T.C.
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ÜNİVERSİTE DERS ZAMAN ÇİZELGELEME PROBLEMİ

RUMEYSA ÖZDEMİR

YÜKSEK LİSANS TEZİ
MATEMATİK ANABİLİM DALI

DANIŞMAN
PROF. DR. MEHMET AHLATCIOĞLU

İSTANBUL, 2012

T.C.

YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ÜNİVERSİTE DERS ZAMAN ÇİZELGELEME PROBLEMİ

Rumeysa ÖZDEMİR tarafından hazırlanan tez çalışması 02.08.2012 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Matematik Anabilim Dalı'nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Tez Danışmanı

Prof. Dr. Mehmet AHLATCIOĞLU

Yıldız Teknik Üniversitesi ________________________

Jüri Üyeleri

Prof. Dr. Mehmet AHLATCIOĞLU

Yıldız Teknik Üniversitesi ________________________

Prof. Dr. Fatma TİRYAKİ

Yıldız Teknik Üniversitesi ________________________

Prof. Dr. Müfit GİRESUNLU

İstanbul Üniversitesi ________________________

ÖNSÖZ

Engin bilgisiyle çalışmalarıma ışık tutarak benden desteğini esirgemeyen, kendisinden çok şey öğrendiğim, akademik anlamda bana farklı bir bakış açısı kazandıran tez danışmanım Prof. Dr. Mehmet Ahlatcıoğlu'na en içten duygularımla teşekkür ederim.

Çalışmalarımın her aşamasında öneri ve yardımlarıyla beni destekleyen ve akademik çalışma detaylarını bana öğreten, bu çalışmaya en az benim kadar inanan, çalışma süresi boyunca benimle gece-gündüz demeden ilgilenen ve her zaman yanımda olduğunu hissettiğim değerli hocam Yrd. Doç. Dr. Hale Gonce Köçken'e emekleri için minnettarım.

Hayatım boyunca koşulsuz desteklerini hissettiğim, bana olan güvenleriyle başarımı körükleyen, vazgeçmeyi düşündüğümde, yorulduğumda beni yeniden şevklendiren aileme sonsuz teşekkürü bir borç bilirim.

Bu çalışmanın Üniversite Ders Zaman Çizelgeleme ile ilgilenen tüm araştırmacılara faydalı olmasını dilerim.

Temmuz, 2012

Rumeysa ÖZDEMİR

İÇİNDEKİLER

SİMGE LİSTESİ

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

wl_{mi} m dersinin i günü için öğretim elemanları tarafından atanan memnuniyet (tercih) katsayıları.

KISALTMA LİSTESİ

AP	Atama Problemi
ZÇP	Zaman Çizelgeleme Problemi
EZÇP	Eğitim Zaman Çizelgeleme Problemi
OZÇ	Okul Zaman Çizelgeleme
ÜZÇ	Üniversite Zaman Çizelgeleme
ÜZÇP	Üniversite Zaman Çizelgeleme Problemi
ÜSZÇP	Üniversite Sınav Zaman Çizelgeleme Problemi
ÜDZÇP	Üniversite Ders Zaman Çizelgeleme Problemi
TP	Tamsayılı Programlama
TA	Tabu Arama

ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

ÖZET

ÜNİVERSİTE DERS ZAMAN ÇİZELGELEME PROBLEMİ

Rumeysa ÖZDEMİR

Matematik Anabilim Dalı
Yüksek Lisans Tezi

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Mehmet AHLATCIOĞLU

"Üniversite Ders Zaman Çizelgeleme Problemi" adlı çalışmamızda, Atama Problemi'nin özel bir tipi olan Üniversite Ders Zaman Çizelgeleme Problemi (ÜDZÇP) ele alınmıştır. Bunun için öncelikle AP, genel hatları ile verilmiş ve problemin en bilinen çözüm yöntemi olan Macar Yöntemi sayısal bir örnekle açıklanmıştır. Daha sonra, AP tiplerinden olan Zaman Çizelgeleme Problemi tanıtılmış, problemin alt dalları ve yaygın çözüm yöntemleri hakkında özet bir bilgi sunulmuştur. Tezimizde ele alınan Eğitim Zaman Çizelgeleme Problemi ise, Okul Zaman Çizelgeleme ve Üniversite Zaman Çizelgeleme (ÜZÇ) ana başlıkları altında, ÜZÇ de kendi içinde Sınav ve Ders Zaman Çizelgeleme olmak üzere iki alt başlıkta daha detaylı bir şekilde incelenmiştir.

ÜDZÇP, fiziki mekan kapasitesi, dersi alan öğrenci sayısı gibi bileşenlerin değişken olduğu 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.

Tezimiz kapsamında yurt içi bir Üniversite'nin Matematik Bölümü'nde karşılaşılan ÜDZÇP için ikili tamsayılı programlama yapısında bir model oluşturulmuştur. Bu modelde, teklik, tamamlanma, ardışıklık, laboratuar, ön belirleme ve değişken tipi kısıtlarının tamamı ile günlük ders yükü ile oturum kısıtlarının bazıları gibi zorunlu kısıtların yanı sıra; öğrenci gruplarının haftalık ders programında yer alacak derslerinin

olabildiğince çakışmamasını sağlayan çakışmama kısıtları, öğrenci gruplarının günde en az iki ders almasını sağlayan günlük ders yükü kısıtı ve iki oturumlu derslerin, oturumları arasında bir gün boşluk bırakılmasını sağlayan oturum kısıtı gibi esnek kısıt kategorisine giren kısıtlar da bulunmaktadır. Modelin işleyişi, ilgili Bölüm'ün bir önceki yarıyılına ait veriler kullanılarak gösterilmiştir. Maksimizasyon yönünde çalışan amaç fonksiyonu, yapılacak atamaların, olabildiğince öğretim kalitesini arttıracak ve Bölüm'ün/öğretim elemanlarının istekleri doğrultusunda hareket edecek nitelikte olmasını sağlamaktadır.

Anahtar Kelimeler: Atama problemi, eğitim zaman çizelgeleme, üniversite ders zaman çizelgeleme, tamsayılı programlama.

ABSTRACT

UNIVERSITY COURSE TIMETABLING PROBLEM

Rumeysa ÖZDEMİR

Department of Mathematics
MSc. Thesis

Advisor: Prof. Dr. Mehmet AHLATCIOĞLU

In this study entitled "*University Course Timetabling Problem*" *(UCTP)*, UCTP which is a particular type of AP, is investigated. Firstly, AP is discussed and Hungarian Method, which is a well-known solution method for AP, is explained with a numerical example. Then, Timetabling problem is presented with its different types and its solution methods. One of these different types is Educational Timetabling Problem divided into two headings called School Timetabling and University Timetabling. Also, University Timetabling is presented with two headings: University Exam Timetabling and University Course Timetabling.

UCTP deals with the allocation of faculty members to courses, the scheduling of courses during the week as well as the assignment of courses to classrooms.

In the study, a binary integer programming model is constructed for UCTP that occurs in the department of mathematics in a domestic university. The model contains hard constraints and a soft constraint. The model includes all of the uniqueness, completeness, consecutiveness, laboratory, pre-assignment, type of variable constraints and some of the daily-course load and session constraints which are known as hard constraints; as well as soft constraints among which are non-conflict constraints preventing the conflict of course times belonging to different student groups, the session constraint providing one day off between same lesson for same student group and the daily-lesson load constraint providing at least two lessons per day for every single student group. The operation of the model is illustrated with the data sets provided from the previous term of the relevant department. The maximization objective function provides that the assignments will enhance the satisfaction level of education and they will be in line with the desire of the Department/Faculty members.

Key words: Assignment problem, education timetabling, university course timetabling, integer programming.

BÖLÜM 1

GİRİŞ

1.1 Literatür Özeti

Atama Probleminde belirli sayıda işçinin belirli sayıda işe en düşük maliyetle atanmasını amaçlanır. Atama probleminin çözümünde en bilinen yöntem Macar Yöntemi'dir. [1]'de büyük boyutlu problemlerde karşılaşılan zorlukları gidermek için Macar Yöntemi ile ilgili özgün bir yöntem önerilmiştir.

Literatürde birçok farklı tipte Atama Problemi (AP) bulunmaktadır. Bunların en bilinenleri; Dengeli Evlilik Problemi (Stable Marriage Problem), Günlük Bakım (Kreş) Seçim Problemi (Daycare Problem), Silah-Hedef Ataması (Weapon-Target Assignment), Filo Ataması (Fleet Assignment), Genelleştirilmiş AP, Katlı AP (Multidimensional), Karesel AP, Çizelgeleme (Scheduling) Problemleri ve Zaman Çizelgeleme (Timetabling) Problemi'dir. Tezimizde bu AP tiplerinden Zaman Çizelgeleme Problemi ele alınmıştır.

Zaman Çizelgeleme, birçok üretim ve hizmet endüstrisinde önemli rol oynayan bir karar verme süreci olup, makineden ulaşıma, 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 Ulaşım ZÇP; Tren, Otobüs, Uçak Zaman Çizelgeleme gibi alt problemleri içeren bir problemdir. Önceden planlanan ve son teslim tarihi belirli olan bir işin, uygun makinelere, amaca uygun olarak dağıtılması problemine ise Makine ZÇP denir. Personel ZÇP, çalışma saatlerinin veya görev yerlerinin değişken olduğu herhangi bir kurumda, çalışanların en yüksek tatmini ve verimi oluşturacak şekilde atanması ile ilgilenir. Sağlık kurumlarında muayenehanelere ve ameliyathanelere; ameliyat, hasta ve sağlık personeli gibi bileşenlerin atamalarının yapılması problemine Sağlık ZÇP, spor müsabakalarında karşılaşacak takımlar için ilgili mekanın ve zamanın belirlenmesi problemine de Spor ZÇP denir.

Bu ZÇP tiplerinden farklı olarak tezimizde Eğitim ZÇP'ne odaklanılmıştır. Eğitim Zaman Çizelgeleme Problemi (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.

Bardadym'e göre Eğitim Zaman Çizelgeleme Problemi (EZÇP) ile ilgili en etkin çalışmalar 1960 ile 1970 yılları arasında yapılmakla beraber 1970'li yılların sonlarına doğru EZÇP'ne olan ilginin azaldığı görülmektedir. Bu durum 1980'li yıllarda düzelmekte ve probleme ilgi artmaktadır. 60 farklı çalışma ile araştırmaların zirve yaptığı yıl 1995'tir. Hatta 1995'te bir de ilk Uluslararası Otomatik Zaman Çizelgeleme Uygulaması ve Teorisi Konferansı (PATAT) düzenlenmiştir [2] [3] [4].

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 [5], bazıları da EZÇP'yi [6], [7], [8]'de olduğu gibi Üniversite-Okul alt başlıkları altında incelemiştir. Werra ise, [9]'da EZÇP'ni sınıf-öğretmen modeli ve ders modeli olmak üzere iki alt başlıkta incelemiş ve iki problem tipinin çözümü için kullanılabilecek grafik, şebeke metotlarını vermiştir. Tezimizde EZÇP, Okul ve Üniversite alt başlıkları altında ele alınmıştır.

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. Kwok vd., [10]'da Hong Kong'daki 480 ortaokula anket yollayarak, Hong Kong ortaokullarındaki OZÇ'de karşılaşılan problemleri araştırmışlar ve genel bir yapı ortaya koymuşlardır. Yapılan anketin sonucunda, bilgisayar ile oluşturulan çizelgeleme anlamında tanımlanan *otomatik zaman çizelgeleme*'nin önemini ve bu konu üzerine daha fazla araştırma yapılması gerekliliğini vurgulamışlardır. Kong ve Kwok [11]'de, bir lise zaman çizelgeleme problemini bilgi tabanlı (knowledge-based) bir yaklaşımla modellemişler, bu modelin çözümü için sezgisel yöntem temelli bir metot üretmişlerdir.

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.

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 arttırma açısından olabildiğince sağlanması istenen fakat sağlanmaması durumunda geçerli bir çizelge oluşturulmasını engellemeyen kısıtlardır.

