978 değişken ve 18312 kısıt altında, ikinci model ise 21340 değişken ve 18461 kısıt altında çözülmüştür. Model 1 ve Model 2 kıyaslandığında, aynı unvana sahip öğretim elemanlarının tercihlerinin olabildiğince birbirine yakın olması istendiği durumda, toplam memnuniyet değerinin azaldığı ve en iyi çözüm için gereken sürenin de arttığı görülmüştür.

Tablo 1. Ders programı çizelgeleme problemine ilişkin veriler.

Table 1. Data for the course timetabling problem.

Ders No	Ders Adı	Sınıf	Ders Saati	Ders Tipi (dt _d)	Katsayı (dk _d)	Grup No	Alternatif Derslik Seti	Öğretim Elemanı	Unvan Katsayısı
1	Mühendisliğe Giriş (A)	1	2	2	1	1	E001, E003, E101, E103	H12	2
2	Mühendisliğe Giriş (B)	1	2	2	1	1	E001, E003, E101, E103	H15	2
3	Kesikli Sistemler (A)	2	2	2	1	2	E101, E103	H2	4
4	Kesikli Sistemler (B)	2	2	2	1	2	E101, E103	H11	2
5	Olasılık (A)	2	3	2	1	3	E002, E004	H7	3
6	Olasılık (B)	2	3	2	1	3	E002, E004	H15	2
7	Mesleki İngilizce I (A)	2	2	2	1	4	E002, E004	H12	2
8	Mesleki İngilizce I (B)	2	2	2	1	4	E002, E004	H16	1
9	Genel İşletme	2	2	3	1	5	E101, E103	H8	3
10	Rapor Yazma Teknikleri	2	2	3	1	6	E101, E103	H13	2
11	Yöneylem Araştırması I (A)	3	3	2	1	7	E102, E104	H3	4
12	Yöneylem Araştırması I (B)	3	3	2	1	7	E102, E104	H4	4
13	İstatistik II	3	3	1	2	8	E204	H1	4
14	İmalat Süreçleri (A)	3	3	2	1	9	E002, E004	H10	3
15	İmalat Süreçleri (B)	3	3	2	1	9	E002, E004	H18	1
16	İş Etüdü (A)	3	3	2	1	10	İş-Lab	H5	4
17	İş Etüdü (B)	3	3	2	1	10	İş-Lab	H6	4
18	Mühendislik Ekonomisi (A)	3	3	2	1	11	E102, E104	H5	4
19	Mühendislik Ekonomisi (B)	3	3	2	1	11	E102, E104	H10	3
20	Servis Sistemleri (A)	3	2	2	1	12	E102, E104	H7	3
21	Servis Sistemleri (B)	3	2	2	1	12	E102, E104	H14	2
22	Bilgi Sistemleri Veritabanı Yönetim Sistemleri	3	2	3	1	13	E101, E103	H9	3
23	Algoritmalar	3	2	3	1	14	E101, E103	H2	4
24	YÖNTEK	3	2	3	1	15	YÖNTEK	H2	4
25	Tesis Planlaması I (A)	4	3	2	1	16	E002, E004	H13	2
26	Tesis Planlaması I (B)	4	3	2	1	16	E002, E004	H17	1
27	Üretim Planlaması II (A)	4	3	2	1	17	E101, E103	H6	4
28	Üretim Planlaması II (B)	4	3	2	1	17	E101, E103	H9	3
29	Karar Destek Sistemleri	4	2	1	2	18	YÖNTEK	H2	4
30	İş Sağlığı ve Güvenliği (A)	4	2	2	1	19	E101, E103	H5	4
31	İş Sağlığı ve Güvenliği (B)	4	2	2	1	19	E101, E103	H19	1
32	Yatırım Analizi	4	3	3	1	20	E102, E104	H5	4
33	Lojistik Yönetimi	4	3	3	1	21	E101, E103	H3	4
34	Karar Analizi	4	3	3	1	22	E101, E103	H3	4
35	Niteliksel Karar Verme	4	3	3	1	23	E101, E103	H4	4
36	Rassal Modelleme	4	3	3	1	24	E204	H14	2

Tablo 2. Farklı toplam çakışma ağırlığına bağlı çözüm sonuçları.

