



Üniversite ders zaman çizelgeleme problemi için ikili tamsayı bir model ve bir uygulama

Hale Gonca Köçken¹

Matematik Mühendisliği Bölümü,
Kimya Metalurji Fakültesi,

Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul, Türkiye

Rumeysa Özdemir²

Endüstri ve Sistemler Mühendisliği,
Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi,
İstanbul Şehir Üniversitesi, İstanbul, Türkiye

Mehmet Ahlatcıoğlu³

Matematik Bölümü,
Fen Edebiyat Fakültesi,
Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul, Türkiye

Özet

Çalışmamızda, Üniversite Ders Zaman Çizelgeleme (ÜDZP) problemi için ikili tamsayı klasik bir model oluşturulmuştur. Oluşturulan model genel bir yapıda olmakla beraber, yurtiçi bir üniversitenin haftalık ders programı atamalarını el ile yapan bir bölümüne ait bir dönemlik ders zaman çizelgelemesine yöneliktir. Kısıtlar, literatüre benzer şekilde zorunlu ve esnek olmak üzere iki kategoriye ayrılmıştır. Zorunlu kısıtlar; teklik, tamamlanma, ardışıklık, laboratuvar, ön belirleme, değişken tipi kısıtları ve ayrıca günlük ders yükü ile oturma kısıtlarının bazılarıdır. Esnek kısıtlar ise; öğrenci gruplarının bir üst ve bir alt sınıfa ait olası derslerin olabildiğince çakışmamasını sağlayan çakışmama kısıtları, öğrenci gruplarının günde en az iki ders almasını sağlayan günlük ders yükü kısıtı ve iki oturumlu derslerin, oturumları arasında en az bir gün boşluk bırakılmasını sağlayan oturma kısıtlarıdır. Modelin maksimizasyon yönünde çalışan amaç fonksiyonu, yapılacak atamaların, olabildiğince öğretim kalitesini arttıracak ve üniversitenin ilgili bölümünün/öğretim elemanlarının istekleri doğrultusunda hareket edecek nitelikte olmasını sağlamaktadır. Modelin işleyişi, ilgili bölümün bir önceki yarıyılına ait veriler kullanılarak gösterilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Çizelgeleme, Eğitim Zaman Çizelgeleme, Ders Çizelgeleme, Üniversite Ders Zaman Çizelgeleme, İkili Tamsayı Programlama

A binary integer programming model for university course timetabling problem and a case study

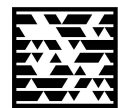
Abstract

In this study, we have presented a novel binary integer model for University Course Timetabling Problem (UCTP). Besides the model is structured as the general format, model's aim is to make a desirable timetable for a department of a domestic university which has been doing its own course timetabling, manually. Similarly to the literature, constraints are divided into two categories: hard and soft. Hard constraints include the constraints such as uniqueness, completeness, consecutiveness, laboratory, pre-assignment, type of variable and some of the daily-course load and session constraints. And the soft ones include the non-conflict constraints which prevent conflict of sequential

¹ halegk@gmail.com (H. Gonca Köçken)

² rumeys.ozdemir@gmail.com (R. Özdemir)

³ mahlatci@yildiz.edu.tr (M. Ahlatcıoğlu)



student groups' course times, the daily-load constraint which provides that a student group should take at least two courses in a school day, and the session constraints which provide a day off between sessions of a two-sectioned course. The objective function of the model, which is aimed to be maximized, should provide the high quality of education enhanced by all of the assignments and the fulfilling demands and expectations of the related department/faculty member. The model is implemented within the data of previous semester of the related Department.

Keywords: *Timetabling, Education Timetabling, Course Timetabling, University Course Timetabling Problem, Binary Integer Programming*

1. Giriş

Zaman Çizelgeleme, birçok üretim ve hizmet endüstrisinde önemli rol oynayan bir karar verme süreci olup, makineden ulaşım, sağlıktan eğitime birçok alanda kullanılmaktadır. Zaman Çizelgeleme ile bir firma yahut kurumdaki kıt kaynakların optimum şekilde tahsis edilmesi, zamanı verimli kullanmanın kazancı arttırdığı günümüzde bir gereklilik halini almıştır. Zaman Çizelgeleme Problemi (ZÇP) tanımlanmış kurallar dahilinde düzenlenen kısıtları sağlayacak şekilde limitli kaynaklara belirli bir zaman aralığında gerekli atamaların (ders, makine, araç, çalışan vb.) yapılmasını sağlar. ZÇP'nin pek çok alt kolu bulunmaktadır. Bunlardan bazıları Ulaşım ZÇP, Makine ZÇP, Personel ZÇP, Sağlık ZÇP, Spor ZÇP, Eğitim ZÇP'dir. Eğitim ZÇP (EZÇP), eğitim kurumlarında, öğretmen - öğrenci - derslik/fiziki mekan - zaman - ders/sınav bileşenlerinin ilgili kurumun kaynaklarına, ihtiyaçlarına ve beklentilerine uygun olarak en iyi atamanın yapılmasını amaçlar.

Üniversiteler ve özel kurumlar da dahil olmak üzere, tüm eğitim kurumlarında kullanılabilen EZÇP, kurumların yapılarına uygun olacak ve isteklerini karşılayacak şekilde yapılandırılmaktadır. Bu nedenle, literatürdeki EZÇP için oluşturulan modeller birbirlerinden farklı yapıdadır. EZÇP'nin alt kollara ayrılması ile ilgili olarak literatürde farklı yaklaşımlar bulunmaktadır. Bu yaklaşımlardan bazıları, EZÇP'yi sınav-ders alt başlıkları altında ele alırken [1], bazıları da EZÇP'yi [2-4] üniversite-okul alt başlıkları altında incelemiştir. Werra ise [5] EZÇP'ni sınıf-öğretmen modeli ve ders modeli olmak üzere iki alt başlıkta incelemiş ve iki problem tipinin çözümü için kullanılabilir grafik, şebeke metotlarını vermiştir. *Okul Zaman Çizelgeleme (OZÇ)*, öğretmenlerin vereceği ve öğrencilerin alacağı derslerin belli olduğu yani bir öğrenci grubundaki tüm öğrencilerin aynı dersleri aynı dönemde almak zorunda olduğu, öğretmenlerin de vereceği derslerin sürekli olarak sabit olduğu (matematik öğretmeni hep matematik dersini, türkçe öğretmeni de hep türkçe dersini verir vb.) ve öğrenci gruplarının tüm derslerinin sabit bir derslikte işleniyor olması kabullerinin altında, oluşturulacak çizelgede herhangi bir boş ders saati kalmayacak şekilde dersleri ve öğretmenleri uygun zaman aralıklarına atamayı hedeflemektedir. *Üniversite Zaman Çizelgeleme (ÜZÇ)* ise fiziki mekan kapasitesi, dersi alan öğrenci sayısı gibi bileşenlerin sabit olmadığı durumlarda, öğretim elemanlarının, fiziki mekanların uygun olduğu/olmadığı zaman aralıkları da dikkate alınarak, öğretim elemanı - ders - fiziki mekan - zaman atamasının en uygun şekilde yapılması ile ilgilenir. ÜZÇ'deki bileşenler değişken yapı sergilemektedirler. Örneğin, bir öğrenci dahil olduğu öğrenci grubundaki diğer öğrencilerle aynı derslerden/sınavlardan, aynı dönemde sorumlu olmak zorunda değildir, her bir öğrencinin programı farklılık gösterebilmektedir ve bir öğretim elemanı da her dönem aynı dersi vermek zorunda değildir, kendi alanındaki herhangi bir derse atamasının yapılması mümkündür. Bu yönleriyle ÜZÇ, OZÇ'den daha karmaşık bir yapıya sahiptir.

Derslerin öğretim elemanlarına, zaman aralıklarına ve fiziki mekanlara atanması üniversitenin her bir bölümünde her dönem başında yapılması gereken idari bir görevdir. Kalabalık öğrenci grupları için, haftanın belirli günlerini kapsayacak şekilde bir zaman çizelgesi (ders programı) oluşturmak oldukça zahmetli ve zaman gerektiren bir iştir. Ve

bu atamayı etkileyen birbirinden farklı birçok kısıtlamalar (kıt kaynaklar) bulunmaktadır. Bu kısıtlamalardan bazıları; tam-zamanlı ve yarı-zamanlı çalışan öğretim elemanları ve bölümün atama yapabileceği fiziki mekan sayısıdır. Eldeki bu kıt kaynaklar, problemi daha da zorlaştırmaktadır [6].

Eğitim Zaman Çizelgeleme Problemleri de tüm zaman çizelgeleme problemleri gibi zorunlu (hard) ve esnek (soft) olmak üzere iki kategoriye ayrılan çok sayıda kısıt içermektedir. Bu kısıtlardan zorunlu olarak adlandırılan kısıtlar, mutlaka sağlanması gereken, sağlanmaması durumunda geçerli bir çizelgenin oluşturulmasının mümkün olmayacağı kısıtlardır. Esnek kısıtlar ise oluşturulacak çizelgenin kalitesini artırma açısından olabildiğince sağlanması istenen fakat sağlanmaması durumunda geçerli bir çizelge oluşturulmasını engellemeyen kısıtlardır.

Petrovic ve Burke, ilgili kitap bölümünde [3], zaman çizelgeleme ile ilgili temel bilgiler ile ÜZÇ Problemi (ÜZÇP)'nin genel yapısını vermiş ve ÜZÇP'ni ders-sınav olmak üzere iki alt başlıkta incelemiştir. Daha sonra, ders ve sınav problemlerinin çözümlerinde kullanılabilecek olan bazı temel yöntemler hakkında bilgi verilmiştir. Çalışmada, çözüm yöntemlerinden üst-sezgisel metotlar, çok kriterli ve durum-temelli (case-based) yaklaşımlar üzerine yoğunlaşmış olsa da Matematiksel Programlama temelli yaklaşımlara da değinilmiştir.

Üniversite Sınav ZÇP (ÜSZÇP)'nde esas olan öğrenci gruplarının ve sınavların uygun fiziki mekanlara atanmasıdır. Bu atamada, aynı kademedeki öğrenci gruplarının dersleri aynı olduğu için bu derslerin sınavlarının aynı zaman aralıklarına atanmamasına ve yine aynı şekilde sınav görevlilerinin de aynı zaman aralığında birden fazla sınavdan sorumlu olacak şekilde atama yapılmamasına dikkat edilmelidir. Burke vd. [1], ÜSZÇP'nin çözümünde grafik boyama (serim renklendirme) tekniğini kullanmışlardır. Kahar ve Kendall [7], Malezya'daki bir üniversitede karşılaşılan fiziki mekan kapasitelerinin de dikkate alındığı ÜSZÇP için bir model önermişlerdir. Bu modelin çözümünde ise grafik boyama sezgisel yönteminden yararlanmışlardır.

Üniversite Ders ZÇP (ÜDZÇP) ise, öğretim elemanı - öğrenci - ders ve fiziki mekan bileşenlerinin en uygun şekilde haftalık ders programına atanması ile ilgilenir. Burada derslerin, öğrenci grubu mevcutları, fiziki mekan kapasiteleri gibi kısıtlar altında öğrenciler ve öğretim elemanları açısından en uygun gün ve zaman aralıklarına atanması amaçlanır. ÜDZÇP ile ilgili bazı çalışmalar şu şekildedir:

Daskalaki vd. [4], Yunan üniversitelerinde karşılaşılan ÜDZÇ problemleri için ikili tamsayı programlama yapısında bir model önermişlerdir. Modelde, literatürde yaygın olarak kullanılan teklik ve tamamlanma kısıtlarının yanı sıra, blok olarak yapılması istenen derslerin mutlaka istenen ders saati uzunluğunda atanmasını sağlayan süreklilik kısıtları ve bazı öğretim elemanlarının verdiği derslerin problem çözülmeden önce istenen gün ve zaman aralığına atanmasını sağlayan ön atama (belirleme) kısıtları da mevcuttur. 0-1 yapıdaki karar değişkenlerinde fiziki mekan, öğretim elemanı, ders, gün, zaman aralığı, öğrenci grubu olmak üzere altı farklı indis kullanılmıştır. İndis sayısındaki fazlalık problemin karmaşıklığını arttırmakla beraber, özel durumların modele yansıtılmasında esneklik sağlamaktadır.