Petrovic ve Burke, bir kitap bölümü olan [7]'de, 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 yoğunlaşılmış olsa da Matematiksel Programlama temelli yaklaşımlara da değinilmiştir.

ÜZÇP, tezimizde de Üniversite Sınav ZÇP (ÜSZÇP) ve Üniversite Ders ZÇP (ÜDZÇP) olarak iki başlık altında incelenmiştir.

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., [5]'te, ÜSZÇP'nin çözümünde grafik boyama (serim renklendirme) tekniğini kullanmışlardır. Kahar ve Kendall [12]'de 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.

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. Tezimizde ele alınan ve oldukça zengin bir literatüre sahip olan ÜDZÇP ile ilgili bazı çalışmalar şu şekildedir:

Daskalaki vd., [8]'de Yunan üniversitelerinde karşılaşılan ÜDZÇ problemleri için ikili tamsayılı 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 [13]'te, 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., [14]'te 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.

Badri vd., [15]'te 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., [16]'da 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 [17]'de 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, [18]'de 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. [18] makalesi, cinsiyet ayrımını ele alması yönüyle literatürdeki çalışmalardan farklı bir yapı sergilemektedir.

MirHassani, [19]'da İran'daki Shahrood Teknoloji Üniversitesinde karşılaşılan ÜDZÇP için iki yarıyıllık 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 [20]'de, 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.

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

1.2 Tezin Amacı

"Üniversite Ders Zaman Çizelgeleme Problemi" isimli tezimizin temel amacı üniversitelerde haftalık ders programı oluşturma aşamalarında karşılaşılan özel durum ve istekler ile kıt kaynak durumlarının problemin modeline nasıl yansıtılacağını göstermek ve haftalık ders programının el ile değil matematiksel bir model aracılığıyla oluşturulmasını sağlamaktır. Bu amaçla yurt içi bir Üniversite'nin Matematik Bölümü'nde karşılaşılan ÜDZÇP, ikili tamsayılı programlama olarak modellenmiş ve bir paket program aracılığıyla çözülmüştür.

Tezimizin Atama Problemi isimli ikinci bölümünde, tez kapsamında ele alınan ÜDZÇP'nin temeli olan Atama Problemi tanıtılarak problemin en çok bilenen çözüm yöntemi olan Macar Yöntemi anlatılmıştır. Bölüm 3'te Zaman Çizelgeleme Problemi ve bu problemin bazı çözüm yöntemleri verilmiştir. Ayrıca literatürde yer alan birçok Zaman Çizelgeleme problemi tanıtılmış, bunlardan Eğitim Zaman Çizelgeleme Problemi detaylandırılmıştır. Tez kapsamında ele alınan ÜDZÇP'nin genel anlatımı da bu bölümde yer almaktadır. Bölüm 4'te yurt içi bir Üniversitenin Matematik Bölümü'nde karşılaşılan ÜDZÇP için bir ikili tamsayılı programlama modeli oluşturulmuş ve sayısal verilerle modelin işlenişi açıklanmıştır.

1.3 Hipotez

Tezimizde, bir Üniversite'nin Matematik Bölümü'nün bir yarıyıla ait ders/öğretim elemanı/öğrenci grubu/fiziki mekan atamalarının en yüksek tatmin düzeyinde olmasını hedefleyen ikili programlama yapısında bir model oluşturulmuştur. Oluşturulan model Bölüm'ün ihtiyaçlarını karşılayacak şekilde birçok özel kısıt içermektedir. Bu kısıtlardan teklik, tamamlanma, ardışıklık, laboratuar, ön belirleme kısıtları ve oturum kısıtları ile günlük ders yükü kısıtlarından bazıları zorunlu kısıt kategorisine girmektedir. Teklik, tamamlanma, ardışıklık ve ön belirleme kısıtları ÜDZÇP'nin temel kısıtlarıdır ve literatürde ÜDZÇP için oluşturulan çoğu modelde bulunmaktadır. Oturum kısıtları literatürdeki bazı kısıtlardan esinlenilerek Bölüm'e özel uyarlanmış kısıtlardır. Laboratuar kısıtı ile Günlük Ders Yükü kısıtı ise öğretim kalitesini arttırmaya yönelik oluşturulan yapısal kısıtlardır. Bu zorunlu kısıtların yanı sıra; öğrenci grubu 2, öğrenci grubu 3 ve öğrenci grubu 4'ün haftalık ders programında yer alacak derslerinin olabildiğince çakışmamasını sağlayan Çakışmama kısıtları, iki oturumlu bir dersin oturumları arasında en az bir gün boşluk bırakılmasını sağlayan Oturum kısıtı ve bir öğrenci grubunun günlük en az iki ders almasını sağlayan Günlük Ders Yükü kısıtı, esnek kısıt kategorisine girmektedir ve bu kısıtlar öğretim kalitesini arttırmaya yönelik tez kapsamında oluşturulan yapısal kısıtlardır.

Tez kapsamında önerilen modelin maksimizasyon yönünde çalışan amaç fonksiyonu, yapılacak atamaların, olabildiğince öğretim kalitesini arttıracak ve üniversitenin ilgili Bölümü'nün/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 ağrılıkları da dahil edilebilmektedir. Tüm bu ağırlıklar amacın, aynı zamanda bir esnek kısıt görevi görmesini sağlamakta 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.

BÖLÜM 2

ATAMA PROBLEMİ

Atama Problemi (AP), belirli sayıda işçinin belirli sayıda işe en düşük maliyetle atanması problemidir. n tane işçinin ve m tane işin var olması durumunda, $i \in \{1, 2, ..., n\}$ işçisinin, $j \in \{1, 2, ..., m\}$ işine atanmasının maliyeti c_{ij} olmak üzere, her bir i işçisinin en uygun j işine atanmasını sağlayan işlemler bütünü olarak da tanımlanabilir.

Atama Problemi'nde esas olan, işçilerin işlere en düşük maliyetle atanmalarını sağlamaktır. Problemlerde genelde işçi sayısı ile iş sayısı birbirine eşittir ancak eşit olmadıkları durumlarda da oluşturulan modele hayali işçi ya da hayali iş ekleyerek işçi sayısı ile iş sayısının birbirine eşitlenmesi ve dolayısıyla problemin dengeli hale getirilmesi her zaman için mümkündür. İşçi sayısı ile iş sayısının eşit olmadığı durumlarda eşitlik aşağıdaki formülasyon ile sağlanır:

n işçi sayısı ve m iş sayısı olmak üzere, $m > n$ olduğu durumda probleme $(m - n)$ tane hayali (kukla) işçi, benzer şekilde, $m < n$ olduğunda da probleme $(n - m)$ tane hayali iş eklenerek $m = n$ eşitliği sağlanır. Hayali iş veya hayali işçilerin maliyetleri (c_{ij}) sıfırdır.

Buna göre, dengeli AP'nin lineer programlama modeli aşağıdaki gibidir:

Amaç : $$Min\ z = \sum_{j=1}^{n} \sum_{i=1}^{n} c_{ij} x_{ij} \tag{2.1}$$

Kısıtlar : $$\sum_{j=1}^{n} x_{ij} = 1 \qquad (1 \le i \le n) \tag{2.2}$$

$$\sum_{i=1}^{n} x_{ij} = 1 \qquad (1 \le j \le n). \qquad (2.3)$$

$$x_{ij} \in \{0,1\} \qquad (2.4)$$

Burada (2.1), modelin amaç fonksiyonu, (2.2), i işçisinin tek bir işe atanmasını sağlayan kısıt, (2.3), j işine tek bir işçi atanmasını sağlayan kısıt, (2.4) ise x_{ij} karar değişkeninin yapısal kısıtıdır. Görüldüğü gibi karar değişkeni ikili değişken yapısına sahiptir. $x_{ij} = 0$ olması i işçisinin j işine atanmaması, $x_{ij} = 1$ olması ise i işçisinin j işine atanması anlamına gelmektedir.

2.1 Atama Probleminin Çözüm Yöntemleri

Taşıma problemindeki kaynaklar ve talep merkezleri, sırasıyla AP'ndeki işçiler ve işler olarak alındığında AP'nin özel bir taşıma problemi olduğu görülür. Taşıma probleminden farkı, kaynak ve talep miktarlarının her durumda 1'e eşit olmasıdır. AP'ne özel olarak geliştirilen en bilinen çözüm yöntemi Macar Yöntemi'dir. Bu yöntem bir sonraki alt bölümde detaylı olarak anlatılacaktır.

2.1.1 Macar Yöntemi

Macar Yöntemi, Kuhn tarafından 1955'te geliştirilmiş sade, kolay anlaşılabilen etkili bir çözüm yöntemidir. AP'nde yapılacak atamanın maliyetlerinden oluşan matris, *orijinal maliyet matrisi* (Çizelge 2.1) olarak adlandırılır. Görüldüğü gibi orijinal maliyet matrisi n boyutlu kare bir matristir.

Çizelge 2. 1 Macar Yöntemi Orijinal Maliyet Matrisi.

c_{11}	c_{12}	…	c_{1j}	…	c_{1n}
c_{21}	c_{22}	…	c_{2j}	…	c_{2n}
…	…	…	…	…	…
…	…	…	…	…	…
c_{i1}	c_{i2}	…	c_{ij}	…	c_{in}
…	…	…	…	…	…
…	…	…	…	…	…
c_{n1}	c_{n2}	…	c_{nj}	…	c_{nn}

Macar Yönteminin Algoritması aşağıdaki gibi verilebilir [21]:

Adım 1: Orijinal maliyet matrisinin her bir satırının minimum değerini bul ve bu değeri ilgili satırdaki tüm elemanlardan çıkar.

Adım 2: Adım 1'in uygulanması ile elde edilen maliyet matrisinin her bir sütununun minimum değerini bul ve bu değeri ilgili sütundaki tüm elemanlardan çıkar.

Orijinal maliyet matrisine Adım 1 ve Adım 2'nin uygulanması ile elde edilen, her satır ve sütununda en az bir tane sıfır değeri içeren yeni maliyet matrisi *indirgenmiş maliyet matrisi* olarak isimlendirilir.

Adım 3: İndirgenmiş/Son İndirgenmiş maliyet matrisinde yer alan sıfırların hepsini kapatacak şekilde minimum sayıda yatay veya düşey çizgi/çizgiler çiz.

Adım 3a: Sıfırların tümünü kapatan minimum çizgi sayısı orijinal maliyet matrisinin satır sayısına (veya sütun sayısına (n)) eşit ise minimum maliyetli atamaya ulaşılmıştır. Sıfırların bulunduğu hücrelere karşılık gelen iş/işçi eşleştirmesi ile optimal atamayı elde et ve dur.

Adım 3b: Sıfırların tümünü kapatan minimum çizgi sayısı orijinal maliyet matrisinin satır sayısından (n) küçük ise minimum maliyetli atamaya ulaşılmamıştır. Adım 4'e git.

Adım 4: Üzeri çizilmemiş (kapanmamış) elemanlar içinden en küçüğünü seç ve bu elemanı, üzeri çizilmemiş bütün elemanlardan çıkar. Aynı elemanı, iki kapatma çizgisinin kesiştiği yerdeki elemana/elemanlara ekle. Bu işlemler sonucunda oluşan *son indirgenmiş maliyet matrisi* olarak isimlendirilen matrisi elde et ve Adım 3'e git.