Table 2. Solutions based on different weight of total conflict value.

Model-1	w	Z ₁	Z ₂	Çözüm Süresi (dk.)	
	0	827	5	4	
	1	827	4	16	
	2	824	2	24	
	3	820	0	44	
Model-2	w	Z ₁	Z ₂	Z ₃	Çözüm Süresi (dk.)
	0	470	9	196	74
	1	470	1	196	137
	2	470	1	196	257
	3	470	1	196	185

6 Sonuçlar

Model 2 için ele alınan farklı durumlarda, $w=0$ değeri hariç en iyi sonuca etki etmemiştir. Her değerinde elde edilen sonuç aynıdır, fakat çözüm süresi w değerine göre farklılık göstermiştir.

Memnuniyet değerleri iki modele göre kıyaslanmak istendiğinde öğretim elemanları grupları bazında çakışma ağırlığı $w=1$ iken memnuniyet değerleri toplamı Tablo 3'teki gibi elde edilmiştir. 1. grupta 6, 2. grupta 4, 3. grupta 5, 4. grupta 4 öğretim elemanı bulunmaktadır. Sonuçlara bakıldığında öğretim elemanlarının memnuniyet değerlerinin olabildiğince birbirine yakın olması istendiğinde, birinci modele kıyasla her öğretim elemanının memnuniyet değerinin ya aynı kaldığı ya da azaldığı söylenebilir.

Memnuniyet düzeylerinin hesaplanması için örnek verecek olursak; Ek B'deki atamaya göre, H15 öğretim elemanı çarşamba günü ilk üç saat diliminde ikinci sınıfın 6 no'lu dersi ile çarşamba günü altıncı ve yedinci saat dilimlerinde yer alan birinci Sınıfın 2 no'lu dersini yürütecektir. İlgili öğretim elemanının unvan katsayısı Tablo 1'de görüldüğü gibi "2"dir. Ek B'de görülen zaman dilimi tercihlerine göre tüm atanan zaman dilimleri için tercih değeri "3" olarak görülmektedir.

Bu durumda, öğretim elemanının tercihlerine bağlı yapılan atama ile 3 saatlik ve 2 saatlik iki ders için $(2*1*3)*3$ ve $(2*1*3)*2$ olmak üzere toplam memnuniyet değeri 30 olarak hesaplanmıştır. Tablo 3'te ayrıca, model-2 için gruplar temelinde toplam sapma değerleri de gösterilmiştir.

Model-2'de ikinci grup için sapma değeri hesaplamasına örnek verilecek olursa, öncelikle 7 no'lu öğretim elemanının aynı gruptaki diğer 3 öğretim elemanı ile arasındaki tercih sapmasına bakılır $(|24 - 18| + |24 - 24| + |24 - 24| = 6)$.

Sonrasında aynı işlem, 8-9 ve 10 no'lu öğretim elemanları için de tekrarlanır, 8 no'lu öğretim elemanı için 18, 9 ve 10 no'lu öğretim elemanları için 6 olarak gerçekleşmiş olup, ikinci grup için toplam sapma değeri 36 olarak hesaplanmıştır. Sonuç olarak, amaç fonksiyonuna tüm grupların sapma değerleri toplamı 196 olarak yansımıştır.

Ders programı çizelgeleme problemi, özellikle üniversitelerde, artan öğrenci sayıları ile birlikte çözümü giderek zorlaşan bir problem haline gelmiştir. Bununla birlikte çözüm karmaşıklığı ve önemi itibarıyla ders programı çizelgeleme problemi literatürde önemli bir çalışma alanıdır. Bu çalışmada, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Endüstri Mühendisliği bölümüne ait ders çizelgelerini oluşturmak amacıyla, kuruma özgü kısıtlar ile geliştirilen yeni iki tam sayılı doğrusal programlama modeli önerilmiştir. Öğretim elemanları unvanlarına göre gruplara ayrılmıştır. İlk model, yan yana ders çakışmasını azaltma ve öğretim elemanları toplam memnuniyet değerini en büyükleme amaçları altında çözülmüştür. İkinci modelde ise, ilk modeldeki amaçların yanı sıra, unvan bazlı gruplamada her gruptaki öğretim elemanının memnuniyet değerlerinin olabildiğince birbirine yakın olması amaçlanmıştır.