Akkoyunlu [8], Amerikan üniversitelerinde fiziki mekan konusunda bir kısıtlama bulunmadığı kabulünden yola çıkarak ÜDZÇP için bir algoritma önermiştir. Önerilen algoritmanın uygulaması bir üniversitenin bir departmanından alınan veriler aracılığıyla yapılmış, çözüm aşamasında Fortran bilgisayar programlama dili kullanılmıştır. Model dikkate alınmayan fiziki mekan kısıtlamasından dolayı literatürde etkin olarak ele alınmamaktadır.

Dinkel vd. [9], ÜDZÇP'ne şebeke ağı optimizasyon yaklaşımı ile çözüm önermiştir. Bu çalışmada; fakülte, ders, zaman ve fiziki mekan gibi temel faktörler, ceza fonksiyonu ile

şebeke ağı yaklaşımına dahil edilmiştir. Modelin verileri, 175 fakültesi bulunan Teksas A&M üniversitesinden elde edilmiştir.

Badri vd. [10], Birleşik Arap Emirlikleri Üniversitesi'nde karşılaşılan ÜDZÇP'ni, çok amaçlı bir 0-1 (ikili) programlama problemi olarak modellenmiştir. Modelin çözümü için hedef programlama yöntemi kullanılmıştır. Çalışmada, öğretim elemanlarından, vermek istedikleri derslere ve bu derslerin atanacağı zaman aralıklarına öncelik değerleri atamaları istenerek bir matris oluşturulmuş ve atamalar, bu matriste yer alan veriler dikkate alınarak yapılmıştır.

Deris vd. [11], haftalık ders çizelgesinin oluşturulmasında kısıt-temelli sorgulama (constraint-based reasoning) tekniği kullanmışlar ve kısıt tatmin modeli olarak formüle edilen ÜDZÇP'nin çözümü için bir algoritma önermişlerdir. Model Malezya'daki üniversitelerin genel yapılarını yansıtacak şekilde, yarı zamanlı öğretim elemanları, resmi tatiller gibi özel durumları da dikkate almaktadır.

Daskalaki ve Birbas [12], ÜDZÇP'ne ikili programlama yapısında bir model önermişlerdir. Bu model, iki aşamalı rahatlatma (relaxation) yaklaşımı ile çözümlenmektedir. İlk aşamada, ardışıklık kısıtları dikkate alınmadan problem rahatlatılmıştır. İlk aşamanın sonunda ardışıklık sağlanmadan sadece derslere ait oturumların hangi günlerde yapılacağı kararı verilmiştir. Bu aşamada elde edilen çözümde birden fazla ders saatine sahip derslerin sürekliliği garantilenmez. İkinci aşamada ise, derslerin günlerinin belirlenmiş olduğu dikkate alınarak ardışıklık kısıtları modele dahil edilir ve haftanın her bir günü için bir program çalıştırılarak lokal optimum bir çözüm elde edilmesi sağlanır.

Al-Yakoob ve Sherali [13], Kuveyt Üniversitesi'nde karşılaşılan bir ÜDZÇP için iki adet karma tamsayılı model (CFAM ve ECFAM) geliştirmişlerdir. Bu modellerden CFAM'da cinsiyet ayrımları dikkate alınmış, erkek ve kızlar için ayrı haftalık ders çizelgeleri oluşturulması amaçlanmıştır. Ayrıca öğretim elemanlarından, sorumlu oldukları dersler için fiziki mekan ve zaman aralıkları ile ilgili memnuniyet derecesi bilgileri toplanmış, yapılacak atamanın bunları da dikkate alması hedeflenmiştir. ECFAM ise CFAM modelinin modifiye edilmiş bir versiyonudur. ECFAM, CFAM modeli ile elde edilen çözümün öğretim elemanları açısından toplam tatminini geliştirmek amacıyla, fakültenin izin verdiği ölçüde, öğretim elemanlarının ders zaman aralıklarında değişiklikler yapabilmesine olanak sağlamaktadır. Modellerin çözümünde CPLEX-MIP çözücüsü kullanılmıştır. MirHassani [6] çalışmasında, cinsiyet ayrımını ele alması yönüyle literatürdeki çalışmalardan farklı bir yapı sergilemektedir.

MirHassani [6], İran'daki Shahrood Teknoloji Üniversitesinde karşılaşılan ÜDZÇP için iki yarıyılık veri aracılığıyla ikili programlama yapısında bir model önermiştir. Model AIMMS adlı bilgisayar programı ile çözülmüştür. Ceza fonksiyonu mantığına dayanılarak oluşturulan amaç, minimizasyon yönünde çalışmaktadır ve modeldeki temel karar değişkenleri öğretim elemanı, ders, gün ve zaman aralığı olmak üzere dört indislidir.

Baç [14], Atılım Üniversitesi Endüstri Mühendisliği Bölümü'nde karşılaşılan ÜDZÇP için 0-1 programlama yapısında GADAM olarak adlandırdığı bir model önermiştir. Veriler yurt içi bir üniversiteden sağlandığından, oluşturulan model Türkiye'deki üniversitelerin birçoğuna uygulanabilir niteliktedir. Modelin temel karar değişkenleri ders - öğretim elemanı - fiziki mekan ve zaman indislerini içermektedir.

Cacchiani vd. [15], müfredat tabanlı üniversite ders zaman çizelgeleme problemi için; Hao ve Benlic [16], verilen tabu arama tekniğini kullanan ve ana problemi alt probleme bölen yaklaşıma benzer bir tamsayılı lineer model önermişlerdir. Önerilen modelde amaç fonksiyonu iki ana kısma ayrılarak, ilk kısımda derslik kapasiteleri ve dersliklerin değişmezliği dikkate alınırken, ikinci kısımda ise oluşacak programın kompaktlığı ve toplam çalışma gününün minimize edilmesi amaçlanmıştır. Oluşturulan model

büyüklüğüne göre tamsayılı model ile veya rahatlatılmış lineer programın sütun-üretim (column generation) tekniğiyle ele alınması yoluyla çözülmüştür.

Çalışmamızda ise, ÜDZÇP'ne odaklanılmış ve yurt içi bir Üniversite'nin haftalık ders programı atamalarını el ile yapan bir Bölümü'nde karşılaşılan ÜDZÇP, ikili tamsayılı programlama problemi olarak modellenmiştir. Oluşturulan modelde, probleme ait literatürde yaygın olarak bulunan teklik, tamamlanma, ardışıklık kısıtlarının yanı sıra ilgili bölümün isteklerini karşılayacak ve haftalık ders programının kalitesini arttıracak yeni kısıtlar da bulunmaktadır. Kısıtlar, esnek ve zorunlu olmak üzere, iki ayrı kategoride incelenmiştir. Ele alınan bölümün Lisans, Yüksek Lisans ve Doktora programları bulunmakla beraber, çalışmamızda yalnızca Lisans programı için haftalık ders programı oluşturulması amaçlanmıştır. Oluşturulan model GAMS paket programı ile çözülmüştür.

Çalışmamızın ikinci bölümünde, oluşturulan model, kabulleri ve matematiksel formülasyonu ile detaylı şekilde açıklanmış, üçüncü bölümde ise oluşturulan modelin yurt içi bir üniversitenin Matematik bölümünden elde edilen bir önceki döneme ait veriler aracılığıyla uygulaması verilmiştir.

2. ÜDZÇP'ne ikili tamsayılı bir model

Literatürde bulunan ÜDZÇP ile ilgili çalışmalar incelendiğinde, problemin uygulanacağı ülke ya da kuruma göre oluşturulacak modelin değişiklikler gösterdiği görülmektedir. Bu sebeple problem tek türlü modellenememekte fakat kısıtlar genel olarak zorunlu ve esnek kısıt olmak üzere iki başlık altında incelenmektedir:

Zorunlu (Hard, Sıkı) Kısıtlar: Yapılan atamanın tek olmasını, tüm ders planının eksiksiz yapılmasını, öğrenciler, öğretim elemanları ya da fiziki mekanlar için herhangi bir çakışmanın olmamasını, fiziki mekan kapasitesine göre atama yapılmasını garantileyen, toplam ders saatinin fazla olması sebebiyle tek oturumda yapılamayacak derslerin farklı günlere bölünmesi, bir oturumdaki toplam ders saatlerinin ardışıklığı gibi istekleri sağlayan kısıtlardır.

Zorunlu kısıtlar, ders planı oluşturulurken mutlaka yerine getirilmesi gereken kısıtlardır. Çünkü bu kısıtlar, fiziki açıdan eldeki kaynakların kullanımına ilişkin durumları içerdiklerinden, gerçekleşmediklerinde geçerli bir ders planı oluşturulması mümkün olamaz. Örneğin bir fiziki mekana aynı zaman aralığında tek bir dersin atanmasını sağlayan zorunlu kısıt gerçekleşmediğinde, bu fiziki mekana birden fazla sayıda ders ataması yapılabilir, bu da geçerli bir ders planının oluşturulamaması demektir.

Problem sadece zorunlu kısıtlar altında çözümlerse, problemin çözümü kolaylaşmakta ancak tatmin edici sonuçlar ortaya çıkmamaktadır. Bu nedenle daha tatmin edici sonuçlar ve ders planının kalitesini arttırmak için esnek kısıtlara ihtiyaç duyulur.

Esnek (Soft, Yumuşak) Kısıtlar: Öğrenciler ve öğretim elemanları için en büyük memnuniyeti yaratacak atamaların yapılması için gerekli olan kısıtlardır. Öğretim elemanına/öğrenciye ders arası dinlenme zamanı bırakmak, bir öğretim elemanı ya da öğrenci grubunun iki dersinin arasındaki sürenin istenen şekilde ayarlanması, öğle arasının programda yer alması, öğrenci gruplarının farklı dersleri arasındaki bekleme sürelerinin kısa olması, öğrenci grupları için fiziki mekan değişikliklerinin minimum olması gibi kısıtlar esnek kısıtlar olarak adlandırılırlar. Bu kısıtların olabildiğince sağlanması hedeflenir, ancak problemde farklı çakışmalara ya da sorunlara yol açtıkları zaman, esnek kısıtlardan feragat edilebilir. Bu kısıtların sağlanması ders planının kalitesini ve etkinliğini arttırmaktadır. Dolayısıyla bir ÜDZÇP'nde esnek kısıtların çokluğu çözümü iyileştirmeleri yönüyle istenen bir durumdur.

Esnek kısıtlar, literatürde bazen direkt kısıt kümesinde yer alırken bazen de problemin amaç fonksiyon katsayıları aracılığıyla probleme eklenirler. Amaç fonksiyon katsayıları,

tatmin derecesini gösterecek ağırlıklar olarak düzenlenebilir. Ve amacın optimize edilmesi ile bu ağırlıklar esnek kısıtların olabildiğince sağlanmasına yardımcı olur.

Bu iki kısıt tipini özetlemek gerekirse, zorunlu kısıtlar modelin mutlaka karşılaması gereken, tavize izin verilmeyen kısıtlardır, diğer taraftan esnek kısıtlar ise öğretim elemanlarının, öğrenci gruplarının istekleri doğrultusunda ve onların memnuniyetlerini arttırmak amacı ile modele eklenen kısıtlardır. Esnek kısıtların sağlanması hem programı daha güzel ve kullanışlı hale getirir hem de memnuniyeti arttırması nedeni ile dönem boyunca yapılan atamaların öğrenciler ve öğretim elemanları için daha keyifli ve verimli geçmesini sağlar.