Görüldüğü gibi Macar yöntemi algoritması, orijinal maliyet matrisinin satır ve sütunlarından belirli kurallara göre bazı değerlerin çıkartılıp eklenmesiyle oluşan indirgenmiş maliyet matrisleri üzerinden optimal atamaya karar vermektedir. İndirgenmiş maliyet matrisi ile elde edilen çözümün, orijinal maliyet matrisine karşılık gelen AP'nin optimal çözümü olduğu, başka bir ifadeyle Macar Yöntemi ile elde edilen çözümün optimalliği aşağıdaki gibi ispatlanabilir:

Adım 1 ve Adım 2'de tanımlanan, maliyet matrislerinin her bir *i.* satırının ve *j.* sütununun minimum değeri sırasıyla p_i ve q_j olsun. Orijinal maliyet matrisine Adım 1 ve Adım 2 uygulandığında elde edilen indirgenmiş maliyet matrisinin elemanları

$$c_{ij}' = c_{ij} - p_i - q_j$$

ile verilir. Buna bağlı olarak indirgenmiş maliyet matrisinin amaç fonksiyonu da

$$Min\ z' = \sum_{j=1}^{n} \sum_{i=1}^{n} c'_{ij} x_{ij}$$

$$\sum_i \sum_j (c_{ij} - p_i - q_j) x_{ij} = \sum_i \sum_j c_{ij} x_{ij} - \sum_i p_i \left(\sum_j x_{ij} \right) - \sum_i q_j \left(\sum_i x_{ij} \right)$$

$$= \sum_i \sum_j c_{ij} x_{ij} - \sum_i p_i (1) - \sum_j q_j (1)$$

$$= \sum_i \sum_j c_{ij} x_{ij} - sabit$$

olacaktır. Görüldüğü gibi, yeni amaç fonksiyonu orijinalinden sadece bir sabit değer kadar farklıdır. x_{ij}'nin optimal değeri her iki durumda da aynıdır. Macar yönteminin 1. ve 2. adımlarında *i.* satırından p_i'nin, *j.* sütunundan da q_j'nin çıkarılması yoluyla eşdeğer bir atama modeli oluşturulur. Adım 1 ve Adım 2'nin uygulanmasıyla elde edilen maliyet matrisinin sıfır değerlileri arasından uygun bir çözümün bulunması halinde bu çözüm optimal olacaktır. Çünkü elde edilen indirgenmiş matristeki maliyetler sıfırdan küçük olamaz.

Elde edilen sıfır değerleriyle uygun bir çözüme ulaşılamaması halinde Adım 3b uygulanır. Bu prosedürün geçerliliği için dualite teorisiyle onun tamamlayıcısı olan Bütünleyici Esneklik (Complementary Slackness) teoremi esas alınarak lineer programlamadaki simpleks yöntem tabanlı ispat yapılabilir [21]. Tezimizde Macar yöntemi sadece AP'nin yapısını göstermek için verilmiş, yöntemin ispatı detaylı olarak verilmemiştir. Bunun sebebi tezimizde ele alınan Üniversite Ders Zaman Çizelgeleme Problemi (ÜDZÇP)'nin özünde bir AP olması yanında, pek çok bağlayıcı kısıt içermesi ve Macar yöntemi ile çözülemeyecek kadar karmaşık bir yapıda olmasıdır. Gerçekten AP, iş ve işçi bileşenleri ile iki boyutlu olup ÜDZÇP ise öğretim elemanı – öğrenci grubu – ders – fiziki mekan – zaman gibi bileşenlere sahiptir dolayısıyla boyut sayısı fazladır. Bu sebeple tezimizde ÜDZÇP, bir lineer programlama problemi olarak ele alınmış ve probleme lineer programlamanın özel bir hali olan tamsayılı programlama aracılığıyla çözüm önerilmiştir.

Macar yöntemi ile ilgili bir uygulama, Örnek 2.1 ile verilmiştir.

Örnek 2.1 [22]**:** Taze firması, sekreterler için çalıştıkları saat kadar maaş alabilecekleri bir sistemi uygulamaktadır. 5 tane sekreter vardır ve bunların her birinin bağlı olduğu servis, yazı yazma hızı ve görevi farklıdır. Bir iş yalnızca bir sektere verilmektedir ve sekreter 1 saatlik ücreti saat içerisinde yalnızca 15 dk. çalışsa bile almaktadır. Bu problem için aşağıdaki bilgileri kullanarak en uygun maliyet tahsisini bulunuz.

Çizelge 2. 2 Sekreterlerin Bir Saat İçerisindeki Yazım Bilgileri.

Sekreter	1 saat içerisindeki yazma hızı	1 saat içerisinde yazılan kelime sayısı
A	5	12
B	6	14
C	3	8
D	4	10
E	4	11

Çizelge 2. 3 İş ve Sayfa Sayısı Bilgileri

İş	Sayfa Sayısı
P	199
Q	175
R	145
S	198
T	178

Aşağıdaki verilen Çizelge 2.4'teki matris i. sekreterin $\left(i = A,B,C,D,E\right)$, j. işi $\left(P,Q,R,S,T\right)$ yapması durumunda ortaya çıkacak olan maliyeti vermektedir ve çözüm Macar Yöntemi kullanılarak yapılacaktır:

Çizelge 2. 4 Sekreter ve İş Bilgileri.

	İŞ				
SEKRETER	P	Q	R	S	T
A	85	75	65	125	75
B	90	78	66	132	78
C	75	66	57	114	69
D	80	72	60	120	72
E	76	64	56	112	68

Her bir satırdaki en küçük elemanın belirlenip bu elamanın satırdaki diğer elemanlardan çıkarılmasından sonra elde edilen veriler, ilk iterasyon sonuçları olarak adlandırılırlar ve aşağıda verilen Çizelge 2. 5'te olduğu gibidirler:

Çizelge 2. 5 İlk İterasyon.

	İŞ				
SEKRETER	P	Q	R	S	T
A	20	10	0	60	10
B	24	12	0	66	12
C	18	9	0	57	12
D	20	12	0	60	12
E	20	8	0	56	12

Her bir sütundaki en küçük elemanın belirlenip bu elamanın sütundaki diğer elemanlardan çıkartılmasından sonra elde edilen veriler ikinci iterasyon sonuçları olarak adlandırılırlar ve Çizelge 2.6'da olduğu gibidirler:

Çizelge 2. 6 İkinci İterasyon.

İŞ					
SEKRETER	P	Q	R	S	T
A	2	2	0	4	**0**
B	6	4	**0**	10	2
C	**0**	1	0	1	2
D	2	4	0	4	2
E	2	**0**	0	0	2

Atanan hücrelerin sayısı, satır (ve sütun) sayısına eşit değildir. Bu durumda, indirgenmiş matriste tüm sıfırları kapatacak şekilde yatay ve dikey çizgiler çizilmelidir. Daha sonra, örnekte önceden açıklanan yöntemler ilk adımdan itibaren tekrarlanır ve bu işlemlerin sonunda elde edilen matris Çizelge 2. 7'de olduğu gibidir:

Çizelge 2. 7 Üçüncü İterasyon.

İŞ					
SEKRETER	P	Q	R	S	T
A	2	2	2	4	**0**
B	4	2	**0**	8	0
C	**0**	1	2	1	2
D	0	2	0	2	0
E	2	**0**	2	0	2

Gene atanan hücrelerin sayısı satır (ve sütun) sayısına eşit değildir. Bu durumda, indirgenmiş matriste tüm sıfırları kapatacak şekilde yatay ve dikey çizgiler çizilmelidir. Daha sonra, örnek açıklanan yöntemler ilk adımdan itibaren tekrarlanır ve bu işlemlerin sonunda elde edilen son matris Çizelge 2. 8'de olduğu gibidir:

Çizelge 2. 8 Optimum Çözüm Matrisi.

İŞ					
SEKRETER	P	Q	R	S	T
A	2	1	2	3	$\cancel{0}$
B	4	1	$\cancel{0}$	7	0
C	0	0	2	$\cancel{0}$	2
D	$\cancel{0}$	1	0	1	0
E	3	$\cancel{0}$	3	0	3

Atamaların sayısı satır (ve sütun) sayısına eşit olduğundan, Çizelge 2. 8 optimal çözümü verir. Orijinal tablodaki değerler yerleştirilirse, optimal çözüm:

Bir saat içerisindeki yazma hızı $= 75 + 66 + 114 + 80 + 64 = 399$ olarak elde edilir.

2.2 Literatürden Bazı Atama Problemi Tipleri

AP genel olarak, işlere işçi atama ya da işçilere iş atama problemleri olarak biliniyor olsa da literatürde çok farklı tipte AP bulunmaktadır. Bunların en bilinenleri; Dengeli Evlilik Problemi (Stable Marriage Problem), Günlük Bakım (Kreş) Seçim Problemi (Daycare Problem), Silah-Hedef Ataması (Weapon-Target Assignment), Filo Ataması (Fleet Assignment), Genelleştirilmiş AP, Katlı AP (Multidimensional), Karesel AP, Çizelgeleme (Scheduling) Problemleri ve Zaman Çizelgeleme (Timetabling) Problemi'dir.

BÖLÜM 3

ZAMAN ÇİZELGELEME PROBLEMİ

Atama Problemi'nin özel bir hali olan Zaman Çizelgeleme Problemi (ZÇP); tanımlanmış bazı kurallar dahilinde düzenlenen kısıtları sağlayacak şekilde limitli kaynaklara belirli bir zaman aralığında bazı atamaların (ders, makine, araç, çalışan vb.) yapılması problemidir.

ZÇP, [23]'te ise belirtilen amaçların mümkün olan en yüksek derecede tatmin edilmesi için sınırlı sayıdaki zaman aralıkları ve yer gibi kısıtlamalara bağlı olarak bazı özel kaynakların yerleştirilmesi olarak tanımlanır.

Zaman Çizelgeleme Problemleri genellikle zorunlu (hard) ve esnek (soft) olmak üzere iki kategoriye ayrılan çok sayıda kısıta tabidir. Zorunlu kısıtlar katı bir şekilde uygulanan ve zaman çizelgeleme düzenlemesinde mutlaka yerine getirilmesi gereken kısıtlardır. Esnek kısıtlar ise arzu edilen fakat mutlaka yerine getirilmesi gerekmeyen kısıtlardır [24].

Tez kapsamında ele alınacak olan Zaman Çizelgeleme (Timetabling) Problemi, Çizelgeleme (Scheduling) Problemleri ile çok yakından ilgilidir. Her iki problemde de eldeki kıt kaynakların belirli kısıtlar altında problemin diğer bileşenlerine atanması söz konusudur. Bu nedenle, bir problemin bu iki problem sınıfından hangisine ait olup olmadığına karar verilmesi oldukça zordur. Literatürde bu problemler arasındaki ayrım ile ilgilenen bazı çalışmalar; [25] ve [26] 'dır.

3.1 Zaman Çizelgeleme Problemi (ZÇP) Çeşitleri

ZÇP, uygulandığı sektöre göre çeşitli alt kollara ayrılmakta ve ilgili sektöre göre isimlendirilmektedir. Örneğin, sağlık kurumlarında muayenehane - ameliyathane – doktor – hemşire - zaman gibi bileşenlerin eldeki kaynaklar doğrultusunda optimum atanması ile ilgilenen problem Sağlık ZÇP olarak bilinmektedir. Literatürde çalışılan en yaygın ZÇP'lerinden bazıları; Ulaşım, Makine, Personel, Sağlık, Spor ve Eğitim ZÇP'dir. Bu problemler hakkında bazı detaylı açıklamalar şu şekildedir:

Ulaşım ZÇP yapısında, Tren, Otobüs, Uçak Zaman Çizelgeleme gibi alt problemlerini barındırmaktadır. Problem genel olarak, toplu taşıma araçlarının bakım - onarım tesislerinde, aracın rotasında olan duraklarda ve benzeri uğraması gereken yerlerde harcamaları gereken tüm süreleri dikkate alarak, optimum atamayı yapmayı amaçlamaktadır. Problemin çözümü ile elde edilecek atama sayesinde toplu taşıma araçları düzenli bir zaman çizelgesine sahip olmakta, olası gecikmelerin önüne geçilebilmekte, bu araçların bakım - onarımları düzenli bir zamanlama ile gerçekleştirilerek araçların arızalanma olasılıkları minimuma indirgenmekte ve dolayısıyla araçların kullanımı (verimi) arttırılabilmektedir. Örneğin zaman faktörünün kritik önem taşıdığı Uçak ZÇP'nde, çizelgedeki en ufak bir sapma yüksek maliyetlere ve havayolu planlamasında (havaalanı yolcu trafiği, bagaj – kargo iletim süreleri, vb.) zincirleme aksaklıklara sebep olabilmektedir. Bu durum ele alınan modelin önemini vurgulamaktadır.