Böylece öğretim elemanları tercihleri yönüyle daha adil bir atama yapılabilir. Bu durum, atamalar sonrasındaki itirazların önüne geçilmesine katkı sunmayı amaçlanmaktadır. Daha önce de belirtildiği üzere ele alınan kurumda ders çizelgeleri elle oluşturulmaktadır. Önerilen matematiksel model ile insan kaynaklı dikkatsizliklerle oluşabilecek hatalı ders programlarının da önüne geçilmesi sağlanmıştır. Çalışmada geliştirilen modeller esnek bir yapıya sahiptir. Neredeyse tüm eğitim kurumlarında özellikle de yükseköğretimde yaygınlaştırılmasının kaynak kullanımında etkinlik ve verimliliğe katkı sağlayacağı düşünülmektedir. Bu konu üzerine ileride yapılacak olan çalışmalarda, ders programlarının hazırlanmasında hem öğretim elemanlarının hem de öğrencilerin tercihlerini dikkate alınabilir.

Bu çalışmada ele alınan amaçların yanı sıra, öğretim elemanlarının gün bazında ders yüklerinin dengelenmesi amacının da ele alınması bir başka çalışma konusu olabilir. Bunların yanı sıra, dersi verebilecek birden fazla öğretim elemanı seçeneği olduğu durumda da tercihlerine ya da kıdemlerine göre değerlendirme yapmak bir diğer açık çalışma alanı olarak düşünülebilir.

Tablo 3. Modellerin kıyaslanması.

Table 3. Comparison of the results of the models.

Modeller	Gruplar	Tercih	Z ₁	Gruplar	Tercih	Z ₁
1 Z ₁ =827 Z ₂ =4 Z _{TM} =823	1	H1	36	3	H11	12
		H2	72		H12	24
		H3	108		H13	30
		H4	72		H14	30
		H5	132		H15	30
		H6	72			
	2	H7	45	4	H16	6
		H8	18		H17	8
		H9	45		H18	9
		H10	72		H19	6
		Tercih	(Z ₁ , Z ₃)		Tercih	(Z ₁ , Z ₃)
2 Z ₁ =470 Z ₂ =1 Z ₃ =196 Z _{SM} =273	1	H1	36	3	H11	12
		H2	52		H12	12
		H3	52		H13	12
		H4	52		H14	12
		H5	52		H15	12
		H6	52			
	2	H7	24	4	H16	6
		H8	18		H17	6
		H9	24		H18	6
		H10	24		H19	6
		Tercih	(Z ₁ , Z ₃)		Tercih	(Z ₁ , Z ₃)

Ayrıca kullanıcıların model ile uğraşmamaları ve sadece veri girişi yapıp çözüm elde edebilmeleri amacıyla basit işlevsel kullanıcı ara yüzleri geliştirilebilir. Kullanıcının farklı senaryoları hızlıca görüp değerlendirebilmesine olanak sağlayan bir karar destek sistemi yararlı olabilir. Modelin boyutu artarsa matematiksel model kısa sürede çözüm veremeyeceği için sezgisel yöntemler çözüm elde etmek amacıyla kullanılabilir.

7 Conclusions

The timetabling problem, especially in universities, has become an increasingly difficult problem with the increasing number of students. However, due to its solution complexity and importance, the problem of timetabling is an important field of study in the literature. In this study, in order to design the course schedules of Eskişehir Osmangazi University, Department of Industrial Engineering, a new two integer linear programming model developed with institution-specific constraints is proposed. Faculty members are divided into groups according to their academic titles. The first model was solved for the purposes of reducing course overlap and maximizing the total satisfaction value of faculty members. In the second model, besides the objectives in the first model, it was aimed to have the satisfaction values of the faculty members in each group as close to each other in title-based grouping. Thus, a fairer appointment can be made in terms of faculty members' preferences. This aims to contribute to the prevention of possible objections after appointments. As stated before, in the institution course schedules are created manually. With the proposed mathematical model, it has been ensured that improper timetables that may occur due to human-induced carelessness are prevented. The models developed in the study have a flexible structure. It is thought that its dissemination in almost all educational institutions, especially in higher education, will contribute to efficiency and productivity in resource use.