Ancak, esnek kısıtların oluşması için toplanan veriler memnuniyet temelli olduğundan, öğretim elemanlarının istekleri kendi aralarında, öğrenci gruplarının istekleri de öğretim elemanlarının istekleriyle çoğu zaman çatışmaktadır. Yani bir grubun ya da kişinin isteğinin %100 karşılanması bazen bir diğerinin isteğinin hiç karşılanmaması manasına gelebilir. Böyle bir durumdan kaçınmak için esnek kısıtlar dikkatli ve adilane bir şekilde oluşturulmalıdır.

2.1. Modelin Kabulleri

Çalışmamız kapsamında oluşturduğumuz model, sayısal verilerin sağlandığı bölümün ihtiyaçlarını karşılayacak şekilde kurulmuştur. Ele alınan bölüme yönelik oluşturulan bu model, aynı üniversitenin ve yurt içi birçok üniversitenin bünyesindeki diğer bölümlere de uyarlanabilir niteliktedir [17].

ÜDZÇP kapsamında incelenen bölüm; birinci öğretim lisans, yüksek lisans ve doktora programlarıyla eğitim-öğretim faaliyetlerini sürdürmektedir. Bu bölümde yarıyıl boyunca geçerli olacak haftalık ders programı, her yarıyıl başında görevlendirilen kişiler tarafından el ile yapılmaktadır. Çalışmamızda, bu programın matematiksel teknikler ve bilgisayar aracılığıyla çözümlenebilmesi amacıyla ikili tamsayılı programlama yapısında bir model oluşturulmuştur. Problem ile ilgili veriler, bölümün bir önceki yarıyılına ait yayımlanmış haftalık ders programı üzerinden sağlanmıştır. Ayrıca bölümde bu programın hazırlanma aşamasında görevli olan kişilerle görüşülerek, *haftalık ders programı oluşturma süreci* analiz edilmiştir. Buna göre ilgili bölümün fiziksel olanaklarını, akademik personel ile ilgili kısıtlamalarını ve öğretim işleyişini kapsayan genel yapı, başka bir ifadeyle modelimizin kabulleri aşağıdaki gibidir:

- Bölümde, hafta içi beş gün, saat sekiz (08.00) ile on sekiz (18.00) arasında öğretim yapılmaktadır.
- Bölüme ait toplam yedi adet derslik ve iki bilgisayar laboratuvarı bulunmakta, bu fiziki mekânların kullanıma uygun olduğu günler ve günler içerisindeki zaman aralıkları önceden bilinmektedir.
- Ders planı içerisinde bulunan derslerin hangi tür fiziki mekanda (derslik veya laboratuvar) işleneceği önceden bilinmektedir.
- Dersi alacak öğrenci sayısı bölüm tarafından tahmini olarak belirlenmekte ve buna bağlı olarak her bir ders için uygun kapasiteli fiziki mekânlar tanımlanmaktadır.
- Bölümün ders planında yer alan dersler Zorunlu, Bölüm Seçimlik, Üniversite Seçimlik, Serbest Seçimlik ve Temel Kültür olmak üzere beş kategoriye, ayrıca Zorunlu dersler kendi içerisinde Bölüm ve Servis dersi olmak üzere iki kategoriye ayrılmaktadır.
- Bölümün ders planı sekiz yarıyıldan oluşmakta ve bu yarıyıllarda hangi derslerin bulunduğu bilinmektedir. İlk altı yarıyıldan Zorunlu Dersler, yedinci ve sekizinci yarıyıllarda ise Bölüm Seçimlik dersler ağırlıktadır.

- Bölümde dört *öğrenci grubu* bulunmaktadır. Burada *öğrenci grubu* ile anlatılmak istenen, öğrencilerin yıllık öğrenime göre ayrıldıkları kademelerden her biridir. Bu kavram günlük hayatta derslikle eş anlamlı olan *sınıf* sözcüğüyle ifade edilmektedir. Çalışmamızda kavram karmaşasına yol açmamak için sınıf sözcüğü yerine *öğrenci grubu* ifadesi kullanılmıştır.
- Her bir öğrenci grubunun alması gereken dersler, ders planı kapsamında önceden bellidir.
- Zorunlu Bölüm dersleri ve Bölüm Seçimlik dersler bölümün öğretim elemanları tarafından verilmektedir. Çalışmamız kapsamında oluşturulması amaçlanan haftalık ders programı sadece bu dersleri kapsamaktadır.
- Bölüm dışı öğretim elemanları tarafından verilmekte olan Üniversite Seçimlik, Serbest Seçimlik, Temel Kültür ve Zorunlu Servis dersi kategorilerine ait derslerin hangi güne, zaman aralığına ve fiziki mekâna atanacağı, haftalık ders programı oluşturulmadan önce ilgili bölüme bildirilmektedir. Bu derslere tahsis edilecek (atanacak) fiziki mekanlar genelde dersin verildiği dış bölümlere ait fiziki mekanlar olmaktadır. Dış bölümün kendi kaynaklarını kullanarak ilgili derse fiziki mekân tahsis edemediği durumlarla da karşılaşılabilen, böyle durumlarda fiziki mekân tahsisi bölüme ait fiziki mekânlardan yapılmaktadır.
- Çalışmamızda oluşturulması amaçlanan haftalık ders programında yer alacak bazı derslerin yer ve zaman atamaları, haftalık ders programı oluşturulmadan önce belirlenebilmektedir. Bu durumun en tipik örneği idari bir görevi de yürütmekte olan öğretim elemanının, zorunlu girmesi gereken toplantılar gibi sebeplerle zaman seçebilme opsiyonudur. Ayrıca, haftalık ders programı oluşturulmadan önce belirlenen dış bölümler tarafından verilen dersler için ayrılan zaman aralıkları veya bu derslere Bölüm kaynaklarından ayrılan fiziki mekan kısıtları da bu duruma örnek olarak verilebilir. Haftalık ders programı oluşturulmadan önce bilinen bu atama/atamama durumları *ön belirleme (pre-assignment) kısıtları* olarak tanımlanır.
- Bölüm yetkilileri, yarıyıl başlamadan bir süre önce her öğretim elemanından o yarıyıldaki vermek istedikleri derslerin isimlerini içeren *Ders Bildirim Formu*'nu doldurmalarını ister. Bu formlar aracılığıyla, oluşturulması amaçlanan haftalık ders programında hangi derslerin yer alacağı ve bu dersleri hangi öğretim elemanlarının vereceği belirlenir. Bunların belirlenme aşamasında Bölüm yetkililerinin öğretim planını aksatmamak için dikkate aldığı hususlar şu şekildedir:
 - Ders planında ilgili yarıyıldaki (Bahar veya Güz) açılması gereken tüm zorunlu dersler açılmalıdır.
 - Yeterli sayıda bölüm seçimlik dersi açılmalıdır. Bölüm seçimlik dersler öğrencilerin yönelmek istedikleri alanlardaki bilgilerini pekiştirmek amacı ile açılan derslerdir. Bu sebeple, bu derslerin mümkün olduğu kadar çok sayıda açılması önemlidir.
 - Öğretim elemanlarının zorunlu ders yükleri olabildiğince tamamlanmalıdır.
- Elli dakika süren eğitim - öğretim çalışması bir *ders saati*, bir dersin bütün halinde art arda işlenen kısımlarından her biri *oturum* olarak tanımlanmaktadır.
- Dersler birden fazla oturumda işlenebilmekte ve derslerin oturum sayıları Bölüm tarafından belirlenmektedir. İki ve üç ders saati uzunluğunda olan dersler tek oturumda, dört ders saati uzunluğunda olan dersler iki artı iki olmak üzere iki oturumda, beş ders saati uzunluğunda olan dersler ise üç artı iki olmak üzere iki oturumda işlenmektedir.

2.2. ÜDZÇP'nin Matematiksel Modeli

Modelde kullanılacak olan indisler, kümeler, parametreler ve kısıtlar açıklamaları ile birlikte bu kısımda verilecektir.

2.2.1 İndisler, Kümeler, Parametreler ve Değişkenler

İndisler

i : Gün indisi	$i \in I = \{1, 2, \dots, i_{son}\}$
j : Zaman aralığı indisi	$j \in J = \{1, 2, \dots, j_{son}\}$
k : Öğrenci grubu indisi	$k \in K = \{1, 2, \dots, k_{son}\}$
l : Öğretim elemanı indisi	$l \in L = \{1, 2, \dots, l_{son}\}$
m, m' : Ders indisi	$m, m' \in M = \{1, 2, \dots, m_{son} = m'_{son}\}$
ms : Seçimlik ders indisi	$ms \in MS = \{1, 2, \dots, ms_{son}\}$
n : Fiziki mekan indisi	$n \in N = \{1, 2, \dots, n_{son}\}$
p : Derse ait oturum sayısı indisi	$p \in P = \{1, 2, \dots, p_{son}\}$

i , öğretim yapılan günlerin indisidir. İlgili bölümde hafta içi öğretim yapıldığından $i \in \{1, 2, \dots, 5\}$ 'tir. Burada 1, 2, ..., 5 sayıları sırasıyla Pazartesi, Salı, Çarşamba, Perşembe ve Cuma günlerine karşılık gelmektedir. Gerekli olduğu durumlarda haftanın diğer günlerini de modele eklemek mümkündür. j , bir gün içerisinde öğretim yapılabilecek ders saatinin sırasını veren indistir. İlgili bölümde sekiz (08.00) ile on sekiz (18.00) arasında öğretim yapıldığından, $j \in \{1, 2, \dots, 10\}$ 'dur. Örneğin, $j = 1$; 08.00 - 08.50 arası ders saatine, $j = 7$; 14.00 - 14.50 arası ders saatine karşılık gelmektedir. Modelin kabullerine göre $k \in \{1, 2, 3, 4\}$ 'tür. m ; ders programına atanacak olan derslerin, n ; fiziki mekanların, p ise bir dersin oturum sayısının indisidir. Atanması amaçlanan tüm dersler en çok iki oturumda işleneceğinden modelde $p \in \{1, 2\}$ olarak alınmıştır.

Kümeler

ÜDZÇP karmaşık yapıda büyük boyutlu bir problem olduğundan ve birçok özel durum içerdiğinden, bunları kısıtlara doğru bir şekilde yansıtılabilmek için problemde indis kümelerinin alt kümeleri tanımlanır. Örneğin, bir m dersinin bir oturumunun sadece bir fiziki mekanda yapılmasını garantileyen kısıt göz önüne alınsın. Bu kısıtta bütün fiziki mekanları saydırmak yerine sadece bu derse kapasite ve fiziki mekan tipi olarak uygun olan mekanlar üzerinden saydırma yapılır. Bu mantıkla modelimiz için oluşturulan kümeler aşağıdaki gibidir:

$$M_l = \{m \in M \mid l \text{ öğretim elemanının verdiği } m \text{ dersleri}\}$$

$$\dot{M}_k = \{m \in M \mid k \text{ öğrenci grubunun ders planında yer alan } m \text{ dersleri}\}$$

$$\bar{M}_n = \{m \in M \mid n \text{ fiziki mekanında verilebilecek } m \text{ dersleri}\}$$

$$N_m = \{n \in N \mid m \text{ dersi için uygun olan } n \text{ fiziki mekanları}\}$$

$$I_l = \{i \in I \mid l \text{ öğretim elemanının uygun olmadığı } i \text{ günleri}\}$$

$$I \setminus I_l = \{i \in I \mid l \text{ öğretim elemanlarının uygun olduğu } i \text{ günleri}\}$$

$$\bar{I}_n = \{i \in I \mid n \text{ fiziki mekanlarının tam gün uygun olmadığı } i \text{ günleri}\}$$

$$MS = \{m \in M \mid \text{öğrenci grubu 3 ve 4 için açılan Bölüm Seçimlik dersler}\}$$

$$IJ_n = \{(i, j) \in I \times J \mid n \text{ fiziki mekanının uygun olmadığı } i \text{ günlerindeki } j \text{ zaman aralıkları}\}$$

$$PRA_0 = \left\{ (i, j, m, n) \in I \times J \times M \times N \mid \begin{array}{l} m \text{ dersi } i \text{ gününde } j. \text{ zaman aralığında} \\ n \text{ fiziki mekanında yapılamaz} \end{array} \right\}$$

$$PRA_1 = \left\{ (i, j, m, n) \in I \times J \times M \times N \mid \begin{array}{l} m \text{ dersi } i \text{ gününde } j. \text{ zaman aralığında} \\ n \text{ fiziki mekanında yapılır} \end{array} \right\}$$

M_l kümesi, l öğretim elemanının verdiği derslerin kümesidir. Modelin kabullerinde de verildiği gibi uygulama verilerinin alındığı Matematik bölümünde öğretim elemanı – ders eşleşmesi her yarıyılın başında *Ders Bildirim Formları* aracılığıyla belirlenmektedir.