Makine ZÇP, daha önceden yapılması gerektiği belirlenip girişi yapılan ve son teslim tarihi belirli olan iş/işlerin, belirli sayıda makine ile yapılacak olması durumunda makinelerin işlere dağılımı ve belli bir amaca göre her makinede işlem sırasının belirlenmesi için kullanılan bir zaman çizelgeleme modelidir. Problemin amacı işlerin son teslim tarihinden önce, belirlenen performans ölçütlerini optimize edecek şekilde tamamlanmasını sağlamaktır.

Personel ZÇP, çalışanların, çalışma saatleri ve görev yerlerinin belirlenmesi ile ilgilenen zaman çizelgeleme modelidir. Bu problemde, ilgili personelin vardiya saatleri de dikkate alınarak görev ve görev yeri ataması en iyi şekilde yapılmaya çalışılır. Birçok ZÇP'nde insan bileşeni de var olduğundan bu problemler aynı zamanda Personel ZÇP olarak da ele alınabilmektedir.

Sağlık kurumlarında muayenehanelere ve ameliyathanelere; ameliyat, hasta ve sağlık personeli gibi bileşenlerin atamalarının optimum şekilde olmasını amaçlayan zaman çizelgeleme modeli olarak tanımlanabilen *Sağlık ZÇP* yapısında, Hemşire, Ameliyat Çizelgeleme gibi alt problemlerini barındırmaktadır. Bu problemler, sağlık personelinin günlük vardiya zaman aralıkları ile belirli periyotlardaki izin düzenlemelerini de kapsayacak şekilde modellendiğinden aynı zamanda birer Personel ZÇP olarak da ele alınabilmektedir.

Spor ZÇP, spor müsabakalarında karşılaşılacak olan takımların belirlenmesi için gerekli olan koşulları dikkate alarak, karşılaşacak takımları, karşılaşacakları mekanı ve zamanı belirlemek için kullanılan zaman çizelgeleme modelidir.

Tezimizde Eğitim ZÇP'ne odaklanıldığından bu problem Bölüm 3.1.1'de ayrıntılı olarak anlatılacaktır.

3.1.1 Eğitim Zaman Çizelgeleme Problemi

Eğitim kurumlarında, öğretmen/öğretim elemanı – öğrenci – derslik/fiziki mekan – zaman – ders/sınav bileşenlerinin ilgili kurumun kaynaklarına, ihtiyaçlarına ve beklentilerine uygun olan en iyi atamaların yapılmasını amaçlayan problem Eğitim ZÇP (EZÇP) olarak adlandırılmaktadır. Günümüzde halen üniversiteler de dahil olmak üzere, bazı eğitim kurumlarında çok sayıda özel durumun var olması ve bu nedenle problemin tek bir şekilde modellenememesi sebepleriyle EZÇP kapsamındaki atamalar görevli kişiler tarafından el ile yapılmaktadır. Çok sayıda bileşen içeren bu problemin çözümünün el ile yapılması hem zaman israfı olmakta hem de el ile yapılan atamalarda öğretmen/öğretim elemanı - öğrenci memnuniyetini arttıracak birçok beklentinin aynı anda sağlandığı bir atamanın elde edilmesi çoğu zaman mümkün olamamaktadır. Bu nedenle gerçek hayatta çok sık karşılaşılan bir problem olan EZÇP üzerine yapılan çalışmalar her geçen gün hızla artmaktadır.

EZÇP'nin içerdiği alt problemler ile ilgili tek bir sınıflandırma mevcut değildir. Literatürdeki çalışmalar incelendiğinde problemin genelde Okul Zaman Çizelgeleme (School Timetabling) ve Üniversite Zaman Çizelgeleme (University Timetabling) (ÜZÇ) olarak iki alt başlıkta incelendiği görülmektedir [27].

Okul Zaman Çizelgeleme (OZÇ), genellikle ilkokullarda, liselerde ya da sürücü kursları gibi özel eğitim kurumlarında uygulanan problem tipidir. Bu problemde, hangi derslikte hangi öğrenci grubunun eğitim alacağı belirlidir ve bu öğrenci gruplarının alacağı dersler seçmeli değildir, sabittir. Öğrenci gruplarının mevcutları değişken değildir, derslik kapasitesine uygundur. Problemde amaçlanan öğretmen – ders ikilisinin uygun dersliklere boş ders kalmayacak şekilde atanmasıdır.

ÜZÇ problemi ise fiziki mekan kapasitesi, dersi alan öğrenci sayısı gibi bileşenlerin sabit olmadığı durumlarda, öğretim elemanlarının ve fiziki mekanların uygun olduğu/olmadığı zaman aralıklarını da dikkate alınarak, öğretim elemanı – ders/sınav – fiziki mekan – zaman atamasının en uygun şekilde yapılması ile ilgilenir.

Temelde benzer bileşenler arasında optimal atama yapılmasını amaçlamaları yönüyle benzer olan ÜZÇ ile OZÇ problemlerini ayıran bazı farklılıklar şu şekilde verilebilir:

- OZÇ'de derslik kapasiteleri çoğunlukla aynıdır ve bu kapasite tüm öğrenci grupları için yeterlidir. Dolayısıyla atama yapılırken derslik kapasiteleri dikkate alınmaz. ÜZÇ'de ise birkaç kişilik öğrenci grupları bulunabileceği gibi, birkaç yüz kişilik öğrenci gruplarının da bulunması mümkündür. Dolayısıyla, fiziki mekan kapasitelerinin de farklı olduğu ÜZÇ'de atama yapılırken fiziki mekan kapasiteleri başka bir ifadeyle dersin atanabileceği uygun fiziki mekan kümesi dikkate alınmalıdır.
- OZÇ'de çoğunlukla her bir öğrenci grubu aynı dersi aynı zaman aralığında almaktadır. ÜZÇ'de ise aynı gruptaki öğrencilerin farklı dersleri aynı zaman aralığında almaları mümkün olabileceği gibi, aynı dersi farklı zaman aralıklarında almaları da mümkündür.
- OZÇ'de günlük ders programında öğle ve ders araları hariç hiçbir boş zaman aralığına (boş ders) izin verilmez, başka bir deyişle program tam kompakttır (boşluksuzdur). ÜZÇ'de bu durum daha esnektir. Boş zamana izin verilmekte ancak bunların olabildiğince minimize edilmesi istenmektedir; programda tam kompaktlık sağlanmak zorunda değildir.
- OZÇ'de laboratuar derslerine tüm öğrenci grubu birlikte katılmaktadır. ÜZÇ'de ise öğrenci grubu mevcutları laboratuar kapasitelerini aşabildiğinden, öğrenci grupları alt gruplara bölünerek laboratuarda işlenecek ders her bir alt grup için tekrar edilebilmektedir.

ÜZÇ ile OZÇ problemlerini ayıran yukarıdaki farklar göz önüne alındığında, ÜZÇ'nin daha karmaşık bir yapıda olduğu anlaşılmaktadır.

Tezimizde ÜZÇ problemi (ÜZÇP) ele alındığından, bundan sonraki kısımda, ÜZÇP detaylı olarak verilecektir.

ÜZÇP, Üniversite Sınav ZÇP (ÜSZÇP) ve Üniversite Ders ZÇP (ÜDZÇP) olmak üzere iki alt başlık altında incelenebilir.

ÜSZÇP, sınav – fiziki mekan – öğrenci grubu – fiziki mekanlarda görev alacak gözetmen – zaman bileşenlerinin en uygun şekilde atanması ile ilgilenir. Genelde üniversiteler her bir eğitim-öğretim yılının başında yayınladıkları akademik takvimde sınavların yapılacağı haftaları bildirmektedirler. Ancak bu sınav haftaları içersinde yapılacak olan sınavların hangi fiziki mekanda hangi gözetmen tarafından yapılacağı üniversite bünyesindeki bölümlerin sorumluluğundadır. Sınavların gözetmenlere, zaman aralıklarına ve fiziki mekanlara atanması, dönem boyunca akademik takvimde yer alan sınav haftası sayısı kadar her bir bölüm tarafından yapılması gereken idari bir görevdir.

ÜSZÇP'nde dikkat edilmesi gereken kısıtlar şu şekildedir:

- Bir öğrencinin sorumlu olduğu herhangi iki sınav aynı zaman aralığına atanmamalıdır.
- Fiziki mekanlarda görev alacak gözetmenlere aynı zaman aralığında tek bir sınav ataması yapılmalıdır.
- Herhangi bir sınav için ayrılacak fiziki mekanların toplam öğrenci kapasitesi dolayısıyla ilgili sınava atanacak fiziki mekan sayısı, ilgili dersi alan öğrenci sayısı göz önünde bulundurularak yapılmalıdır. Örneğin 50 öğrencinin aldığı bir ders göz önüne alınsın. Bu ders, ders işleme sürecinde tek bir fiziki mekanda yapılmasına rağmen, sınav esnasında boşluklu oturma düzeni geçerli olacağından bu ders için birden fazla sayıda fiziki mekan gereksinimi olabilmektedir.

ÜSZÇP'nde birden fazla sınavın, sağlanması gereken oturma kapasitesi aşılmamak koşulu ile aynı fiziki mekana ve aynı zaman aralığına atanabilmesi mümkündür. Burada anlatılmak istenen, öğretim elemanının tek bir dersini alan öğrencileri sadece sınav için birkaç alt gruba bölerek, bu alt grupları başka bir dersin alt gruplarıyla aynı derslikte sınava alabilmesidir. Öğretim elemanları bu yöntemi genelde kalabalık ve kontrolün zor sağlandığı öğrenci gruplarında uygularlar.

ÜDZÇP, ders – fiziki mekan – öğrenci grubu – öğretim elemanı – zaman bileşenlerinin en uygun şekilde atanması ile ilgilenir. Diğer bir deyişle, derslerin, dersleri verecek olan öğretim elemanlarının ve öğrenci gruplarının uygun gün ve zaman aralıklarında fiziki mekanlara atanması problemidir. ÜDZÇP'nin amacı, kaynakları en verimli şekilde kullanarak, öğretim elemanları, öğrenci grupları ve fiziki mekanlar açısından herhangi bir çakışmaya neden olmayacak ve verilen tüm kısıtları sağlayacak bir ders programı oluşturmaktır. ÜDZÇP'nde yapılacak atama aynı zaman aralığında sadece bir mekana bir olay olacak şekilde yapılır. Herhangi iki farklı dersin, tek bir fiziki mekana aynı zaman aralığında atanabilmesi mümkün değildir. Bu özellik ÜDZÇP'ni, ÜSZÇP'nden ayırmaktadır.

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 [19].

Literatürde bulunan ÜDZÇP ile ilgili çalışmalar incelendiğinde, problemin uygulanacağı ülke ya da kuruma göre 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 oturumundaki 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, gerçeklenmediklerinde geçerli bir ders planı oluşturulması mümkün olamaz. Örneğin bir fiziki mekana aynı zaman aralığında tek bir dersin atanmasını sağlayan zorunlu kısıt gerçeklenmediğinde, bu fiziki mekana birden fazla sayıda ders ataması yapılabilir, bu da geçerli bir ders planının oluşturulamaması demektir.

Problem sadece zorunlu kısıtlar altında çözülürse, 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 edilebilinir. 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 kısıtlarıdır, 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.

Tezimizde genel hatlarıyla verilen bu zaman çizelgeleme problemleri arasından ÜDZÇP ele alınmış ve bu probleme ait bir uygulama yapılmıştır.