In the future studies on this subject, the preferences of both faculty members and students can be taken into account in the preparation of course programs. In addition to the objectives discussed in this study, the aim of balancing the course loads of the teachers on a daily basis can also be addressed. In addition, when there is more than one faculty member who can give the course, evaluating according to their preferences or seniority can be considered as another open study field. In addition, simple functional user interfaces can be developed so that the users do not struggle with the model and only enter data and obtain solutions. A decision support system that allows the user to quickly view and evaluate different scenarios can be useful. If the size of the model increases, heuristic methods can be used to obtain a solution, since the mathematical model cannot give a solution in a short time.

8 Yazar katkı beyanı

Gerçekleştirilen çalışmada İlkur TÜKENMEZ literatür taraması, matematiksel modelin geliştirilmesi; Yeliz BURUK ŞAHİN fikrin oluşması, tasarımın yapılması, literatür taraması, matematiksel modelin geliştirilmesi ve çözülmesi başlıklarında katkı sunmuştur. Yazarlar yazım denetimi ve içerik açısından makalenin kontrol edilmesi, elde edilen sonuçların değerlendirilmesi ve sonuçların incelenmesi başlıklarında birlikte katkı sunmuşlardır. Endüstri

Mühendisliği lisans öğrencileri Ceren Çakan ve Burak İşçi veri toplama sürecine katkı sunmuşlardır.

9 Etik kurul onayı ve çıkar çatışması beyanı

"Hazırlanan makalede etik kurul izni alınmasına gerek yoktur". "Hazırlanan makalede herhangi bir kişi/kurum ile çıkar çatışması bulunmamaktadır".

10 Kaynaklar

- [1] Thepphakorn T, Pongcharoen P. "Performance improvement strategies on Cuckoo Search algorithms for solving the university course timetabling problem". *Expert Systems with Applications*, 161, 1-21, 2020.
- [2] Kamışlı Öztürk Z, Kasimbeyli N, Sağır Özdemir M, Soyuöz Acar M, Özçetin E, Alegöz M, Ceylan G. "Kullanıcı Tercihlerinin Dikkate Alınması Durumunda Üniversite Ders Çizelgeleme Problemi". *Endüstri Mühendisliği Dergisi*, 27(1), 2-16, 2015.
- [3] Burke EK, MacCarthy B, Petrovic S, Qui R. "Case-Based Reasoning in Course Timetabling: An attribute Graph Approach". *Proceedings of the 4th International Conference on Case-Based Reasoning*, Vancouver, Canada, 12 July 2001.
- [4] Lai L, Hsueh N, Huang L, Chen T. "An Artificial Intelligence Approach to Course Timetabling". *Proceedings of the 18th IEEE International Conference on Tools with Artificial Intelligence*, Washington D.C., USA, 13-15 November 2006.
- [5] Junn KY, Obid JH, Alfred R. "Comparison of simulated annealing and great deluge algorithms for university course timetabling problems". *Advanced Science Letters*, 23(11), 11413-11417, 2017.
- [6] Zhang MX, Zhang B, Qian N. "University course timetabling using a new ecogeography-based optimization algorithm". *Natural Computing*, 16(1), 61-74, 2017.
- [7] Matias JB, Fajardo AC, Medina RM. "A fair course timetabling using genetic algorithm with guided search technique". *In 5th International Conference on Business and Industrial Research (ICBIR)*, Bangkok, Thailand, 18 May 2018.
- [8] Mazlan M, Makhtar M, Ahmad Khairi AFK, Mohamed MA. "University course timetabling model using ant colony optimization algorithm approach". *Indonesian Journal of Electrical Engineering and Computer Science*, 13(1), 72-76, 2019.
- [9] Bashab A, Ibrahim AO, AbedElgabar EE, Ismail MA, Elsafi A, Ahmed A, Abraham A. "A systematic mapping study on solving university timetabling problems using metaheuristic algorithms". *Neural Computing and Applications*, 32, 17397-17432, 2020.
- [10] Gunawan A, Ng KM, Poh KL. "A Hybridized Lagrangian Relaxation and Simulated Annealing Method for The Course Timetabling Problem". *Computers & Operations Research*, 39(12), 3074-3088, 2012.
- [11] Abuhamdah A, Ayob M, Kendall G, Sabar NR. "Population based Local Search for university course timetabling problems". *Applied intelligence*, 40(1), 44-53, 2014.
- [12] Demir Y, Çelik C. "Müfredat Bazlı Akademik Zaman Çizelgeleme Probleminin Çözümüne Tam Sayılı Doğrusal Programlama Yaklaşımı". *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 31(1), 145-159, 2016.