Ders planında k öğrenci grubuna ait olan ve model kapsamında atanması amaçlanan derslerin kümesi \dot{M}_k kümesi ile tanımlanmıştır.

Dersi alan öğrenci sayısı veya fiziki mekan tipi kısıtı gibi sebeplerle her fiziki mekan her derse uygun olmamaktadır. Bu kısıtlamalara göre \bar{M}_n ve N_m kümeleri belirlenir.

Öğretim elemanlarına çeşitli sebeplerle boş gün ataması yapılması gerekebilir. Bu durum modele $I \setminus I_l$ ve I_l kümeleri ile dâhil edilir. I_l kümesi, ön belirleme kısıtlarında, $I \setminus I_l$ kümesi ise diğer kısıtlarda kullanılır.

Fiziki mekanların uygun olmadığı günler ve zaman aralıkları, \bar{I}_n ve IJ_n kümeleri ile tanımlanır. Bir fiziki mekân $\forall i, \forall j$ için uygunsa bu kümeler, boş küme olacaktır.

$MS \subset M$ kümesi, ders planında yer alan ve model kapsamında atanması amaçlanan bölüm seçimlik derslerin kümesidir.

PRA_0 ve PRA_1 , haftalık ders programı oluşturmadan önce ders – gün – zaman aralığı bileşenlerinin atama/atamama durumlarının belirlenmiş olduğu durumlar için tanımlanmış kümelerdir.

Bu kümelerin hepsi, haftalık ders programı oluşturulmadan önce belirlidir.

Parametreler

b_m : m dersinin haftalık toplam ders saati sayısı.

s_l : Öğretim elemanı l 'nin haftalık toplam ders saati yükü.

a_k : k öğrenci grubunun ders planında olması gereken toplam ders saati.

h_{mp} : m dersinin p numaralı oturumun toplam ders saati.

w_j : j zaman aralıkları için atanan memnuniyet (tercih) katsayıları.

\bar{w}_n : n fiziki mekanları için öğretim elemanları tarafından atanan memnuniyet (tercih) katsayıları

w_{mi}^l : m dersinin i günü için öğretim elemanları tarafından atanan memnuniyet (tercih) katsayıları.

Parametreler, haftalık ders programı oluşturulmadan önce belirlidir.

Değişkenler

$$x_{i,j,m,n} = \begin{cases} 1, & m \text{ dersi } i \text{ günündeki } j. \text{ zaman aralığında,} \\ & n \text{ fiziki mekanında yapılıyor ise} \\ 0, & \text{aksi taktirde} \end{cases}, \forall (i, j, m, n) \in I \times J \times M \times N$$

$$y_{k,i}^1 = \begin{cases} 1, & \text{öğrenci grubu } k \text{ 'nın } i \text{ gününde dersi varsa} \\ 0, & \text{aksi taktirde} \end{cases}, \forall (k, i) \in K \times I$$

$$y_{i,m,p,n}^2 = \begin{cases} 1, & m \text{ dersinin } p. \text{ oturumu } i \text{ gününde} \\ & n \text{ fiziki mekanında yapılıyor ise} \\ 0, & \text{aksi taktirde} \end{cases}, \forall (i, m, p, n) \in I \times M \times P \times N$$

$$y_{i,m}^3 = \begin{cases} 1, & m \text{ dersinin } i \text{ ve } (i+1) \text{ günlerinde oturumu varsa} \\ 0, & \text{aksi taktirde} \end{cases}, \forall (i, m) \in I \times M$$

$$y_{i,j,m,ms}^4 = \begin{cases} 1, & m \text{ ve } ms \text{ dersi, } i \text{ gününün} \\ & j. \text{ zaman aralığında yapılıyor ise} \\ 0, & \text{aksi taktirde} \end{cases}, \forall (i, j, m, ms) \in I \times J \times \dot{M}_3 \times (MS - \dot{M}_3)$$

$$y_{i,j,m,m'}^5 = \begin{cases} 1, & i \text{ gününün } j. \text{ zaman aralığında} \\ & m \text{ ve } m' \text{ derslerinde çakışma varsa} \\ 0, & \text{aksi taktirde} \end{cases}, \forall (i, j, m, m') \in I \times J \times \dot{M}_2 \times \dot{M}_3$$

$$y_{m,n}^6 = \begin{cases} 1, & m \text{ dersi } n \text{ fiziki mekanında yapılıyor ise} \\ 0, & \text{aksi taktirde} \end{cases}, \forall (m, n) \in M \times N_m$$

Görüldüğü gibi tüm karar değişkenleri ikili yapıdadır.

2.2.2. Kısıtlar

Kısıtlar dokuz başlık altında incelenecektir. Bunlar Teklik, Tamamlanma, Günlük Ders Yükü, Ardışıklık, Oturum, Çakışmama, Laboratuar, Ön Belirleme ve Değişken Tipi kısıtlarıdır. Bunlardan Teklik, Tamamlanma, Ardışıklık, Laboratuar, Ön Belirleme ve Değişken Tipi kısıtlarının tamamı ile Günlük Ders Yükü ve Oturum kısıtlarından bazıları

zorunlu kısıt kategorisine girmektedir. Örneğin, *ders saati tamamlanma kısıtı*'nin sağlanmaması bir dersin toplam ders saatinin haftalık ders programında yer almadığı dolayısıyla geçerli bir haftalık ders programının oluşturulmadığı anlamına gelmektedir. Bu bağlamda ilgili kısıt, kesinlikle (%100) sağlanması gerektiği için zorunlu bir kısıttır. Çakışmama kısıtlarının tamamı ile Günlük Ders Yükü ve Oturum kısıtlarının bazıları ise esnek kısıt kategorisine girmektedir. Örneğin, Çakışmama kısıtlarından biri, ders planında öğrenci grubu 3 için açılan dersler ile öğrenci grubu 4 için açılan bölüm seçimlik derslerin olabildiğince çakışmamasını sağlamaktadır. Bu çakışmama durumu %100 sağlanmak zorunda değildir, bu sebeple esnek bir kısıttır. Başka bir ifadeyle, öğrenci grubu 3 için açılan bir dersin öğrenci grubu 4 için açılan dersler ile çakışması geçerli bir haftalık ders programı oluşturulmasını engellemez. Fakat bu derslerin çakıştırılmaması, her iki öğrenci grubu için alternatif ders sayısını arttırmakta dolayısıyla öğrenciler açısından oluşturulacak haftalık ders programının kalitesini yükseltmektedir.

Teklik Kısıtları

Öğretim elemanı teklik kısıtı olarak bilinen (1), bir öğretim elemanının belirli gün ve zaman aralığında, iki farklı fiziki mekana atanmasını engelleyen kısıttır.

$$\sum_{m \in M_l} \sum_{n \in N_m} x_{i,j,m,n} \leq 1, \quad \forall i \in I \setminus I_l, \forall j, \forall l \quad (1)$$

Fiziki mekan tekliliğini sağlayan (2), bir fiziki mekana, belirli gün ve zaman aralığında birden fazla ders/öğretim elemanı/öğrenci grubu atanmasını engelleyen kısıttır.

$$\sum_{m \in M_n} x_{i,j,m,n} \leq 1, \quad \forall i, \forall j, \forall n \quad (2)$$

Öğrenci gruplarının atamalarının tekliliği (3) ile sağlanır. Bu kısıt belirli gün ve zaman aralığında, bir öğrenci grubuna birden fazla ders atanmasını engeller.

$$\sum_{m \in M_k} \sum_n x_{i,j,m,n} \leq 1, \quad \forall i, j, k \quad (3)$$

Tamamlanma Kısıtları

Her bir ders için toplam ders saati tamamlanma kısıtı (4) ile aşağıda verildiği gibidir. Bir dersin, tüm saatlerinin haftalık ders programında yer almasını garantiler.

$$\sum_i \sum_j \sum_{n \in N_m} x_{i,j,m,n} = b_m, \quad \forall m \quad (4)$$

Öğretim elemanı ders yükü tamamlanma kısıtı (5)'te verildiği gibidir. Kısıt, bir öğretim elemanına bir haftalık ders programında, öğretim elemanının vermesi gereken toplam ders yükü kadar atama yapılmasını garantiler.

$$\sum_{m \in M_l} \sum_{i \in I \setminus I_l} \sum_j \sum_n x_{i,j,m,n} = s_l, \quad \forall l \quad (5)$$

Her bir öğrenci grubu için ders yükü tamamlanma kısıtı (6) ile aşağıda verildiği gibidir. Bu kısıt, bir öğrenci grubunun haftalık programında, model kapsamında atanması amaçlanan toplam ders saati kadar atama yapılmasını garantiler.

$$\sum_{m \in M_k} \sum_i \sum_j \sum_n x_{i,j,m,n} = a_k, \quad \forall k \quad (6)$$

Günlük Ders Yükü Kısıtları

Öğretimin kalitesi açısından bir öğrenci grubunun günlük alacağı ders saati sayısı üstten sınırlandırılmalıdır. Öğretim planına uyacak şekilde bu üst sınır 6 olarak belirlenmiş ve ilgili zorunlu kısıt (7) ile aşağıda verilmiştir.

$$\sum_j \sum_{m \in M_k} \sum_{n \in N_m} x_{i,j,m,n} \leq 6, \quad \forall i, \forall k \neq 4 \quad (7)$$

Öğrenci grubu 4, ders planına göre tek bir zorunlu ders ve üç adet bölüm seçimlik ders almakla yükümlüdür. Modelin kabullerinde de belirtildiği gibi, açılacak bölüm seçimlik derslerin sayısının olabildiğince fazla olması ve öğrencilerin yönelmek istedikleri alanlara uygun derslerin seçilmesine imkan sağlanması istenmektedir. Bu sebeple, Öğrenci grubu 4 sadece üç adet bölüm seçimlik ders almakla yükümlü olduğu halde oluşturulacak programa çok daha fazla sayıda ders yerleştirilmesi amaçlanmaktadır. Bu düşünceyle, günlük ders saati sayısını üstten sınırlayan (7) kısıtının Öğrenci grubu 4 için sağlanması uygun olmayacağından, bu kısıt $k = 4$ indisi için işletilmemektedir.

Ayrıca herhangi bir öğrenci grubunun haftalık ders programındaki her bir güne en az iki ders (veya buna karşılık 4 ders saati) atanması mümkün olduğu kadar sağlanmalıdır. Bu alt sınıra ait esnek kısıt (8) ile verilmiştir.

$$\sum_{m \in M_k} \sum_{n \in N_m} \sum_j x_{i,j,m,n} \geq 4 * y_{k,i}^1, \quad \forall i, \forall k \neq 4 \quad (8)$$

(8) kısıtının $y_{k,i}^1$ yardımcı değişkeni ile esnek yapıda oluşturulmasının sebebi, öğrenci gruplarına boş gün bırakılabilmesini engellemektir. (7) kısıtında, Öğrenci grubu 4 için yapılan açıklamalara paralel olarak, (8) kısıtının da öğrenci grubu 4 için işletilmediğine dikkat edilmelidir.