3.2 ZÇP'nin Çözümünde Kullanılan Yöntemler

ZÇP, belirli kısıtlar dahilinde istenen zaman aralığına ihtiyaç duyulan atamaların en optimum faydayı getirecek şekilde yapılmasını hedefler. Problemin bileşenlerinin ve bu bileşenlerin eleman sayılarının çok fazla sayıda olması problemin boyutunu arttırmakta ve problemi NP-zor (non-deterministic polynomial time-hard) problemler sınıfına sokmaktadır [28]. NP-zor ile kastedilen, çözüme ulaşmak için gerekli sürenin veya bilgisayar belleğinin problemin boyutuna bağlı olarak hızla (üstel olarak) artmasıdır.

Literatürde, ZÇP'nin çözümü için geliştirilmiş pek çok yöntem bulunmaktadır. Bu yöntemlerden bazıları aşağıda verilmiştir:

3.2.1 Tamsayılı Programlama

Karar değişkenlerinin tümünün ya da bir kısmının tamsayı değer aldığı problemlere Tamsayılı Programlama (TP) Problemleri denir. TP probleminde, tamsayı olması gereken karar değişkenleri için klasik lineer programlama modelinin temel varsayımları arasında bölünebilirlik varsayımı göz ardı edilmektedir.

TP; Pür TP, Karma TP ve İkili (Binary, 0-1) TP başlıkları altında incelenebilir. Bu ayrım problemlerin karar değişkenlerinin tamsayılı değerler alıp almama durumlarına göre yapılır.

Pür TP; tüm karar değişkenlerinin tamsayı değer aldığı problem tipidir. Bu karar değişkenleri; insan, makine, yedek parça, araç vb. olabilir.

Karma TP; karar değişkenlerinin bir kısmının bölünebilir, bir kısmının ise bölünemez olduğu problem tipidir.

İkili (Binary, 0-1) TP; "evet" veya "hayır" kararları ile ilişkili olan veya atamaların yapıldığı problem tipidir. Bu tip problemlerde karar değişkenleri verilen kararın evet ya da hayır olmasına veya atama problemlerindeki gibi atamanın yapılıp yapılmamasına göre, sırasıyla 1 veya 0 değerini almaktadır.

Bir TP probleminde bütün kısıtlar ve amaç fonksiyonu lineer yapıda olduğunda problem Tamsayılı Lineer Programlama Problemi olarak adlandırılır. Tamsayılı Lineer Programlama Problemi için geliştirilmiş algoritmalar, lineer programlamanın başarılı sonuçlar veren hesap yöntemlerinden yararlanma üzerine inşa edilmişlerdir. Bu algoritmalardaki stratejiler üç adım içermektedir:

Adım 1: Bütün tamsayılı değişkenlerle ilgili tamsayı olma kısıtlarını kaldırarak tamsayılı lineer programlama çözüm uzayını gevşet. Böylelikle problem, normal lineer programlama haline gelmiş olur.

Adım 2: Lineer programlama problemini çözerek sürekli (kesirli veya tamsayı) optimumu belirle.

Adım 3: Sürekli optimumdan başlayıp, tekrarlı bi şekilde özel kısıtlar ekleyerek çözüm uzayında düzeltmeler yap.

Böylelikle, tamsayılı gereksinimleri de karşılayacak bir optimum uç noktaya ulaşılacaktır [21].

Tamsayılı Lineer Programlama problemlerinin çözülmesi için geliştirilen yöntemlerden en bilinenleri Dal-Sınır Yöntemi ve Gomory Kesme Düzlemi Yöntemi'dir.

İkili TP, ZÇP'nin ilk ortaya çıktığı dönemlerden bu yana kullanılan bir yöntemdir. ZÇP modelinin temelini oluşturan ikili yapıdaki karar değişkenleri büyük boyuttaki problemlerin çözümünde sorun yaratabilmektedir. Ancak günümüz bilgisayar teknolojisindeki gelişmeler, matematiksel çözüm tekniklerini tekrar popüler hale getirmiştir.

3.2.2 Hedef Programlama

Hedef Programlama, ilk kez 1950'li yıllarda Charnes, Cooper ve Ferguson tarafından tasarlanmış ve yapısı gereği genellikle çok amaçlı problemleri çözmek için kullanılan bir yöntemdir. Hedef Programlama, amaçları doğrudan maksimize veya minimize etmek yerine, amaçlara atanan hedeflerden sapmaları minimize etmeye çalışır.

Gerçek hayatta karar verici belirlediği her hedefe aynı önemi vermeyebilir. Bir başka deyişle, bir hedefe ulaşmak diğerine ulaşmaktan daha önemli olabilir. Bu nedenle karar verici hedef programlama yönteminde her bir hedef için öncelik ve/veya ağırlık da belirleyebilir. Hedef Programlama, çözüm sürecinde belirlenen bu öncelikleri ve/veya ağırlıkları dikkate alarak yaklaşık bir çözüm elde eder.

ZÇP'nin çok amaçlı olarak modellendiği tiplerinde sıklıkla hedef programlamadan yararlanılabilmektedir.

3.2.3 Sezgisel Algoritmalar

Sezgisel algoritmalar, herhangi bir amacı gerçekleştirmek veya hedefe varmak için doğal olaylardan esinlenirler. Bu algoritmalar optimum çözüme yakınsarlar; ancak optimum çözümü garantilemezler. Çoğunlukla optimum çözümün yakınlarında bir çözüm üretilmesini sağlamaktadırlar. Karar verici için anlaşılırlık yönünden basit bir algoritma olmaları Sezgisel Algoritmaların avantajıdır.

Sezgisel yönteme ihtiyaç duyulan durumlar aşağıda sıralanmıştır:

- Eldeki problem, optimum çözümün direkt olarak bulunmasının mümkün olmadığı bir yapıya sahip olabilir.
- Sezgisel yöntemi kullanmak karar verici açısından daha iyi anlaşılmak için tercih edilmiş olabilir.
- Optimum çözümü bulmak için yapılan işlemlerin bir parçası olarak ya da öğrenme amaçlı kullanılabilirler.
- Matematik formülleriyle yapılan modellerde genellikle modeli zorlaştıran faktörler ihmal edilmektedir, bu durumda matematik yöntemler kullanılarak elde edilecek olan sonuç sezgisel yöntemler kullanılarak elde edilecek sonuçtan daha büyük hatalara neden olabilir, bu durumlarda sezgisel yöntemlerin kullanılması daha makuldür [29].

Literatürde birçok farklı sezgisel yöntemler bulunmakla beraber, bunlardan en yaygın olanları Tabu Arama (TA), Genetik Algoritma ve Karınca Kolonisi Yöntemleridir.

TA yöntemi, Glover tarafından 1989'da geliştirilmiştir. Bu algoritmada, arama sırasında lokal optimum noktalara takılmaktan kurtulmak için daha önce arama sırasında elde edilen bilgiler kullanılmaktadır. Kısa dönemli hafıza denilen bu yapıda arama sırasında henüz ziyaret edilen çözümler bir tabu listesinde tutulmakta ve algoritma süresince bu çözümlerin tekrar ele alınması engellenmektedir [30].

Genetik Algoritmalar, doğal seçim ilkelerini esas alan bir çözüm arama yöntemidir. Genetik Algoritmalarda tek bir çözüm değil, çözümler kümesi elde edilir. Genetik Algoritmaların bugünkü hali ilk kez 1975 yılında Holland tarafından ortaya atılmıştır. Genetik algoritma tekniği, çözüm uzayının büyüklüğüne rağmen iyi bir çözüme kısa zamanda yakınsayabilmektedir. Fakat tüm sezgisel yöntemlerde olduğu gibi optimali bulmayı garanti edememektedir. Genetik algoritma Seçim, Çaprazlama ve Mutasyon adlı üç temel işlemden oluşmaktadır [31].

Karınca kolonilerinin davranışlarının esas alındığı Karınca Kolonisi yöntemi ise 1996 yılında Marco Diagro tarafından bulunmuştur. Bu yöntem, karıncaların sürü zekâsını temel prensip almaktadır. Bir popülasyon algoritması olan Karınca Kolonisi, problemin muhtemel çözüm noktalarından ve ağırlıklı ayrıtlardan oluşan graf modeli üzerinde, sonlu sayıda karıncayı, amaç fonksiyonunu baz alan feromon salgısı ile dolaştırıp, olayı simüle etmektedir. Böylece sürü zekası ile optimum çözüme yakın çözüm kümesi elde edilmeye çalışılmaktadır. Karınca Kolonisi algoritması geri beslemeli olarak çalışır. Oluşturulan modelde, karıncaların aramaları problemin çözüm kümesini, yiyeceğe ulaşan yol amaç fonksiyonunu, feromon madde ise hafıza kavramını temsil eder [32].

BÖLÜM 4

ÜNİVERSİTE DERS ZAMAN ÇİZELGELEME PROBLEMİ ÜZERİNE BİR UYGULAMA

Tezimizde, yurt içi bir üniversitenin Matematik Bölümü'ne ilişkin bir dönemlik ÜDZÇP, bir ikili tamsayılı programlama problemi olarak modellenmiştir. Oluşturulan model, üniversitenin el ile atama yapan bu bölümünden alınan gerçek verilerle çalıştırılmış, fakat bilgi güvenliği açısından üniversite ismi ve veri etiketleri (fiziki mekan, öğretim elemanı, vb.) gerçek isimleriyle değil temsili isimlerle sunulmuştur. Modelde, literatürde ÜDZÇP yapısında bulunan klasik zorunlu kısıtların yanı sıra, ele alınan Bölüm'e göre düzenlenen özel durumları ifade eden zorunlu kısıtlar, Bölüm'ün ihtiyaçlarını karşılayacak ve ders programının kalitesini arttıracak esnek kısıtlar da mevcuttur. Esnek kısıtlar, hem amaç fonksiyon katsayıları yoluyla hem de direkt matematiksel kısıt olarak modele dahil edilmiştir. Oluşturulan model bir paket program yardımıyla çözülmüş ve adı geçen Bölüm için haftalık ders programı oluşturulmuştur.

4.1 Modelin Genel Yapısı

Üniversite Zaman Çizelgeleme Problemi (ÜZÇP), her üniversitenin kendi özel yapısına göre şekillendiği için tek bir şekilde modellenememektedir. Bu sebeple tez kapsamında oluşturduğumuz model, sayısal verilerin sağlandığı Bölüm'ün ihtiyaçlarını karşılayacak şekilde kurulmuştur. Ele alınan Bölüm'e yönelik oluşturulan bu model, aynı üniversitenin ve yurt içi birçok üniversitenin bünyesindeki diğer bölümlere de uyarlanabilir niteliktedir.

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

- Bölüm'de, hafta içi beş gün, saat sekiz (08.00) ile on sekiz (18.00) arasında öğretim yapılmaktadır.
- Bölüm'e ait toplam yedi adet derslik ve iki bilgisayar laboratuarı bulunmakta, bu fiziki mekanların kullanıma uygun olduğu günler ve günler içerisindeki zaman aralıkları önceden bilinmektedir.
- Ders planı içerisinde bulunan derslerin hangi tür fiziki mekanda (derslik veya laboratuar) işleneceği önceden bilinmektedir.
- Dersi alacak öğrenci sayısı Bölüm tarafından tahmini olarak belirlenmekte ve buna bağlı olarak her bir ders için uygun kapasiteli fiziki mekanlar tanımlanmaktadır.
- Bölüm'ün 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.
- Bölüm'ün ders planı sekiz yarıyıldan oluşmakta ve bu yarıyıllarda hangi derslerin bulunduğu bilinmektedir. İlk altı yarıyılda Zorunlu Dersler, yedinci ve sekizinci yarıyıllarda ise Bölüm Seçimlik dersler ağırlıktadır.
- Bölüm'de 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. Tezimizde 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 Bölüm'ün öğretim elemanları tarafından verilmektedir. Tezde 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 mekana atanacağı, haftalık ders programı oluşturulmadan önce ilgili Bölüm'e 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 mekan tahsis edemediği durumlarla da karşılaşılabilmekte, böyle durumlarda fiziki mekan tahsisi Bölüm'e ait fiziki mekanlardan yapılmaktadır.
- Tezimizde 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 yarıyılda 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 yarıyılda (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.