- [13] Vermuyten H, Lemmens S, Marques I, Belian J. "Developing compact course timetables with optimized student flows". *European Journal of Operational Research*, 251, 651-661, 2016.
- [14] Domenech B, Lusa A. "A MILP model for teacher assignment problem considering teachers' preferences". *European Journal of Operational Research*, 249, 1153-1160, 2016.
- [15] [Lindahl M, Mason AJ, Stidsen T, Sorensen M. "A strategic view of University timetabling". *European Journal of Operational Research*, 266, 35-45, 2018.
- [16] Faudzi S, Abdul-Rahman S, Rahman R. "An assignment problem and its application in education domani: a review and potential path". *Hindawi Advances in Operations Research*, 2018, 1-19, 2018.
- [17] Song T, Liu S, Tang X, Peng X, Chen M. "An iterated local search algorithm for the University Course Timetabling Problem". *Applied Soft Computing*, 68, 597-608, 2018.
- [18] Wikarek J. "Lecturers' competences configuration model for the timetabling problem". In *2018 Federated Conference on Computer Science and Information Systems (FedCSIS)*, Poznań, Poland, 9-12 September 2018.
- [19] Babaei H, Karimpour J, Hadidi A. "Generating an optimal timetabling for multi-departments common lecturers using hybrid fuzzy and clustering algorithms". *Soft Computing*, 23, 4735-4747, 2019.
- [20] Yasari P, Ranjbar M, Jamili N, Shaelaie MH. "A two-stage stochastic programming approach for a multi-objective course timetabling problem with courses cancellation risk". *Computers & Industrial Engineering*, 130, 650-660, 2019.
- [21] Lindahl M, Stidsen T, Sørensen M. "Quality recovering of university timetables". *European Journal of Operational Research*, 276, 422-435, 2019.
- [22] Al-Hawari F, Al-Ashi M, Abawi F, Alouneh S. "A Practical three-phase ILP approach for solving the examination timetabling problem". *International Transactions in Operational Research*, 27, 924-944, 2020.
- [23] Altunay H, Eren T. "Ders programı çizelgeleme problemi için bir literatür taraması". *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 23, 55-70, 2017.
- [24] Altunay H, Tamer Eren. "A 0-1 Integer Programming Model for the Course Scheduling Problem and A Case Study". *Uludağ University Journal of the Faculty of Engineering*, 21(2), 473-488, 2016.
- [25] Saraç T, Özçelik F, Erdoğan H. "Mazeret/Telafi sınavı çizelgeleme problemi için bir hedef programlama modeli". *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 26(1), 203-210, 2020.
- [26] Sancar Edis R, Edis E. B. "Gerçek bir sınav çizelgeleme problemi için iki aşamalı çözüm yaklaşımı". *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 25 (1), 71-81, 2019.

Ek A: Öğretim elemanları zaman dilimi tercihleri./Appendix A: Time slot preferences of lecturers.