Ardışıklık Kısıtları

Tek bir derse ait iki ders saatinin art arda atanmasını garantileyen kısıt (9) ile aşağıda verildiği gibidir. Üniversitenin uygulama verilerinin alındığı bölümde hiçbir ders, bir ders saati uzunluğunda bir oturuma sahip olmadığından (9) kısıtı tüm dersler için geçerlidir.

$$-x_{i,j,m,n} + x_{i,j+1,m,n} - x_{i,j+2,m,n} \leq 0, \quad \forall i, j, m, \forall n \in N_m \quad (9)$$

(9) kısıtında $x_{i,j+1,m,n}$ ve $x_{i,j+2,m,n}$ değişkenlerinin zaman aralığı indisi j , bazı değerleri için kendi tanım kümesi dışına çıkmaktadır. Bu karışıklığı gidermek amacıyla ilgili indislere karşılık gelen değişkenler sıfır (0) olarak alınmıştır.

$\forall (j+1) \notin J$ için $x_{i,j+1,m,n} = 0$ ve $\forall (j+2) \notin J$ için $x_{i,j+2,m,n} = 0$

Üç ders saati uzunluğundaki bir oturumun art arda atanmasını garantileyen kısıt (10) ile aşağıda verildiği gibidir. Bu kısıt üç ders saatlik oturuma sahip olan dersler için geçerlidir.

$$-x_{i,j,m,n} + x_{i,j+1,m,n} - x_{i,j+3,m,n} \leq 0, \quad \forall i, j, \forall m \in \{h_{mp} = 3\}, \forall n \in N_m \quad (10)$$

(10) kısıtında da (9) kısıtında anlatıldığı gibi tanım kümesi dışına çıkan indislere karşılık gelen değişkenler sıfır (0) olarak alınmıştır.

Bir öğrenci grubunun günlük alacağı ders saati sayısı öğretim planına uyacak şekilde üstten 6 ile sınırlandırılmış ve bu sınır (7) ile belirlenmişti. (11) zorunlu kısıtı ise, bir öğrencinin herhangi bir günde sabah saatlerinde bir derse girdikten sonra aynı gün içerisinde başka bir derse girmek üzere uzun süre beklememesini sağlamaktadır.

Örneğin, bu kısıt sayesinde $j = 1$ zamanına bir atama yapılmışsa, $j = 7$ için bir atamanın yapılması engellenmiş olur. Yine bu kısıtta da tanım kümesi dışına çıkan indislere karşılık gelen değişkenler sıfır (0) olarak alınmıştır.

$$\sum_{m \in M_k} \sum_{n \in N_m} (x_{i,j,m,n} + x_{i,j+6,m,n}) \leq 1, \quad \forall i, \forall j, \forall k \neq 4 \quad (11)$$

Öğrenci grubu 4, ağırlıklı olarak yönelmek istedikleri alana uygun ders seçimleri yaptığından (11) kısıtında $k = 4$ indisi ihmal edilmiştir.

Oturum Kısıtları

Verilerin alındığı bölümde dersler 2 ila 5 arasında değişen ders saati uzunluğunda olup bu dersler sırasıyla 2, 3, 2+2, 3+2 ders saati şeklinde bir ya da iki oturumda işlenmektedir. Buna göre, oturum uzunluklarını veren h_{mp} parametreleri önceden belirlidir. Modelde, tek oturumda işlenen 2 ve 3 saatlik derslerin ikinci oturum uzunlukları (ilgili h_{m2}) sıfır olarak alınmıştır.

Buna göre, tek oturumda işlenen iki ya da üç saatlik derslerin kümesi

$$M^1 = \{m \in M \mid m \text{ dersi tek oturumda işlenmektedir } (h_{m2} = 0)\}$$

olmak üzere, bu dersler için oluşturulan oturum kısıtları şu şekildedir:

$$\sum_j x_{i,j,m,n} = y_{i,m,1,n}^2 * h_{m1} \quad \forall i, \forall m \in M^1, \forall n \in N_m \quad (12)$$

$$\sum_i \sum_{n \in N_m} y_{i,m,1,n}^2 = 1 \quad \forall m \in M^1 \quad (13)$$

(12), i gününde yapılan tek oturumlu m dersinin oturum uzunluğunun tanımlanan uzunlukta (h_{m1}) olmasını, (13) ise bir oturumun yapılmasını garantiler.

İki oturumda işlenen dersler kümesi

$$M^2 = \{m \in M \mid m \text{ dersi iki oturumda işlenmektedir } (h_{m2} \neq 0)\}$$

olmak üzere, bu dersler için oluşturulan oturum kısıtları şu şekildedir:

i gününde yapılan iki oturumlu bir m dersinin, ilgili gündeki oturum uzunluğunun tanımlanan uzunlukta (h_{mp}) olmasını garantileyen kısıt (14) ile aşağıda verildiği gibidir.

$$\sum_j x_{i,j,m,n} = \sum_p y_{i,m,p,n}^2 * h_{mp} \quad , \forall i, \forall m \in M^2, \forall n \in N_m \quad (14)$$

İki oturumlu bir dersin tüm oturumlarının yapılmasını garantileyen kısıt (15) ile aşağıda verildiği gibidir.

$$\sum_i \sum_p \sum_{n \in N_m} y_{i,m,p,n}^2 = 2 \quad , \forall m \in M^2 \quad (15)$$

Bir i gününde iki oturumlu bir m dersinin en fazla bir oturumunun yapılmasını garantileyen kısıt ise (16)'da verilmiştir.

$$\sum_{n \in N_m} \sum_p y_{i,m,p,n}^2 \leq 1 \quad \forall i, \forall m \in M^2 \quad (16)$$

İki oturumlu bir m dersinin oturumları arasında en az bir gün boşluk bırakılmasını sağlamaya çalışan kısıt (17) ile aşağıda verildiği gibidir. Bu kısıt, diğer oturum kısıtlarının aksine esnek yapıda bir kısıttır.

$$\sum_p \sum_{n \in N_m} (y_{i,m,p,n}^2 + y_{(i+1),m,p,n}^2) \leq 1 + y_{i,m}^3, \quad \forall i, \forall m \in M^2 \quad (17)$$

Çakışmama Kısıtları

Öğrenci grubu 3 için haftalık programda yer alacak derslerle, tüm bölüm seçimlik derslerin olabildiğince çakışmamasını sağlayan esnek kısıt aşağıda (18) ile verilmiştir.

$$\sum_{n \in N_m} x_{i,j,m,n} + \sum_{n \in N_m} x_{i,j,ms,n} \leq 1 + y_{i,j,m,ms}^4, \quad \forall i, \forall j, \forall m \in \dot{M}_3, \forall ms \in (MS \setminus \dot{M}_3) \quad (18)$$

Öğrenci grubu 2 ve 3 için haftalık programda yer alacak derslerin olabildiğince çakışmamasını sağlayan esnek kısıt aşağıda (19) ile verilmiştir.

$$\sum_{n \in N_m} x_{i,j,m,n} + \sum_{n \in N_{m'}} x_{i,j,m',n} \leq 1 + y_{i,j,m,m'}^5, \quad \forall i, \forall j, \forall m \in \dot{M}_2, \forall m' \in \dot{M}_3 \quad (19)$$

Laboratuvar Kısıtı

Verilerin alındığı bölümde iki adet bilgisayar laboratuvarı bulunmaktadır. Öğretim kalitesi ve ders bütünlüğü açısından laboratuvarda işlenen birden fazla oturuma sahip bir dersin daima aynı laboratuvarda işlenmesi gerekir. Çünkü genelde öğrenci, laboratuvarda kullandığı bilgisayarda daha önceki derslerinde oluşturduğu verileri, dosyaları kullanmaktadır. Oluşturulması amaçlanan haftalık ders programında, iki oturumda işlenen tek bir laboratuvar dersi bulunmaktadır. Buna göre (20) ve (21), hafta boyunca toplam ders saati dört olan ve 2+2 şeklinde iki oturumda işlenen ve \hat{m} ile gösterilecek bu laboratuvar dersinin, iki oturumunun da aynı laboratuvara atanmasını garantilemektedir.

$$\sum_i \sum_p y_{i,m,p,n}^2 = 2y_{m,n}^6, \quad , \quad m = \hat{m}, \forall n \in N_{\hat{m}}, \quad (20)$$

$$\sum_{n \in N_m} y_{m,n}^6 = 1, \quad , \quad m = \hat{m}, \quad (21)$$

Ön Belirleme Kısıtları

Aşağıda verilen (22) kısıtı, bir m dersinin, i gününün j . zaman aralığına ve n fiziki mekanına atanmasının haftalık ders programı oluşturulmadan önce belirlendiği durumlarda gerekli atamayı yapan kısıttır. Bu kısıt örneğin bir öğretim elemanının idari bir görevi olduğunda işletilebilir.

$$x_{i,j,m,n} = 1, \quad \forall (i, j, m, n) \in PRA_1 \quad (22)$$

Aşağıda verilen (23) kısıtı, bir m dersinin, i gününün j . zaman aralığına ve n fiziki mekanına atanmasının uygun olmadığı durumlarda işletilen kısıttır. Haftalık ders programı oluşturulmadan önce belirlenen, dış bölümler tarafından verilen dersler için ayrılan zaman

aralıkları veya bu derslere Bölüm kaynaklarından ayrılan derslik kısıtları bu yapıya örnek olarak verilebilir.

$$x_{i,j,m,n} = 0, \quad \forall (i, j, m, n) \in PRA_0 \quad (23)$$

Değişken Tipi Kısıtı

Karar değişkenlerinin tipini gösteren kısıttır. Karar değişkenlerinin hepsi ikili yapıdadır.

$$x_{i,j,m,n}, y_{k,i}^1, y_{i,m,p,n}^2, y_{i,m}^3, y_{i,j,m,ms}^4, y_{i,j,m,m'}^5, y_{m,n}^6 \in \{0,1\} \quad (24)$$

2.2.3. Amaç Fonksiyonu

Modelimizin maksimizasyon yönünde çalışan amaç fonksiyonu, yapılacak atamaların, olabildiğince öğretim kalitesini arttıracak ve üniversitenin ilgili Bölümünün/öğretim elemanlarının istekleri doğrultusunda hareket edecek nitelikte olmasını sağlamaktadır. Amaç fonksiyonu, öğretim elemanlarının 1-2-3 skalasından seçtikleri kabulüyle oluşturulan memnuniyet katsayılarını ve gün içindeki zaman aralıklarının tercih memnuniyet katsayılarını içermektedir. Bunun yanı sıra amaç fonksiyonunun her bir terimine atanan ağırlıklar da bulunmaktadır. Bu ağırlıklar, amaç fonksiyonunun her bir teriminin modele ait bir kısıtın sağlanma derecesi olarak yorumlanması sayesinde, sağlanması en çok arzu edilen kısıta karşılık gelen terime mutlak değerce en büyük katsayının atanması yoluyla oluşturulmuştur. Ayrıca bu ağırlıklar belirlenirken, bu ağırlıklarla çarpılan toplamsal ifadelerin büyüklükleri de dikkate alınarak bir dengeleme yapılmasına dikkat edilmiştir. Model, kısıtların önem sıralamasının ve derecesinin farklı olduğu herhangi başka bir uygulama için bu ağırlıklara farklı değerler atanmasına da imkan sağlamaktadır. Eğer istenirse amaç fonksiyonunun ilk terimine fiziki mekanların tercih edilme durumlarını yansıtan tercih ağırlıkları da dahil edilebilmektedir. Tüm bu ağırlıklar amacın, aynı zamanda bir esnek kısıt görevi görmesini sağlamak ve bu ağırlıklar sayesinde model, olabildiğince en yüksek katsayıların bulunduğu gün ve zaman aralıklarına atama yapmaya çalışarak tatmin seviyesi yüksek uygun bir çözüm elde edilmesini sağlamaktadır. Bu anlatılanlar doğrultusunda modelin amaç fonksiyonu;

$$\begin{aligned} \max z = & \sum_i \sum_j \sum_m \sum_n (p_1 * w_{mi}^l + p_2 * w_j) x_{i,j,m,n} - p_3 * \sum_i \sum_j \sum_{m \in M_3} \sum_{ms \in (MS \setminus M_3)} y_{i,j,m,ms}^4 \\ & - p_4 * \sum_i \sum_j \sum_{m \in M_2} \sum_{m' \in M_3} y_{i,j,m,m'}^5 - p_5 * \sum_i \sum_{m \in M^2} y_{i,m}^3 \\ & + p_6 * \sum_{k \in (K \setminus \{4\})} \sum_i y_{k,i}^1 \end{aligned} \quad (25)$$

ile verilir. Özetle, (25) ile verilen amaç fonksiyonu, yapılacak atamaların, olabildiğince öğretim kalitesini arttıracak ve bölümün/öğretim elemanlarının istekleri doğrultusunda hareket edecek nitelikte olmasını, amaç fonksiyonundaki ağırlık katsayıları ise amacın bir esnek kısıt görevi görmesini sağlamaktadır.