4.2 ÜDZÇP'nin Matematiksel Modeli

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

4.2.1 İndisler, Kümeler, Parametreler ve Değişkenler

İndisler

i: Gün indisi $\quad i \in I = \{1, 2, ..., i_{son}\}$

j: Zaman aralığı indisi $\quad j \in J = \{1, 2, ..., j_{son}\}$

k: Öğrenci grubu indisi $\quad k \in K = \{1, 2, ..., k_{son}\}$

l: Öğretim elemanı indisi $\quad l \in L = \{1, 2, ..., l_{son}\}$

m, m': Ders indisi $\quad m, m' \in M = \{1, 2, ..., m_{son} = m'_{son}\}$

ms: Seçimlik ders indisi $\quad ms \in MS = \{1, 2, ..., ms_{son}\}$

n: Fiziki mekan indisi $\quad n \in N = \{1, 2, ..., n_{son}\}$

p: Derse ait oturum sayısı indisi $\quad p \in P = \{1, 2, ..., p_{son}\}$

i, öğretim yapılan günlerin indisidir. İlgili Bölüm'de hafta içi öğretim yapıldığından $i \in \{1, 2, ..., 5\}$ '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 Bölüm'de sekiz (08.00) ile on sekiz (18.00) arasında öğretim yapıldığından, $j \in \{1, 2, ..., 10\}$ '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 yansıtabilmek 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:

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

M_l kümesi, l öğretim elemanının verdiği derslerin kümesidir. Bölüm 4.1'de de verildiği gibi uygulama verilerinin alındığı Matematik Bölümü'nde 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 $\overline{M}_n$ 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 dahil edilir. I_l kümesi, ön belirleme kısıtlarında, $I \setminus I_l$ kümesi ise diğer kısıtlarda kullanılır.

Fiziki mekanların uygun olmadığı günler ve zaman aralıkları, $\overline{I}_n$ ve IJ_n kümeleri ile tanımlanır. Bir fiziki mekan $\forall i$, $\forall j$ 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.

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

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

Parametreler, haftalık ders programı oluşturulmadan önce belirlidir.

Değişkenler (Variables)

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

$$y^1_{k,i} = \left\{ \begin{array}{ll} 1 & \text{,öğrenci grubu } k\text{'nın } i \text{ gününde dersi varsa} \\ 0 & \text{,aksi taktirde} \end{array} \right\}, \forall (k,i) \in K \times I$$

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

$$y^3_{i,m} = \left\{ \begin{array}{ll} 1 & , m \text{ dersinin } i \text{ ve } (i+1) \text{ günlerinde oturumu varsa} \\ 0 & \text{,aksi taktirde} \end{array} \right\}, \forall (i,m) \in I \times M$$

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

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

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

Görüldüğü gibi tüm karar değişkenleri ikili yapıdadır.

4.2.2 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*'nın sağlanmaması bir dersin toplam ders saatinin haftalık ders programında yer almadığı dolayısıyla geçerli bir haftalık ders programının oluşturulamadığı 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.

4.2.2.1 Teklik Kısıtları

Öğretim elemanı teklik kısıtı olarak bilinen (4.1), bir öğretim elemanının belirli gün ve zaman aralığında, iki farklı fiziki mekana atanmasını engelleyen kısıttır.

$$\sum_{m \in M_l} \sum_{n \in N_m} x_{i,j,m,n} \leq 1 \qquad , \forall i \in I \setminus I_l, \forall j, \forall l \tag{4.1}$$

Fiziki mekan tekliğini sağlayan (4.2), bir fiziki mekana, belirli gün ve zaman aralığında birden fazla ders/öğretim elemanı/öğrenci grubu atanmasını engelleyen kısıttır.

$$\sum_{m \in \bar{M}_n} x_{i,j,m,n} \leq 1 \qquad , \forall i, \forall j, \forall n \tag{4.2}$$

Öğrenci gruplarının atamalarının tekliği (4.3) ile sağlanır. Bu kısıt belirli gün ve zaman aralığında, bir öğrenci grubuna birden fazla ders atanmasını engeller.

$$\sum_{m \in \dot{M}_k} \sum_{n} x_{i,j,m,n} \leq 1 \qquad , \forall i, j, k \tag{4.3}$$

4.2.2.2 Tamamlanma Kısıtları

Her bir ders için toplam ders saati tamamlanma kısıtı, bir dersin, tüm saatlerinin haftalık ders programında yer almasını garantiler ve aşağıda;

$$\sum_{i} \sum_{j} \sum_{n \in N_m} x_{i,j,m,n} = b_m \qquad , \forall m \tag{4.4}$$

olarak verilmiştir.

Öğretim elemanı ders yükü tamamlanma kısıtı, bir öğretim elemanına bir haftalık ders programında, öğretim elemanının vermesi gereken toplam ders yükü kadar atama yapılmasını garantiler ve aşağıda;

$$\sum_{m \in M_l} \sum_{i \in I \setminus I_l} \sum_{j} \sum_{n} x_{i,j,m,n} = s_l \qquad , \forall l \tag{4.5}$$

olarak verilmiştir.

Her bir öğrenci grubu için ders yükü tamamlanma kısıtı, bir öğrenci grubunun haftalık programında, model kapsamında atanması amaçlanan toplam ders saati kadar atama yapılmasını garantiler aşağıda verildiği gibidir;

$$\sum_{m\in \dot{M}_k}\sum_i\sum_j\sum_n x_{i,j,m,n}=a_k \qquad ,\forall k \tag{4.6}$$

4.2.2.3 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 aşağıda;

$$\sum_j\sum_{m\in \dot{M}_k}\sum_{n\in N_m} x_{i,j,m,n}\le 6 \qquad , \qquad \forall i,\ \forall k\neq 4 \tag{4.7}$$

olarak verilmiştir.

Burada (4.7) kısıtının öğrenci grubu 4 için işletilmediğine dikkat edilmelidir. Bunun sebebi, öğrenci grubu 4'ün haftalık ders programına, ders planında yer alan toplam bölüm seçimlik ders sayısından daha fazla sayıda bölüm seçimlik ders yerleştirilmesidir.

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 aşağıda;

$$\sum_{m\in \dot{M}_k}\sum_{n\in N_m}\sum_j x_{i,j,m,n}\ge 4 * y^1_{k,i} \qquad , \qquad \forall i,\ \forall k\neq 4 \tag{4.8}$$

olarak verilmiştir.

(4.8) kısıtının $y^1_{k,i}$ yardımcı değişkeni ile esnek yapıda oluşturulmasının sebebi, öğrenci gruplarına boş gün bırakılabilmesini engellememektir.

4.2.2.4 Ardışıklık Kısıtları

Tek bir derse ait iki ders saatinin art arda atanmasını garantileyen kısıt aşağıda;

$$-x_{i,j,m,n}+x_{i,j+1,m,n}-x_{i,j+2,m,n}\le 0\,, \qquad \forall i,j,m,\forall n\in N_m \tag{4.9}$$

olarak verilmiştir.

Üniversitenin uygulama verilerinin alındığı Bölümü'nde hiçbir ders, bir ders saati uzunluğunda bir oturuma sahip olmadığından (4.9) kısıtı tüm dersler için geçerlidir.

(4.9) 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 aşağıda;

$$-x_{i,j,m,n} + x_{i,j+1,m,n} - x_{i,j+3,m,n} \leq 0, \quad \forall i, j, \forall m \in \{h_{mp} = 3\}, \forall n \in N_m \tag{4.10}$$

olarak verilmiştir.

(4.10) kısıtında da (4.9) kısıtında anlatıldığı gibi tanım kümesi dışına çıkan indislere karşılık gelen değişkenler sıfır (0) olarak alınmıştır.

Bir öğrenci grubunun günlük alacağı ders saati sayısının üstten 6 ile sınırlandırıldığı göz önüne alınarak oluşturulan, öğrencilerin aynı gün içerisindeki iki ders arasındaki bekleme sürelerini azaltmaya yönelik zorunlu bir kısıt aşağıda;

$$\sum_{m \in M_k} \sum_{n \in N_m} \left(x_{i,j,m,n} + x_{i,j+6,m,n} \right) \leq 1, \qquad \forall i, \forall j, \forall k \neq 4 \tag{4.11}$$

olarak verilmiştir.

Örneğin, (4.11) kısıtı 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.

4.2.2.5 Oturum Kısıtları

Verilerin alındığı Bölüm'de 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

$$M^1 = \left\{ m \in M \,\middle|\, m \text{ dersi tek oturumda işlenmektedir} \left(h_{m2} = 0 \right) \right\}$$

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

$$\sum_{j} x_{i,j,m,n} = y^2{}_{i,m,1,n} * h_{m1} \qquad \forall i, \forall m \in M^1, \forall n \in N_m \qquad (4.12)$$

$$\sum_{i} \sum_{n \in N_m} y^2{}_{i,m,1,n} = 1 \qquad \forall m \in M^1 \qquad (4.13)$$

(4.12), i gününde yapılan tek oturumlu m dersinin oturum uzunluğunun tanımlanan uzunlukta (h_{m1}) olmasını, (4.13) ise bir oturumun yapılmasını garantiler.

İki oturumda işlenen dersler kümesi

$$M^2 = \left\{ m \in M \,\middle|\, m \text{ dersi iki oturumda işlenmektedir} \left(h_{m2} \neq 0 \right) \right\}$$

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 aşağıda;

$$\sum_{j} x_{i,j,m,n} = \sum_{p} y^2{}_{i,m,p,n} * h_{mp} \quad , \forall i, \forall m \in M^2, \forall n \in N_m \qquad (4.14)$$

olarak verilmiştir.

İki oturumlu bir dersin tüm oturumlarının yapılmasını garantileyen kısıt aşağıda;

$$\sum_{i} \sum_{p} \sum_{n \in N_m} y^2{}_{i,m,p,n} = 2 \quad , \forall m \in M^2 \qquad (4.15)$$

olarak verilmiştir.

Bir i gününde iki oturumlu bir m dersinin en fazla bir oturumunun yapılmasını garantileyen kısıt aşağıda;

$$\sum_{n \in N_m} \sum_{p} y^2{}_{i,m,p,n} \leq 1 \qquad \forall i, \forall m \in M^2$$

(4.16)

olarak verilmiştir.

İki oturumlu bir m dersinin oturumları arasında en az bir gün boşluk bırakılmasını sağlamaya çalışan kısıt diğer oturum kısıtlarının aksine esnek yapıdadır. Ve aşağıda;

$$\sum_{p} \sum_{n \in N_m} \left(y^2_{i,m,p,n} + y^2_{(i+1),m,p,n} \right) \leq 1 + y^3_{i,m} \quad , \forall i, \forall m \in M^2 \qquad (4.17)$$

olarak verilmiştir.

4.2.2.6 Çakışmama Kısıtları

Öğrenci grubu 3 için haftalık programda yer alacak derslerle, tüm bölüm seçimlik derslerin olabildiğince çakışmamasını sağlayan esnek kısıt aşağıda;

$$\sum_{n \in N_m} x_{i,j,m,n} + \sum_{n \in N_m} x_{i,j,ms,n} \leq 1 + y^4_{i,j,m,ms} \quad , \forall i, \forall j, \forall m \in \dot{M}_3, \forall ms \in \left(MS \setminus \dot{M}_3\right) \qquad (4.18)$$

olarak verilmiştir.

Öğrenci grubu 2 ve 3 için haftalık programda yer alacak derslerin olabildiğince çakışmamasını sağlayan esnek kısıt aşağıda;

$$\sum_{n \in N_m} x_{i,j,m,n} + \sum_{n \in N_{m'}} x_{i,j,m',n} \leq 1 + y^5_{i,j,m,m'} \quad , \forall i, \forall j, \forall m \in \dot{M}_2, \forall m' \in \dot{M}_3 \qquad (4.19)$$

olarak verilmiştir.