		Öğretim Elemanı																		
Saat Dilimi		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
Pazartesi	1	1	2	3	1	3	2	2	3	1	2	2	2	3	1	2	2	2	3	3
	2	1	2	3	1	3	2	2	3	1	2	2	2	3	1	2	2	2	3	3
	3	1	2	3	1	3	2	2	3	1	3	3	2	3	1	2	2	3	3	3
	4	3	3	3	1	3	2	2	3	1	3	3	3	2	1	2	2	3	3	3
	5	3	3	3	1	3	2	2	3	2	3	1	3	2	1	2	3	3	3	3
	6	3	3	3	1	3	2	2	2	2	3	1	3	2	1	2	3	3	3	3
	7	2	3	3	1	3	2	2	2	2	3	1	3	1	1	2	3	3	3	3
	8	2	1	3	1	3	1	1	2	2	3	2	3	1	1	3	3	3	3	3
Salı	1	2	1	1	2	3	1	1	1	3	2	2	3	1	1	3	3	3	3	3
	2	2	1	1	2	3	1	1	1	3	2	2	3	1	1	3	3	3	3	3
	3	2	1	1	2	3	2	3	1	3	2	2	2	1	1	3	3	2	3	3
	4	3	2	2	2	3	2	3	2	2	2	3	2	1	2	3	3	2	3	2
	5	3	2	2	3	2	3	3	2	2	2	3	2	3	2	3	3	2	3	2
	6	3	2	2	3	2	3	3	3	2	2	3	3	1	3	2	1	3	2	3
	7	3	3	2	3	2	3	3	3	2	2	3	3	1	3	2	1	3	2	3
	8	3	3	2	3	2	3	3	3	2	2	3	3	1	3	2	1	3	1	2
Çarşamba	1	2	3	1	3	2	2	3	3	2	1	2	1	3	2	3	3	1	2	3
	2	2	3	1	3	2	2	3	3	3	1	2	1	3	3	3	3	1	2	3
	3	2	3	1	3	2	2	3	3	3	1	2	2	3	3	3	3	1	2	3
	4	2	2	1	3	3	2	2	3	3	1	2	2	3	3	3	2	1	2	3
	5	3	2	2	3	3	1	2	3	3	2	2	2	3	3	3	2	1	2	3
	6	3	2	2	3	3	1	2	2	3	2	2	2	2	3	3	2	1	2	3
	7	3	2	2	3	3	1	2	3	3	2	1	2	2	3	3	2	1	2	2
	8	1	2	2	3	3	1	2	3	1	2	1	1	2	3	3	2	2	2	2
Perşembe	1	3	3	3	2	3	3	1	3	1	2	1	1	2	3	1	2	2	3	2
	2	3	3	3	2	3	3	1	2	1	2	1	1	2	3	1	1	2	3	2
	3	3	3	3	2	3	3	1	2	1	2	2	3	3	3	1	1	2	3	1
	4	2	3	3	2	1	3	1	2	1	3	2	3	3	3	1	1	2	3	1
	5	2	3	2	3	1	2	1	2	1	3	3	3	3	2	1	1	2	3	1
	6	2	3	2	3	1	2	1	1	1	3	3	3	3	2	1	1	1	3	1
	7	2	3	2	3	1	2	1	1	1	3	3	3	3	2	1	1	1	3	1
	8	2	3	2	3	1	2	2	1	2	1	3	2	3	2	2	2	1	3	1
Cuma	1	2	2	2	1	2	1	2	1	2	1	3	2	2	2	2	1	3	1	
	2	2	2	2	1	2	1	2	1	2	1	3	1	2	2	2	2	1	1	3
	3	2	2	2	1	2	1	2	2	1	1	3	1	1	2	2	1	1	3	
	4	1	2	2	1	2	2	2	2	1	1	3	1	1	3	2	2	2	1	3
	5	1	3	1	1	1	2	2	3	1	1	1	1	2	3	2	2	2	1	3
	6	1	3	1	1	1	2	2	3	1	1	1	1	2	3	2	1	2	1	2
	7	1	3	1	1	1	1	2	3	1	1	1	1	2	3	2	1	2	1	2
	8	1	3	1	1	1	1	2	3	1	1	1	1	2	3	2	1	2	1	2

Ek B: Model-1 için ders programı çizelgeleme sonuçları.

Appendix B: Course scheduling results for model-1.