(25) ile verilen amaç fonksiyonunun her bir terimi modele ait bir kısıtın sağlanma derecesi olarak yorumlanabilir. Örneğin, öğrenci grubu 2 ve öğrenci grubu 3'e ait derslerin olabildiğince çakışmamasını sağlayan esnek kısıta karşılık gelen amaç fonksiyonunun 3. teriminin sıfır (0) olması, bu öğrenci gruplarının dersleri arasında hiçbir çakışma olmaması başka bir ifadeyle bu esnek kısıtın %100 sağlanması anlamına gelmektedir. Bu mantıkla p_1 , p_2 , p_3 , p_4 , p_5 ve p_6 ağırlıkları, sağlanması en çok arzu edilen kısıta mutlak değerce en yüksek rakamsal birimin atanması kuralı esas alınarak oluşturulur. Ayrıca bu ağırlıklar belirlenirken, bu ağırlıklarla çarpılan toplamsal ifadelerin büyüklükleri

de dikkate alınarak bir dengeleme yapılmasına dikkat edilir. Örneğin, (25)'in ilk terimindeki w_j ağırlığı gün içerisindeki zaman aralıkları, wl_{mi} ise öğretim elemanı l 'nin vereceği her bir m dersinin tüm i günleri için tanımlayacağı tercih ağırlıklarıdır. Bu iki ağırlık arasında gün seçimi daha önemli kabul edildiğinden bunların katsayıları sırasıyla $p_1=1$ ve $p_2=0.5$ olarak alınmıştır. Ayrıca eğer istenirse amaç fonksiyonunun ilk terimine sınıfların tercih edilme durumlarını yansıtan \bar{w}_n tercih ağırlıkları da dahil edilebilir. Bu anlatılanlar esas alınarak, çalışmamız kapsamında yapılan uygulama için oluşturulan diğer ağırlıklar $p_3=10$, $p_4=5$, $p_5=50$ ve $p_6=100$ 'dür. Bu ağırlıklar Bölüm yetkililerinin sağlanmasını istedikleri koşullara ait önem derecelerine göre karar verici ile etkileşimli şekilde atanmıştır. Örneğin yetkililer, öğrencilerin tek bir ders için okula gelmemelerinin sağlanmasına ve dolayısıyla boş güne sahip olma olasılıklarının yükseltilmesine en büyük önemi verdiklerini belirtmişler, buna paralel olarak ilgili p_6 ağırlığı oldukça büyük seçilmiştir. Seçilen ağırlık değerine karşı karar verici önem belirttiği koşulun sağlanma derecesinden memnun değilse ilgili ağırlığın değiştirilmesi yoluna gidilmiştir. Özetle, bu ağırlıklar amaç fonksiyonundaki her bir terimin anlamı ve karar vericinin tercihleri göz önünde bulundurularak başka bir uygulama için farklı değerler alabilmekte, karar vericinin isteklerine bağımlı olarak belirlenmektedir.

Tablo 1 Memnuniyet Katsayı Değerleri Skalası

Memnuniyet Katsayı Değerleri	
Değer	Memnuniyet
1	En Az
2	Orta
3	En Çok

Memnuniyet katsayı değerleri olarak da adlandırılabilen bu ağırlıklar modelimizde 1,2,3 skalasından seçilmiştir (Tablo 1). Modelde oluşturulan amaç fonksiyonu maksimizasyon yönünde çalıştığından 3 skoru en çok, 1 skoru ise en az tercih edilen durumu temsil etmektedir. Modelde yer alan esnek kısıtları oluşturmak için kullanılan yardımcı değişkenler $y_{i,j,m,ms}^4$, $y_{i,j,m,m'}^5$, $y_{i,m}^3$ ve $y_{k,i}^1$ 'dir. Bu değişkenler de ilgili esnek kısıtların olabildiğince sağlanması amacıyla amaca dahil edilmelidir. Bunlardan $y_{i,j,m,ms}^4$, $y_{i,j,m,m'}^5$, $y_{i,m}^3$ olabildiğince 0 yapılmak istenen değişkenlerdir. Amaç maksimizasyon olduğundan bu değişkenlerin amaç fonksiyon katsayıları negatif iken $y_{k,i}^1$ değişkeni ise 1 yapılmak istendiğinden amaç fonksiyon katsayısının işareti pozitifdir. Burada her bir yardımcı değişken bir esnek kısıta karşılık geldiğinden bu yardımcı değişkenlerin mutlak değer olarak katsayı büyüklüklerinin seçimi çok önemlidir. Hangi esnek kısıta en çok önem verilirse bu kısıtın katsayısı mutlak değerce daha büyük seçilmelidir. $y_{k,i}^1$ yardımcı değişkeni, $k(k=1,2,3)$ öğrenci grubunun her bir i gününe en az iki farklı ders (toplam 4 ders saati) atanmasını sağladığından oldukça önemli bir kısıttır. İlgili kısıtın yapısı esnek de olsa oluşacak haftalık ders programının kalitesi açısından %100'e yakın sağlanması amaçlanır. Bu nedenle bu değişkene mutlak değerce en büyük katsayı atanması yapılmıştır. $y_{i,m}^3$ değişkeni; iki oturumlu derslerin oturumları arasında en az bir gün boşluk bırakılmasını sağlamaya çalışan kısıta, $y_{i,j,m,ms}^4$, $y_{i,j,m,m'}^5$ değişkenleri ise sırasıyla

öğrenci grubu 3'ün tüm dersleri – öğrenci grubu 4'ün bölüm seçimlik dersleri ve öğrenci grubu 2'nin – öğrenci grubu 3'ün tüm derslerinin olabildiğince az çakışmasını sağlayan kısıtlara karşılık gelmektedir. Bu kısıtlar arasında tercih edilen önem sırasına göre ilgili katsayılar (25)'de görüldüğü gibi belirlenmiştir.

3. Modelin uygulaması

Üniversitenin hafta içi beş gün, sabah 08.00 ile akşam 18.00 saatleri arasında toplam on farklı zaman aralığında öğretim yapılan bölümde, dört öğrenci grubu ve dokuz adet fiziki mekân bulunmaktadır. Uygulama kapsamında sadece lisans öğrencilerine verilecek olan derslerin yer aldığı tek bir yarıyıla (Güz veya Bahar) ait haftalık ders programını istenen kısıtlara göre olabildiğince en yüksek tatmin düzeyinde oluşturmak hedeflenmiştir. Bölümün bünyesindeki Yüksek Lisans – Doktora programlarının ve Matematik Bölümü tarafından üniversite geneline verilen servis derslerinin (Matematik 1, Matematik 2, Lineer Cebir, Diferansiyel Denklemler) çizelgelenmesi çalışmamız kapsamı dışında tutulmuştur. Çalışmamızda asıl amaçlanan, haftalık ders programı oluşturma aşamalarında karşılaşılan özel durum ve istekler ile kit kaynak durumlarının problemin modeline nasıl yansıtılacağını göstermek ve sadece lisans öğrencilerine verilecek olan haftalık ders programının el ile değil matematiksel bir model aracılığıyla oluşturulmasını sağlamaktır.

Bölümün lisans öğretimine ele alınan yarıyıla ait ders planı Tablo 2'de verilmiştir. Tablo 2'de her bir dersin yanında yer alan K, T, U, L harfleri sırasıyla bir dersin kredisini ve o derse ait teorik, uygulama ve laboratuvar ders saati sayısını göstermektedir.

Tablo 2 Matematik Bölümü Ders Planı

ÖĞRENCİ GRUBU 1				
DERS ADI	K	T	U	L
Matematik Analiz 2	5	4	2	0
Analitik Geometri	3	2	2	0
Soyut Matematik	2	2	0	0
Fizik 2	4	3	0	2
İleri İngilizce 2	3	3	0	0
Türkçe 2	2	2	0	0
Atatürk İlke ve İnkılap Tarihi 2	2	2	0	0
Bilgisayar Programlamaya Giriş	2	1	2	3
ÖĞRENCİ GRUBU 2				
DERS ADI	K	T	U	L
Matematik Analiz 4	5	4	2	0
Kısmi Türevli Dif. Denk.	3	3	0	0
Cebir 2	4	4	0	0
Olasılık ve İstatistik	3	2	2	0
Mesleki İngilizce 1	2	2	0	0
Bilgisayar Programlama 2	3	2	2	0

ÖĞRENCİ GRUBU 3				
DERS ADI	K	T	U	L
Kompleks Fonk. Teo. 1	4	4	0	0
Diferansiyel Geo	4	4	0	0
Fonksiyonel Analiz	4	4	0	0
İş Hayatı için İngilizce	2	2	0	0
Bölüm Seçimlik	3	3	0	0
ÖĞRENCİ GRUBU 4				
DERS ADI	K	T	U	L
Topoloji	4	4	0	0
Bitirme Ödevi	6	3	6	0
Bölüm Seçimlik	3	3	0	0
Bölüm Seçimlik	3	3	0	0
Bölüm Seçimlik	3	3	0	0

Tablo 2’de görüldüğü üzere, öğrenci grubu 1’e ait dört zorunlu, dört servis dersi, öğrenci grubu 2’ye ait altı zorunlu, öğrenci grubu 3’e ait dört zorunlu, bir bölüm seçimlik ve öğrenci grubu 4’e ait bir zorunlu ve üç bölüm seçimlik ders bulunmaktadır. İlgili yarıyılta Bölüm, Ders Bildirim Formları’nın değerlendirilmesi sonucunda on bir (11) adet bölüm seçimlik dersin açılması kararını almıştır. Açılmasına karar verilen Bölüm Seçimlik derslerin kümesi;

$$MS = \left\{ \begin{array}{l} \text{Halkalar ve Modüller, Sigorta Matematiği,} \\ \text{Lineer Operatörlere Giriş, Hilbert Uzaylarına Giriş,} \\ \text{Değişmeli Cebir, Nümerik Analiz 2, Lineer Cebir 2,} \\ \text{Kodlama Teorisine Giriş, Diferansiyel Denklemler 2,} \\ \text{Graf Teoriye Giriş, Klasik Matris Gruplarına Giriş} \end{array} \right\} \quad (26)$$

ve buna bağlı olarak oluşturulan, haftalık ders programına atanması amaçlanan tüm derslerin kümesi ise;

$$M = \left\{ \begin{array}{l} \text{Matematik Analiz 2, Analitik Geometri, Soyut Matematik,} \\ \text{Bilgisayar Programlamaya Giriş, Matematik Analiz 4,} \\ \text{Kısmi Türevli Diferansiyel Denklemler, Cebir 2,} \\ \text{Olasılık ve İstatistik, Mesleki İngilizce 1, Bilgisayar Programlama 2,} \\ \text{Kompleks Fonksiyonlar Teorisi 1, Diferansiyel Geometri, Fonksiyonel Analiz,} \\ \text{İş Hayatı için İngilizce, Topoloji, Halkalar ve Modüller, Sigorta Matematiği,} \\ \text{Lineer Operatörlere Giriş, Hilbert Uzaylarına Giriş, Değişmeli Cebir,} \\ \text{Nümerik Analiz 2, Lineer Cebir 2, Kodlama Teorisine Giriş,} \\ \text{Diferansiyel Denklemler 2, Graf Teoriye Giriş, Klasik Matris Gruplarına Giriş} \end{array} \right\} \quad (27)$$

’dir. Bu dersler, gösterimde kolaylık olması açısından m, \bar{m} ’deki veri sırasına göre isimlendirilecektir.