4.2.2.7 Laboratuar Kısıtı

Verilerin alındığı Bölüm'de iki adet bilgisayar laboratuarı bulunmaktadır. Öğretim kalitesi ve ders bütünlüğü açısından laboratuarda işlenen birden fazla oturuma sahip bir dersin daima aynı laboratuarda işlenmesi gerekir. Çünkü genelde öğrenci, laboratuarda kullandığı bilgisayarda daha önceki derslerinde oluşturduğu verileri, dosyaları kullanmaktadır. Oluşturulması amaçlanan haftalık ders programında, iki oturumda işlenen tek bir laboratuar dersi bulunmaktadır. Buna göre, hafta boyunca toplam ders saati dört olan, 2+2 şeklinde iki oturumda işlenen ve $\hat{m}$ ile gösterilecek bu laboratuar dersinin, iki oturumunun da aynı laboratuara atanmasını garantileyen kısıtlar;

$$\sum_{i} \sum_{p} y^2_{i,m,p,n} = 2 y^6_{m,n} \quad , \quad m = \hat{m}, \forall n \in N_{\hat{m}}, \qquad (4.20)$$

$$\sum_{n \in N_m} y^6_{m,n} = 1 \quad , \quad m = \hat{m}, \qquad (4.21)$$

olarak verilmiştir.

4.2.2.8 Ön Belirleme Kısıtları

Bir m dersinin, i gününün j. zaman aralığına ve n fiziki mekanına atanmasının haftalık ders programı oluşturulmadan önce belirlendiği durumlarda gerekli atamayı yapan kısıt aşağıda;

$$x_{i,j,m,n} = 1 \;, \quad \forall (i,j,m,n) \in PRA_1 \tag{4.22}$$

olarak verilmiştir.

Bu kısıt, örneğin bir öğretim elemanının idari bir görevi olduğunda işletilebilir.

Bir m dersinin, i gününün j. zaman aralığına ve n fiziki mekanına atanmasının uygun olmadığı durumlarda işletilen kısıt aşağıda;

$$x_{i,j,m,n} = 0 \;, \quad \forall (i,j,m,n) \in PRA_0 \tag{4.23}$$

olarak verilmiştir.

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.

4.2.2.9 Değişken Tipi Kısıtı

Karar değişkenlerinin tipini gösteren kısıttır. Bölüm 4.2.1'de tanımları verilen bu karar değişkenlerinin hepsi ikili yapıdadır.

$$x_{i,j,m,n}, y^1_{k,i}, y^2_{i,m,p,n}, y^3_{i,m}, y^4_{i,j,m,ms}, y^5_{i,j,m,m'}, y^6_{m,n} \in \{0,1\} \tag{4.24}$$

4.2.3 Amaç Fonksiyonu

$$\begin{aligned} \max z = & \sum_i \sum_j \sum_m \sum_n \left(p_1 * wl_{mi} + p_2 * w_j\right) x_{i,j,m,n} - p_3 * \sum_i \sum_j \sum_{m \in \dot{M}_3} \sum_{ms \in (MS \setminus \dot{M}_3)} y^4_{i,j,m,ms} \\ & - p_4 * \sum_i \sum_j \sum_{m \in \dot{M}_2} \sum_{m' \in \dot{M}_3} y^5_{i,j,m,m'} - p_5 * \sum_i \sum_{m \in M^2} y^3_{i,m} \\ & + p_6 * \sum_{k \in (K \setminus \{4\})} \sum_i y^1_{k,i} \end{aligned} \tag{4.25}$$

Maksimizasyon yönünde çalışan ve (4.25) ile verilen amaç fonksiyonu, yapılacak atamaların, olabildiğince öğretim kalitesini arttıracak ve Bölüm'ün/öğretim elemanlarının istekleri doğrultusunda hareket edecek nitelikte olmasını sağlamaktadır. Amaç fonksiyonundaki ağırlık katsayıları, daha önce Bölüm 3.1.1'de vurgulandığı gibi amacın, aynı zamanda bir esnek kısıt görevi görmesini sağlamaktadır.

(4.25) ile verilen amaç fonksiyonunun ilk terimi hariç her bir terimi, bu terimin içerdiği yardımcı değişkene karşılık gelen 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 büyük katsayının atanması kuralı esas alınarak oluşturulmuştur. Ayrıca bu ağırlıklar belirlenirken, bu ağırlıklarla çarpılan toplamsal ifadelerin büyüklükleri de dikkate alınarak bir dengeleme yapılmasına dikkat edilmiştir. Bu anlatılanlar doğrultusunda tezimizdeki uygulama için oluşturulan ağırlıklar $p_1 = 1$, $p_2 = 0.5$, $p_3 = 10$, $p_4 = 5$, $p_5 = 50$, $p_6 = 100$'dür. Kısıtların önem sıralamasının ve derecesinin farklı olduğu herhangi başka bir uygulama için bu ağırlıklara farklı değerler atanması mümkündür.

(4.25)'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 olduğundan bunların katsayıları sırasıyla 1 ve 0.5 olarak alınmıştır. Ayrıca eğer istenirse amaç fonksiyonunun ilk terimine sınıfların tercih edilme durumlarını yansıtan $\overline{w}_n$ tercih ağırlıkları da dahil edilebilir.

Çizelge 4. 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 (Çizelge 4.1). 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 $y^4_{i,j,m,ms}$, $y^5_{i,j,m,m'}$, $y^3_{i,m}$ ve $y^1_{k,i}$ 'dir. Bu değişkenler de ilgili esnek kısıtların olabildiğince sağlanması maksadıyla amaca dahil edilmelidir. Bunlardan $y^4_{i,j,m,ms}$, $y^5_{i,j,m,m'}$, $y^3_{i,m}$ olabildiğince 0 yapılmak istenen değişkenlerdir. Amaç maksimizasyon olduğundan bu değişkenlerin amaç fonksiyon katsayıları negatif iken $y^1_{k,i}$ değişkeni ise 1 yapılmak istendiğinden amaç fonksiyon katsayısının işareti pozitiftir. 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. $y^1_{k,i}$ yardımcı değişkeni, $k\left(k=1,2,3\right)$ 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 ataması yapılmıştır. $y^3_{i,m}$ değişkeni; iki oturumlu derslerin oturumları arasında en az bir gün boşluk bırakılmasını sağlamaya çalışan kısıta, $y^4{}_{i,j,m,ms}$, $y^5{}_{i,j,m,m'}$ 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 (4.25)'de görüldüğü gibi belirlenmiştir.

4.3 Sayısal Örnek

Üniversitenin hafta içi beş gün, sabah 08.00 ile akşam 18.00 saatleri arasında toplam on farklı zaman aralığında öğretim yapılan Bölüm'de, dört öğrenci grubu ve dokuz adet fiziki mekan 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. Bölüm'ün bünyesindeki Yüksek Lisans – Doktora programlarının ve Matematik Bölümü tarafından üniversite geneline verilen servis derslerinin (Matematik 1, Matematik 2, Lineer Cebir, Diferansiyel Denklemler) çizelgelenmesi tezimiz kapsamı dışında tutulmuştur. Tezimizde asıl amaçlanan, haftalık ders programı oluşturma aşamalarında karşılaşılan özel durum ve istekler ile kıt 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.

Bölüm'ün lisans öğretiminin ele alınan yarıyıla ait ders planı Çizelge 4.2'de verilmiştir.

Çizelge 4. 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

Çizelge 4.2'den 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 yarıyılda Bölüm, *Ders Bildirim Formları*'nın değerlendirilmesi sonucunda on bir (11) adet bölüm seçimlik dersin açılması kararını almıştır. Açılmasına karar verilen Bölüm Seçimlik derslerin kümesi;

$$MS = \left\{ \begin{array}{l} Halkalar\ ve\ Modüller,\ Sigorta\ Matematiği, \\ Lineer\ Operatörlere\ Giriş, Hilbert\ Uzaylarına\ Giriş, \\ Değişmeli\ Cebir,\ Nümerik\ Analiz\ 2, Lineer\ Cebir\ 2, \\ Kodlama\ Teorisine\ Giriş,\ Diferansiyel\ Denklemler\ 2, \\ Graf\ Teoriye\ Giriş,\ Klasik\ Matris\ Gruplarına\ Giriş \end{array} \right\} \quad (4.26)$$

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

$$M = \left\{ \begin{array}{l} Matematik\ Analiz\ 2,\ Analitik\ Geometri,\ Soyut\ Matematik, \\ Bilgisayar\ Programlamaya\ Giriş, Matematik\ Analiz\ 4, \\ Kısmi\ Türevli\ Diferansiyel\ Denklemler,\ Cebir\ 2, \\ Olasılık\ ve\ İstatistik,\ Mesleki\ İngilizce\ 1, Bilgisayar\ Programlama\ 2, \\ Kompleks\ Fonksiyonlar\ Teorisi\ 1,\ Diferansiyel\ Geometri,\ Fonksiyonel\ Analiz, \\ İş\ Hayatı\ için\ İngilizce, Topoloji,\ Halkalar\ ve\ Modüller,\ Sigorta\ Matematiği, \\ Lineer\ Operatörlere\ Giriş, Hilbert\ Uzaylarına\ Giriş,\ Değişmeli\ Cebir, \\ Nümerik\ Analiz\ 2,\ Lineer\ Cebir\ 2, Kodlama\ Teorisine\ Giriş, \\ Diferansiyel\ Denklemler\ 2, Graf\ Teoriye\ Giriş,\ Klasik\ Matris\ Gruplarına\ Giriş \end{array} \right\} (4.27)$$

dir. Bu dersler, gösterimde kolaylık olması açısından $m, \overline{m}$'deki veri sırasına göre isimlendirilecektir.

Buna göre sayısal örneğe ait indis kümeleri aşağıdaki gibidir:

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

Çizelge 4.2'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 Bölüm'e bildirilen bu derslerin ait oldukları gün ve zaman aralıkları Çizelge 4.3'te verilmiştir. Koyu olarak gösterilen ancak atama yapılmayacak olan ders *Bitirme Ödevi*'dir. Bu derse haftalık ders programında bir atama yapılmamaktadır.

Çizelge 4.3'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 Bölüm'e ait olan *N1* dersliğinde yapılması planlanmıştır. Bu ders hem Bölüm'ün fiziki kaynaklarını hem de ilgili öğrenci grubunun zamanını kısıtlamaktadır. Bütün bu anlatılan kısıtlamalar haftalık ders programı oluşturulmadan önce belirlendiği için birer Ön Belirleme kısıtıdırlar. Buna göre bu ön belirlemeleri tanımlayan PRA_0 kümesine dahil edilmesi gereken indisler aşağıda verilmiştir:

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

$$\forall m \in M \text{ olmak üzere}$$
$$(Pazartesi, 2, m, N1), (Pazartesi, 3, m, N1), (Pazartesi, 4, m, N1) \in PRA_0$$

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:

$$\forall n \in N,\ \forall m \in \dot{M}_1 \text{ olmak üzere}$$
$$(Pazartesi, 6, m, n), (Pazartesi, 7, m, n), (Salı, 3, m, n), (Salı, 4, m, n), (Salı, 6, m, n),$$
$$(Salı, 7, m, n), (Salı, 8, m, n) \in PRA_0$$

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

Tez 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 dahil edilmesi ile modele yansıtılır:

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

Çizelge 4. 3 Dış Bölümlerden Programa Ataması Yapılan Dersler.