	Saat Dilimi	1. SINIF	2. SINIF	3. SINIF	4. SINIF		
PAZARTESİ	1		D10-E101-H13		D32-E104-H5		
	2		D10-E101-H13		D32-E104-H5		
	3		D9-E101-H8		D32-E104-H5		
	4		D9-E101-H8		D33-E103-H3		
	5				D33-E103-H3		
	6		D3-E101-H2	D14-E204-H10	D18-E102-H5	D33-E103-H3	
	7		D3-E101-H2	D7-E002-H12	D14-E204-H10	D18-E102-H5	
	8			D7-E002-H12	D14-E204-H10	D18-E102-H5	
SALI	1			D22-E103-H9	D26-E004-H17		
	2			D22-E103-H9	D26-E004-H17		
	3			D15-E002-H18	D20-E104-H7	D31-E101-H19	
	4			D15-E002-H18	D20-E104-H7	D31-E101-H19	
	5		D5-E004-H7	D15-E002-H18	D17-İŞLAB-H6		
	6		D5-E004-H7	D19-E104-H10	D17-İŞLAB-H6	D25-E002-H13	
	7		D4-E101-H11	D5-E004-H7	D19-E104-H10	D17-İŞLAB-H6	D25-E002-H13
	8		D4-E101-H11		D19-E104-H10	D25-E002-H13	
ÇARŞAMBA	1		D6-E002-H15		D35-E101-H4		
	2		D6-E002-H15	D8-E004-H16	D35-E101-H4	D36-E204-H14	
	3		D6-E002-H15	D8-E004-H16		D36-E204-H14	
	4					D36-E204-H14	
	5				D13-E204-H1	D28-E101-H9	
	6	D2-E001-H15			D13-E204-H1	D28-E101-H9	
	7	D2-E001-H15			D13-E204-H1	D28-E101-H9	
	8					D28-E101-H9	
PERŞEMBE	1			D11-E104-H3	D16-İŞLAB-H5	D27-E103-H6	
	2			D11-E104-H3	D16-İŞLAB-H5	D27-E103-H6	
	3			D11-E104-H3	D16-İŞLAB-H5	D27-E103-H6	
	4			D23-E101-H10			
	5			D23-E101-H10		D29-YÖNTEK-H2	
	6	D1-E103-H12		D12-E104-H4		D29-YÖNTEK-H2	
	7	D1-E103-H12		D12-E104-H4			
	8			D12-E104-H4			
CUMA	1						
	2						
	3						
	4			D21-E102-H14			
	5			D21-E102-H14			
	6						
	7			D24-YÖNTEK-H2			
	8			D24-YÖNTEK-H2			

Ek C: Model-2 için ders programı çizelgeleme sonuçları.

Appendix C: Course scheduling results for model-2.

	Saat Dilimi	1. SINIF	2. SINIF	3. SINIF	4. SINIF	
PAZARTESİ	1		D9-E101-H8		D29-YÖNTEK-H2	
	2		D9-E101-H8		D29-YÖNTEK-H2	
	3				D28-E103-H9	D31-E101-H19
	4			D13-E204-H1	D28-E103-H9	D31-E101-H19
	5			D13-E204-H1	D28-E103-H9	
	6			D13-E204-H1	D25-E004-H13	D27-E103-H6
	7			D21-E102-H14	D25-E004-H13	D27-E103-H6
	8			D21-E102-H14	D25-E004-H13	D27-E103-H6
SALI	1		D10-E101-H13		D35-E103-H4	
	2		D10-E101-H13		D35-E103-H4	
	3		D3-E101-H2	D7-E002-H12		D36-E204-H14
	4		D3-E101-H2	D7-E002-H12		D36-E204-H14
	5					D34-E103-H3
	6		D4-E101-H11	D6-E004-H15		D34-E103-H3
	7		D4-E101-H11	D6-E004-H15		D34-E103-H3
	8			D6-E004-H15		D34-E103-H3
ÇARŞAMBA	1			D19-E104-H10		
	2		D8-E002-H16	D19-E104-H10		
	3		D8-E002-H16	D19-E104-H10		D33-E103-H3
	4					D33-E103-H3
	5					D33-E103-H3
	6			D15-E004-H18	D20-E102-H7	
	7			D15-E004-H18	D20-E102-H7	
	8			D15-E004-H18		
PERŞEMBE	1			D24-YÖNTEK-H2	D26-E002-H17	
	2			D24-YÖNTEK-H2	D26-E002-H17	
	3			D12-E102-H4	D17-İŞLAB-H6	D26-E002-H17
	4			D12-E102-H4	D17-İŞLAB-H6	D30-E101-H5
	5			D12-E102-H4	D17-İŞLAB-H6	D30-E101-H5
	6	D2-E002-H15	D5-E002-H7			D32-E104-H5
	7	D2-E002-H15	D5-E002-H7			D32-E104-H5
	8		D5-E002-H7			D32-E104-H5