Buna göre sayısal örneğe ait indis kümeleri aşağıdaki gibidir:

i : Gün indisi	$i \in I = \{1, 2, \dots, 5\}$
j : Zaman aralığı indisi	$j \in J = \{1, 2, \dots, 10\}$
k : Öğrenci grubu indisi	$k \in K = \{1, 2, \dots, 4\}$
l : Öğretim elemanı indisi	$l \in L = \{L1, L2, \dots, L18\}$
n : Fiziki mekan indisi	$n \in N = \{N1, N2, \dots, N7, Lab1, Lab2\}$
p : Derse ait oturum sayısı indisi	$p \in P = \{1, 2\}$
m, m' : Ders indisi	$m, m' \in M = \{M1, M2, \dots, M26\}$
ms : Seçmeli ders indisi	$ms \in MS = \{M16, M17, \dots, M26\}$

Tablo 2'de koyu olarak gösterilen dersler haftalık ders programı belirlenmeden önce ataması yapılan derslerdir. Görüldüğü gibi bu dersler, ele alınan yarıyılın haftalık ders programında çoğunlukla *öğrenci grubu 1'in* programında bulunmaktadır. Haftalık ders programı oluşturulmadan önce bölüme bildirilen bu derslerin ait oldukları gün ve zaman aralıkları Tablo 3'te verilmiştir. Koyu olarak gösterilen ancak atama yapılmayacak olan ders *Bitirme Ödevi'dir*. Bu derse haftalık ders programında bir atama yapılmamaktadır.

Tablo 3'te verilen *Türkçe 2, İleri İngilizce 2, Atatürk İlkeleri ve İnkılap Tarihi 2* dersleri Matematik Bölümü'nün dersliklerinde değil, dersleri veren dış bölümlerin dersliklerinde verilmektedir. Bu sebeple bu üç ders Matematik Bölümü'nün fiziki kaynaklarını kısıtlamamakta, sadece ilgili derslerin ait olduğu *öğrenci grubu 1'in* zamanlarını kısıtlamaktadır. *Fizik 2* dersinin ise bölüme ait olan *N1* dersliğinde yapılması planlanmıştır. Bu ders hem bölümün fiziki kaynaklarını hem de ilgili öğrenci grubunun zamanını kısıtlamaktadır. Bütün bu anlatılan kısıtlamalar haftalık ders programı oluşturulmadan önce belirlendiği için birer Ön Belirleme kısıtı olarak nitelendirilirler. Buna göre bu ön belirlemeleri tanımlayan PRA_0 kümesine dâhil edilmesi gereken indisler aşağıda verilmiştir:

Fizik 2 dersinin Pazartesi günü 09.00-11.50 zaman aralığında *N1* dersliğinde yapılması durumu için tanımlanan indisler:

$\forall m \in M$ olmak üzere

$$(Pazartesi, 2, m, N1), (Pazartesi, 3, m, N1), (Pazartesi, 4, m, N1) \in PRA_0$$

Türkçe 2 dersinin Pazartesi günü 13.00-14.50 zaman aralığında, *Atatürk İlkeleri ve İnkılap Tarihi 2* dersinin Salı günü 10.00-11.50 zaman aralığında, *İleri İngilizce 2* dersinin Salı günü 13.00-15.50 zaman aralığında yapılması durumu için tanımlanan indisler:

$\forall n \in N, \forall m \in \dot{M}_1$ olmak üzere

$$(Pazartesi, 6, m, n), (Pazartesi, 7, m, n), (Salı, 3, m, n), (Salı, 4, m, n), (Salı, 6, m, n), \\ (Salı, 7, m, n), (Salı, 8, m, n) \in PRA_0$$

Görüldüğü gibi, öğrenci grubu 1'in Pazartesi ve Salı 5'er ders saati yükü bulunmaktadır.

Çalışmamız kapsamında oluşturulan modelde günlük ders saati yükünün üst sınırı 6 olarak kabul edildiğinden, öğrenci grubu 1 için Pazartesi ve Salı günlerine daha fazla atama yapılmasına müsaade edilmemektedir. Bu durum PRA_0 kümesine aşağıdaki indislerin dâhil edilmesi ile modele yansıtılır:

$$\forall j \in J, \forall m \in \dot{M}_1, \forall n \in N \text{ olmak üzere } (Pazartesi, j, m, n), (Salı, j, m, n) \in PRA_0$$

Tablo 3 Dış Bölümlerden Programa Ataması Yapılan Dersler

Zaman Aralığı	GÜNLER				
	Pazartesi	Salı	Çarşamba	Perşembe	Cuma
8.00-8.50					
9.00-9.50	Fizik 2 N1				
10.00-10.50		Atatürk İlkeleri ve İnkılap Tarihi 2			
11.00-11.50					
12.00-12.50					
13.00-13.50	Türkçe 2	İleri İngilizce 2			
14.00-14.50					
15.00-15.50					
16.00-16.50					
17.00-17.50					

Sonuç olarak, model kapsamında atanması istenen on beş adet zorunlu ders ve on bir adet seçimsiz ders bulunmaktadır. Zorunlu derslerden iki tanesi sadece laboratuvarlarda, diğer tüm dersler ise dersliklerde yapılmaktadır. Derslikler ve laboratuvarlardan biri haftanın beş günü tüm zaman aralıklarında ($j=1,2,\dots,10$) bölümün kullanımına açık iken, diğer laboratuvarın kullanım zamanları kısıtlıdır. Bu laboratuvar, perşembe ve cuma günleri tam zamanlı, çarşamba günü ise öğleden sonra ($j=6,7,8,9,10$) kullanıma açıktır.

Oluşturulması istenen haftalık ders programında yer alacak dersler, bu dersleri verecek olan öğretim elamanları ve ilgili derse uygun olan fiziki mekânlar Çizelge 4'te, bu fiziki mekânların kullanıma açık olduğu gün ve zaman aralıkları ise Tablo 5'te görüldüğü gibidir. Tüm öğretim üyelerine kendi verecekleri dersler için Tablo 1'de verilen skalaya göre gün tercih katsayıları belirlenmesi istenmiş, alınan yanıtlara göre oluşturulan w_{mi}^l değerleri Tablo 6'da verilmiştir. Burada, bu değerlerin l ve i indislerine bağlı olarak verildiğine, başka bir ifadeyle birden fazla ders verecek olan tüm öğretim üyelerinin kendi derslerine aynı ağırlıkları atadığına dikkat edilmelidir. Haftalık ders programındaki j zaman aralıkları için atanan tercih ağırlıkları Tablo 7'de görülmektedir. Bu ağırlıklar, ilgili üniversitenin bulunduğu konum, ulaşım imkanları, öğle arası ihtiyacı gibi durumlar göz önüne alınarak belirlenmiştir. Her bir derse ait oturum boyutları ise Tablo 8'deki gibidir. Buna göre, Tablo 2'den M_k , Tablo 4'ten M_l , \bar{M}_n ve N_m , Tablo 5'ten ise \bar{I}_n ve IJ_n kümeleri, Tablo 2'den b_m ve a_k , Tablo 3 ve 4'den s_l , Tablo 6'dan w_{mi}^l , Tablo 7'den w_j , Tablo 8'den h_{mp} parametreleri oluşturulmuştur.

Tablo 4 Ders Koşulları

Dersin Adı	Dersi Veren Öğretim Elemanı	Derse Uygun Olan Fiziki Mekanlar
Analiz 2 (M1)	L4	N2, N5, N6, N7
Analitik Geo. (M2)	L1	N1, N2, N6, N7
Soyut Mat. (M3)	L2	N3, N4, N6
Bilg. Prog. Gir. (M4)	L3	Lab1, Lab2
Mat. Analiz 4 (M5)	L8	N4, N5, N6
Kısmi Türevli Dif. Denk. (M6)	L10	N1, N4, N6
Cebir 2 (M7)	L7	N1, N4, N5, N6
Olasılık Ve İstatistik (M8)	L6	N1, N2, N3, N4, N5, N6
Mesleki İng. (M9)	L9	N3, N4, N5, N7
Bilg. Prog. 2 (M10)	L5	Lab1, Lab2
Komp. Fonk. Teo. (M11)	L11	N1, N2, N5, N6
Dif. Geo. (M12)	L1	N1, N3, N5, N6
Fonk. Analiz (M13)	L12	N3, N4
İş Hayatı İçin İng. (M14)	L9	N1, N2, N3, N4, N5
Halkalar Ve Modüller (M15)	L13	N3, N4, N5
Topoloji (M16)	L17	N3, N5
Sigorta Mat. (M17)	L6	N1, N2, N3, N4, N5
Lineer Op. Gir. (M18)	L11	N3, N4, N7
Hilbert Uzay. Gir. (M19)	L12	N3, N4
Değişmeli Cebir (M20)	L14	N3, N4, N5, N7
Nümerik Analiz 2 (M21)	L15	N3, N4, N5, N7
Lineer Cebir 2 (M22)	L16	N3, N4, N5, N7
Kodlama Teo. Gir. (M23)	L16	N3, N5
Dif. Denk. 2 (M24)	L17	N3, N5
Graf Teo. Gir. (M25)	L18	N3, N4, N5
Klasik Mat. Gr. Gir. (M26)	L4	N4, N5

Tablo 5 Fiziki Mekân Koşulları

Fiziki Mekân Adı	Fiziki Mekanın Kullanıma Açık Olduğu Gün ve Zaman Aralıkları
N1, N2, N3, N4, N5, N6, N7, Lab1	5 Gün 10 Zaman Aralığında
Lab2	2 Gün (Perşembe ve Cuma) 10 Zaman Aralığında & 1 Gün (Çarşamba) 5 Zaman Aralığında

Tablo 6 Dersler İçin Gün Tercih Ağırlıkları

Öğretim Elemanı	Günler				
	Pazartesi	Salı	Çarşamba	Perşembe	Cuma
L1	2	1	1	3	3
L2	2	1	3	3	2
L3	1	2	1	3	1
L4	2	1	3	1	3
L5	3	1	3	2	1
L6	1	1	3	3	1
L7	3	1	1	3	2
L8	2	1	3	3	3
L9	3	1	1	3	3
L10	1	1	3	1	1
L11	3	1	1	3	3
L12	3	1	2	3	1
L13	1	3	3	1	3
L14	2	3	3	2	1
L15	1	3	3	2	2
L16	3	3	1	1	2
L17	3	1	3	1	3
L18	1	3	1	2	3

Tablo 7 Zaman Aralıkları Tercih Ağırlıkları

Zaman Aralığı	Atanan Tercih Ağırlığı
1	0
2	2
3	3
4	3
5	2
6	3
7	3
8	3
9	2
10	1

Tablo 8 Oturum Boyutları

Ders	Oturum Boyutları	
	1. Oturum	2. Oturum
Analiz 2 (M1)	2	3
Analitik Geo. (M2)	2	2
Soyut Mat. (M3)	2	0
Bilg. Prog. Gir. (M4)	3	0
Mat. Analiz 4 (M5)	2	3
Kısmi Türevli Dif. Denk. (M6)	3	0
Cebir 2 (M7)	2	2
Olasılık Ve İstatistik (M8)	2	2
Mesleki İng. (M9)	2	0
Bilg. Prog. 2 (M10)	2	2
Komp. Fonk. Teo. (M11)	2	2
Dif. Geo. (M12)	2	2
Fonk. Analiz (M13)	2	2
İş Hayatı İçin İng. (M14)	2	0
Halkalar Ve Modüller (M15)	3	0
Topoloji (M16)	2	2
Sigorta Mat. (M17)	3	0
Lineer Op. Gir. (M18)	3	0
Hilbert Uzay. Gir. (M19)	3	0
Değişmeli Cebir (M20)	3	0
Nümerik Analiz 2 (M21)	3	0
Lineer Cebir 2 (M22)	3	0
Kodlama Teo. Gir. (M23)	3	0
Dif. Denk. 2 (M24)	3	0
Graf Teo. Gir. (M25)	3	0
Klasik Mat. Gr. Gir. (M26)	3	0

Bölüm, öğretim elemanlarından L1'in salı günleri katılması gereken bazı toplantıları olması ve idari bir göreve sahip olması nedeniyle kendisinin salı gününün boş bırakılması kararını almıştır. Buna göre L1 öğretim elemanına salı günü atama yapılmasını engelleyen ön belirleme kısıtı için tanımlanan indisler PRA_0 kümesine dâhil edilmiştir. $I_{L1} = \{\text{Salı}\}$ olmak üzere bu indisler şu şekildedir:

$$\forall i \in I_{L1}, \forall j \in J, \forall n \in N, \forall m \in M_{L1} \text{ olmak üzere } (i, j, m, n) \in PRA_0$$

Aynı şekilde yine bölümün aldığı karar üzerine öğretim elemanlarından L10'un verdiği Kısmi Türevli Diferansiyel Denklemler (M6) dersinin mutlaka çarşamba günü 10.00 ile 12.50 ($j = 3, 4, 5$) arasında yapılması için bir ön belirleme kısıtı oluşturulmuştur. Buna göre bu ön belirlemeyi tanımlayan PRA_1 kümesine dâhil edilmesi gereken indisler aşağıda verilmiştir:

$$(\text{Çarşamba}, 3, M6, N4), (\text{Çarşamba}, 4, M6, N4), (\text{Çarşamba}, 5, M6, N4) \in PRA_1 .$$

Böylece modele ait tüm kümeler ve parametreler tanımlanmıştır. Bölümün tüm kabul ve koşullarına dayanarak oluşturulan modelin amacı, $m \in M$ derslerinin haftalık ders programına en yüksek tatmini verecek şekilde atanmasını sağlamaktır.

Buna göre, (1) - (25)'e karşılık gelen ikili lineer programlama yapısındaki model kurulmuş ve GAMS paket programı kullanılarak model çözülmüştür. Üretilen optimal çözüme Tablo 9'da verilmiştir.

Tablo 9 Dış Bölüm Atamaları Sonrası Matematik Bölümü Atamaları

MATEMATİK BÖLÜMÜ HAFTALIK DERS PROGRAMI						
GÜN	ZAMAN ARALIĞI	ÖĞRENCİ GRUBU 1	ÖĞRENCİ GRUBU 2	ÖĞRENCİ GRUBU 3	ÖĞRENCİ GRUBU 4	
PAZARTESİ	08.00-08.50					
	09.00-09.50	Fizik 2 N1	Bilg. Prog. 2 Lab1		Lineer Cebir 2 N4	
	10.00-10.50					
	11.00-11.50					
	12.00-12.50		Olasılık ve İst. N1	İş Hayatı İçin İng. N4	Kodlama Teo. Gir N5	
	13.00-13.50					
	14.00-14.50	Türkçe 2				
	15.00-15.50			Dif Geo N6		
	16.00-16.50					
17.00-17.50						
SALI	08.00-08.50					
	09.00-09.50		Analiz 4 N5		Değişmeli Cebir N4	
	10.00-10.50	Atatürk İlke ve İnkılap Tarihi 2				
	11.00-11.50			Fonk. Analiz N3		
	12.00-12.50					
	13.00-13.50	İleri İngilizce 2	Cebir 2 N4			
	14.00-14.50					
	15.00-15.50			Komp. Fonk. Teo. N1		
	16.00-16.50					
17.00-17.50						
ÇARŞAMBA	08.00-08.50					
	09.00-09.50	Analiz 2 N6	Kısmi Türevli Dif. Denk. N4		Nümerik Analiz 2 N7	
	10.00-10.50	Analitik Geo. N2				
	11.00-11.50		Bilg. Prog. 2 Lab1	Dif. Geo. N6	Dif. Denk. 2 N5	
	12.00-12.50					
	13.00-13.50			Halkalar Ve Modüller N5	Topoloji N3	
	14.00-14.50					
	15.00-15.50					
	16.00-16.50					
17.00-17.50						
PERŞEMBE	08.00-08.50			BOŞ GÜN		
	09.00-09.50					
	10.00-10.50	Soyut Mat 1 N3				Sigorta Mat N2
	11.00-11.50					
	12.00-12.50					
	13.00-13.50	Bilg. Prog. Gir. Lab1	Olasılık ve İst. N5			Hilbert Uzaylarına Gir. N3
	14.00-14.50					
	15.00-15.50		Cebir 2 N5			Lineer Op. Gir. N7
	16.00-16.50					
17.00-17.50						
CUMA	08.00-08.50					
	09.00-09.50				Klasik Mat. Grup. Gir. N5	
	10.00-10.50	Analitik Geo N7	Analiz 4 N4		Graf Teo. N3	
	11.00-11.50					
	12.00-12.50		Mesleki İng. N4	Komp. Fonk. Teo. N2	Topoloji N5	
	13.00-13.50					
	14.00-14.50	Analiz 2 N7				
	15.00-15.50					
	16.00-16.50					
17.00-17.50			Fonk. Analiz N3			

Çalışmamız kapsamında ÜDZÇP için önerilen modelin çözümü ile elde ettiğimiz ders programı ve Tablo 5 göz önüne alınırsa derslerin atandığı günlerin tercih katsayılarıyla uyumlu olduğu ve atamaların çoğunlukla en yüksek skorun verildiği günlere atandığı dolayısıyla öğretim elemanlarının gün tercih isteklerini maksimum derecede tatmin eden bir program elde edildiği görülmektedir. Atamaların bir kısmının öğretim elemanlarının gün tercih isteklerinden maksimum skorlu olanlara yapılmamasının nedeni programın iki oturumlu dersler arasındaki en az bir gün olması istenen boşluğa ve belirlenen bazı öğrenci grupları arasındaki derslerin çakışmamasına dikkat etmesidir. İki oturumlu olan tüm derslerin farklı oturumları arasında en az bir gün bırakılmış, Bilgisayar Programlama 2 dersinin her iki oturumu da Lab1 dersliğine atanmıştır. Bu iki durum da öğrenci açısından programın kalitesini arttıran özelliklerdir. Aynı zamanda öğrenci grubu 2'nin Analiz4 ile Kısmi Türevli Dif. Denk. dersleri öğrenci grubu 3'ün hiçbir dersi ile çakışmamaktadır ve ayrıca öğrenci grubu 3'ün tüm dersleri ile öğrenci grubu 4'ün Lineer Cebir, Değişmeli Cebir, Nümerik Analiz, Sigorta Mat., Hilbert Uzaylarına Gir., Klasik Mat. Grup. Gir., Graf Teo. derslerinin çakışmaması sağlanmıştır. Tüm bu durumlar öğrencilere alt veya üst sınıftan ders alma imkanı vermiştir.

4. Sonuçlar

Çalışmamızda, haftalık ders programı oluşturma aşamalarında karşılaşılan özel durum ve istekler ile kit kaynak durumlarının problemin modeline nasıl yansıtılacağını göstermek ve haftalık ders programının el ile değil matematiksel bir model aracılığıyla oluşturulmasını sağlamak amaçlanmıştır. Bu amaçla yurt içi bir Üniversitenin Matematik bölümünde karşılaşılan ÜDZÇP, ikili tamsayı programlama olarak modellenmiş ve bir paket program aracılığıyla çözülmüştür. Modelimiz ilgili Matematik bölümünün sadece Lisans öğrencilerine ait haftalık ders programını oluşturmaya yönelik olup, Matematik bölümü tarafından verilen servis derslerinin atamasını içermemektedir. Model, lisansüstü öğrenciler ve servis derslerinin verileceği diğer öğrenci gruplarının öğrenci grubu kümesine dahil edilmesi yoluyla ve tek bir bölümün değil, bir fakülteye ve hatta bir üniversiteye ait birçok bölümün atamalarını kapsayacak şekilde de genişletilebilme imkanına sahiptir. Ayrıca modelimizde öğrenci grupları ve öğretim üyeleri arasındaki memnuniyet dengesinin kurulması ve derslerin arasında makul bekleme sürelerinin olması dikkate alınmamıştır. Anlatılan bu durumlar önerilen ÜDZÇP modelinin gelişmesine ve gerçek hayata uyarlanmasına önemli katkılar sağlayabilir.

Referanslar

- [1] E.K. Burke, D.G. Elliman, R.F. Weare, A University Timetabling System Based on Graph Colouring and Constraint Manipulation. *Journal of Research on Computing in Education*, 27, 1-18 (1994).
- [2] E.K. Burke, S. Petrovic, Recent Research Directions in Automated Timetabling. *Journal of Research on Computing in Education*, 140, 266-280 (2002).
- [3] S. Petrovic, E.K. Burke, "University Timetabling", in J.Y-T, Leung (Ed.), *Handbook of Scheduling: Algorithms, Models, and Performance Analysis*, Chapman & Hall, University of Nottingham, Jubilee Campus, Nottingham NG8 1BB, UK, 2004, Part VI.
- [4] S. Daskalaki, T. Birbas, E. Housos, An Integer Programming Formulation For A Case Study in University Timetabling. *European Journal of Operational Research*, 153, 117-135 (2004).
- [5] D. Werra, An Introduction to Timetabling. *European Journal of Operational Research*, 19, 151-162 (1985).

- [6] S.A. MirHassani, A Computational Approach to Enhancing Course Timetabling with Integer Programming. *Applied Mathematics and Computation*, 175, 814-822 (2006).
- [7] M.N.M. Kahar, G. Kendall, The Examination Timetabling Problem at Universiti Malaysia Pahang: Coparison of A Constructive Heuristic with An Existing Software Solution. *European Journal of Operational Research*, 207, 557-565 (2010).
- [8] E.A. Akkoyunlu, A Linear Algorithm For Computing The Optimum University Timetable. *The Computer Journal*, 16, 4, 347-350 (1973).
- [9] J. Dinkel, J. Mote, M.A. Venkataramanan, An Efficient Desicion Support System For Academic Course Scheduling. *Operations Research*, 37, 6, 853-864 (1989).
- [10] M.A. Badri, D.L. Davis, D.F. Davis, J. Hollingsworth, A Multi-Objective Course Scheduling Model: Combining Faculty Preferences For Courses And Times. *Computers and Operations Research*, 25, 303-316 (1998).
- [11] S. Deris, S. Omatu, H. Ohta, Timetable Planning Using The Constarint-Based Reasoning. *Computers & Operations Research*, 27, 819-840 (2000).
- [12] S. Daskalaki, T. Birbas, Efficient Solutions for A University Timetabling Problem Through Integer Programming. *European Journal of Operational Research*, 160, 106-120 (2005).
- [13] S.M. Al-Yakoob, H.D. Sherali, Mathematical Programming Models and Algorithms For A Class-Faculty Assignment Problem. *European Journal of Operational Research*, 173, 488-507 (2005).
- [14] U. Baç, Akademik Ders Programlarının Yapılması Probleminin Matematiksel Modeller ve Algoritmalarla Çözümü ve Uygulanması, *Yüksek Lisans Tezi*, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Hacettepe Üniversitesi, 2007.
- [15] V. Cacchiani, A. Caprara, R. Roberti, P. Toth, A New Lower Bound for Curriculum-Based Course Timetabling. *Computers & Operations Research*, 40, 2466-2477 (2013).
- [16] J. Hao, U. Benlic, Lower bounds for the ITC-2007 curriculum-based course time-tabling problem. *European Journal of Operational Research*, 212, 3, 464-472 (2011).
- [17] R. Özdemir, Üniversite Ders Zaman Çizelgeleme Problemi, *Yüksek Lisans Tezi*, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yıldız Teknik Üniversitesi, 2012.