EK C: Devamı.

Appendix C: Continued.

Saat Dilimi	1. SINIF	2. SINIF	3. SINIF		4. SINIF
CUMA	1		D22-E101-H9	D23-E103-H10	
	2		D22-E101-H9	D23-E103-H10	
	3		D14-E002-H10	D16-İŞLAB-H5	
	4	D1-E001-H12	D14-E002-H10	D16-İŞLAB-H5	
	5	D1-E001-H12	D14-E002-H10	D16-İŞLAB-H5	
	6		D11-E102-H3	D18-E104-H5	
	7		D11-E102-H3	D18-E104-H5	
	8		D11-E102-H3	D18-E104-H5	

Ek D: Boyut analizi.

Appendix D: Dimensional analysis.

Değişkenler	İndisler	Model1	Model2
X_{cdgs}	c,d,g,s	Çarpım $c*d*g*s$	Çarpım $c*d*g*s$
Z_{dg}	d,g	$d*g$	$d*g$
m_{cgs}	c,g,s	$c*g*s$	$c*g*s$
T_{tcgs}	c,g,s	$c*g*s$	$c*g*s$
t_{cgs}	c,g,s	$c*g*s$	$c*g*s$
ck_d	d	d	d
dmy_{cdgs}	c,d,g,s	$c*d*g*s$	$c*d*g*s$
u_{dr}	d,r	$d*r$	$d*r$
uv_{hgs}	h,g,s	$h*g*s$	$h*g*s$
v_{cdgsr}	c,d,g,s,r	$c*d*g*s*r$	$c*d*g*s*r$
w_{cdgsh}	c,d,g,s,h	$c*d*g*s*h$	$c*d*g*s*h$
sp_{hH}	h,H		$h*H$
Amac			
Kısıtlar	İndisler	Model1	Model2
1	c,g,s	Çarpım $c*g*s$	Çarpım $c*g*s$
2	c,g,s,gn	$c*g*s*gn$	$c*g*s*gn$
3	c,d,g,s	$c*d*g*s$	$c*d*g*s$
4	c,d	$c*d$	$c*d$
5	c,d,g,s	$c*d*g*s$	$c*d*g*s$
6	d	d	d
7	c,g,s	$c*g*s$	$c*g*s$
19a	g,s,c	$g*s*c$	$g*s*c$
19b	g,s,c,d	$g*s*c*d$	$g*s*c*d$
19c	g,s,c,d	$g*s*c*d$	$g*s*c*d$
19d	g,s,c,d	$g*s*c*d$	$g*s*c*d$
19e	c,d	$c*d$	$c*d$
9	d	d	d
10	d	d	d
20a	c,d,g,s,r	$c*d*g*s*r$	$c*d*g*s*r$
20b	c,d,g,s,r	$c*d*g*s*r$	$c*d*g*s*r$
20c	c,d,g,s,r	$c*d*g*s*r$	$c*d*g*s*r$
12	r,g,s	$r*g*s$	$r*g*s$
13	c,d,g,s,h	$c*d*g*s*h$	$c*d*g*s*h$
14	h,g,s	$h*g*s$	$h*g*s$
15	h,g,s	$h*g*s$	$h*g*s$
16	c,g,s	$c*g*s$	$c*g*s$
17	s	s	s
20	h,H,i		$h*H*i$
21	h,H,i		$h*H*i$