<table>
<tr><td>Zaman Aralığı</td><td colspan="5">GÜNLER</td></tr>
<tr><td></td><td>Pazartesi</td><td>Salı</td><td>Çarşamba</td><td>Perşembe</td><td>Cuma</td></tr>
<tr><td>8.00-8.50</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr>
<tr><td>9.00-9.50</td><td rowspan="3">Fizik 2
N1</td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr>
<tr><td>10.00-10.50</td><td rowspan="2">Atatürk İlkeleri ve
İnkılap Tarihi 2</td><td></td><td></td><td></td></tr>
<tr><td>11.00-11.50</td><td></td><td></td><td></td></tr>
<tr><td>12.00-12.50</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr>
<tr><td>13.00-13.50</td><td rowspan="2">Türkçe 2</td><td rowspan="3">İleri İngilizce 2</td><td></td><td></td><td></td></tr>
<tr><td>14.00-14.50</td><td></td><td></td><td></td></tr>
<tr><td>15.00-15.50</td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr>
<tr><td>16.00-16.50</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr>
<tr><td>17.00-17.50</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr>
</table>

Sonuç olarak, model kapsamında atanması istenen on beş adet zorunlu ders ve on bir adet seçimlik ders bulunmaktadır. Zorunlu derslerden iki tanesi sadece laboratuarlarda, diğer tüm dersler ise dersliklerde yapılmaktadır. Derslikler ve laboratuarlardan biri haftanın beş günü tüm zaman aralıklarında $(j = 1, 2, \ldots, 10)$ Bölüm'ün kullanımına açık iken, diğer laboratuarın kullanım zamanları kısıtlıdır. Bu laboratuar, 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 mekanlar Çizelge 4.4'te, bu fiziki mekanların kullanıma açık olduğu gün ve zaman aralıkları ise Çizelge 4.5'te görüldüğü gibidir. Ayrıca, öğretim elemanlarının m dersleri için tüm i günlerine atadıkları tercih ağırlıkları Çizelge 4.6'da, haftalık ders programındaki j zaman aralıkları için atanan tercih ağırlıkları Çizelge 4.7'de, m derslerinin p oturum boyutları (h_{mp} kümesi) ile Çizelge 4.7'de verildiği gibidir. Buna göre, Çizelge 4.2'den M_k, Çizelge 4.4'ten M_l, $\overline{M}_n$ ve N_m, Çizelge 4.5'ten ise $\overline{I}_n$ ve IJ_n kümeleri, Çizelge

4.2'den b_m ve a_k, Çizelge 4.2 ve Çizelge 4.4'den s_l, Çizelge 4.6'dan wl_{mi}, Çizelge 4.7'den w_j , Çizelge 4.7'den h_{mp} parametreleri oluşturulmuştur.

Çizelge 4. 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

Çizelge 4. 5 Fiziki Mekan Koşulları.

Fiziki Mekan 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

Çizelge 4. 6 Dersler İçin Gün Tercih Ağırlıkları.

	GÜNLER				
Öğretim Elemanı	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

Çizelge 4. 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

Çizelge 4. 8 Oturum Boyutları.

	Oturum Boyutları	
Ders	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 dahil 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 Bölüm'ün 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 dahil edilmesi gereken indisler aşağıda verilmiştir:

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

Böylece modele ait tüm kümeler ve parametreler tanımlanmıştır. Bölüm'ün tüm kabul ve koşullarına dayanarak oluşturulan modelin amacı, $m \in M$ derslerinin haftalık ders programına en yüksek tatmini verecek şekilde atanmasını sağlamaktır. Buna göre, (4.1) – (4.25)'e karşılık gelen ikili lineer programlama yapısındaki model kurulmuş ve bir paket program kullanılarak model çözülmüştür. Elde edilen haftalık ders programı Çizelge 4.9'da verilmiştir.

Tez kapsamında ÜDZÇP için önerilen modelin çözümü ile elde ettiğimiz ders programı ve Çizelge 4.5 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.

Çizelge 4. 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*			Lineer Cebir 2 N4
	10.00-10.50		Bilg. Prog. 2 Lab1		
	11.00-11.50				
	12.00-12.50		Olasılık ve İst. N1		Kodlama Teo. Gir N5
	13.00-13.50	Türkçe 2		İş Hayatı İçin İng. N4	
	14.00-14.50				
	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				
	12.00-12.50			Fonk. Analiz N3	
	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			Nümerik Analiz 2 N7
	10.00-10.50		Kısmi Türevli Dif. Denk. N4		
	11.00-11.50	Analitik Geo. N2			
	12.00-12.50				Dif. Denk. 2 N5
	13.00-13.50		Bilg. Prog. 2 Lab1	Dif. Geo. N6	
	14.00-14.50				
	15.00-15.50			Halkalar Ve Modüller N5	Topoloji N3
	16.00-16.50				
	17.00-17.50				
PERŞEMBE	08.00-08.50			BOŞ GÜN	
	09.00-09.50				Sigorta Mat N2
	10.00-10.50	Soyut Mat 1 N3			
	11.00-11.50				
	12.00-12.50				Hilbert Uzaylarına Gir. N3
	13.00-13.50	Bilg. Prog. Gir. Lab1	Olasılık ve İst. N5		
	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		
	11.00-11.50				
	12.00-12.50				Graf Teo. N3
	13.00-13.50	Analiz 2 N7	Mesleki İng. N4		
	14.00-14.50			Komp. Fonk. Teo. N2	Topoloji N5
	15.00-15.50				
	16.00-16.50			Fonk. Analiz N3	
	17.00-17.50				

BÖLÜM 5

SONUÇ VE ÖNERİLER

Atama Problemi, belirli sayıda işçinin belirli sayıda işe atanmasını sağlayan işlemler bütünüdür. AP'nde amaçlanan yapılan atamaların en düşük maliyetle gerçekleştirilmesidir. AP'nin literatürde sık karşılaşılan tiplerinden olan Zaman Çizelgeleme ise kaynakların sınırlı sayıdaki zaman aralıklarına ve yer kısıtlamalarına bağlı olarak atanması problemi olarak tanımlanır. Literatürde çeşitli Zaman Çizelgeleme Problemleri bulunmaktadır. Bunlardan bazıları Eğitim, Ulaşım, Sağlık, Spor, Makine ve Personel Zaman Çizelgeleme Problemleridir. Tezimizde bu Zaman Çizelgeleme tiplerinden Eğitim Zaman Çizelgeleme Problemi ele alınmıştır.

Eğitim Zaman Çizelgeleme Problemi (EZÇP), eğitim kurumlarında, öğretmen ve öğrenci gruplarına ait derslerin uygun zaman aralıklarında uygun kapasiteli sınıflara atanması ile ilgilenir ve ilgili kurumun kaynaklarına, ihtiyaçlarına ve beklentilerine uygun olan en iyi atamaların yapılmasını amaçlar. Eğitim Zaman Çizelgeleme ile ilgili literatürde farklı birçok sınıflandırma mevcuttur. Tezimizde, EZÇP, Okul ve Üniversite; ÜZÇ ise Ders ve Sınav başlıkları altında incelenmiştir. Bunlardan ÜSZÇP, öğrenci gruplarının ve öğretim elemanlarının dönem boyunca sorumlu oldukları derslerin sınavlarına, uygun fiziki mekanlarda girmeleri için sınav zaman çizelgesi oluşturmayı amaçlarken, ÜDZÇP ise dönem boyunca öğrenci gruplarının ve öğretim elemanlarının kullanacağı haftalık ders programı çizelgesi oluşturmayı amaçlar. Tezimizde ÜDZÇP'ne odaklanılmıştır. ÜDZÇP de ZÇP gibi zorunlu (hard) ve esnek (soft) olmak üzere iki kategoriye ayrılan çok sayıda kısıt içermektedir. Zorunlu kısıtlar katı bir şekilde uygulanan ve zaman çizelgeleme düzenlemesinde mutlaka yerine getirilmesi gereken kısıtlardır. Esnek kısıtlar ise arzu edilen fakat mutlaka yerine getirilmesi gerekmeyen kısıtlardır.

Tezimizde yurt içi bir Üniversite'nin haftalık ders programı atamalarını el ile yapan Matematik Bölümü'nün bir yarıyılına ait ders/öğretim elemanı/öğrenci grubu/fiziki mekan atamalarının en yüksek tatmin düzeyinde olmasını hedefleyen ikili programlama yapısında bir model oluşturulmuş ve sayısal bir örnek sunulmuştur. Sayısal örnekte kullanılan veriler, ilgili Matematik Bölümü'nün bir önceki yarıyılındaki bilgilerden elde edilmiştir.

Önerilen modelde, probleme ait literatürde yaygın olarak bulunan teklik, tamamlanma, ardışıklık kısıtlarının yanı sıra Matematik Bölümü'nün isteklerini karşılayacak ve haftalık ders programının kalitesini arttıracak yeni kısıtlar da bulunmaktadır. Bu kısıtlardan teklik, tamamlanma, ardışıklık, laboratuar, ön belirleme kısıtları ve oturum kısıtları ile günlük ders yükü kısıtlarından bazıları zorunlu kısıt kategorisine girmektedir. Teklik, tamamlanma, ardışıklık ve ön belirleme kısıtları ÜDZÇP'nin temel kısıtlarıdır ve literatürde ÜDZÇP için oluşturulan çoğu modelde bulunmaktadır. Oturum kısıtları literatürdeki bazı kısıtlardan esinlenilerek Matematik Bölümü'ne özel uyarlanmış kısıtlardır. Laboratuar kısıtı ile Günlük Ders Yükü kısıtı ise öğretim kalitesini arttırmaya yönelik oluşturulan yapısal kısıtlardır. Bu zorunlu kısıtların yanı sıra; öğrenci grubu 2, öğrenci grubu 3 ve öğrenci grubu 4'ün haftalık ders programında yer alacak derslerinin olabildiğince çakışmamasını sağlayan Çakışmama kısıtları, iki oturumlu bir dersin oturumları arasında en az bir gün boşluk bırakılmasını sağlayan Oturum kısıtı ve bir öğrenci grubunun günlük en az iki ders almasını sağlayan Günlük Ders Yükü kısıtı esnek kısıt kategorisine girmektedir ve bu kısıtlar öğretim kalitesini arttırmaya yönelik tez kapsamında oluşturulan yapısal kısıtlardır.

Modelin maksimizasyon yönünde çalışan amaç fonksiyonu, yapılacak atamaların, olabildiğince öğretim kalitesini arttıracak ve üniversitenin ilgili Bölümü'nün/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 ilk terimi hariç her bir teriminin, bu terimin içerdiği yardımcı değişkene karşılık gelen 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 ağrılıkları da dahil edilebilmektedir. Tüm bu ağırlıklar amacın, aynı zamanda bir esnek kısıt görevi görmesini sağlamakta 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.

Tezimizde haftalık ders programı oluşturma aşamalarında karşılaşılan özel durum ve istekler ile kıt 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 Üniversite'nin Matematik Bölümü'nde karşılaşılan ÜDZÇP, ikili tamsayılı programlama olarak modellenmiş ve bir paket program aracılığıyla çözülmüştür. Modelimiz ilgili Matematik Bölümü'nün 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 genişletilebilir. Ayrıca model tek bir bölümün değil, bir fakülteye ve hatta bir üniversiteye ait birçok bölümün atamalarını kapsayacak şekilde de genişletilebilme imkanına sahiptir. Anlatılan bu durumlar tezimizde verilen ÜDZÇP modelinin gelişmesine ve gerçek hayata uyarlanmasına önemli katkılar sağlayabilir.

KAYNAKLAR

[1] Öner, A. ve Ülengin, F., (2003). "Atama Problemi İçin Çözüm Yaklaşımı" İTÜ Dergisi/d, 2,:73-79.

[2] Burke, E.K., Werra de, D. ve Kingston, J., (2004). "Handbook of Graph Theory", Bölüm: "Applications To Timetabling", 45-474, Chapman Hall/CRC Press

[3] Bardadym, V. A., Computer Aided School and University Timetabling: The New Wave, in E. Burke and P. Ross (Eds.) The Practice and Theory of Automated Timetabling I (PATAT 1995, Edinburgh, Aug/Sept, selected papers) (Lecture Notes in Computer Science, Vol. 1153). Springer, (1996), 22-45.

[4] Burke, E. ve Ross, P. (Eds.), The Practice and Theory of Automated Timetabling I (PATAT 1995, Edinburgh, Aug/Sept, selected papers) (Lecture Notes in Computer Science, Vol. 1153), Springer, 1996.

[5] Burke, E. K., Elliman. D.G. ve Weare. R.F., (1994). "A University Timetabling System Based on Graph Colouring and Constraint Manipulation", Journal of Research on Computing in Education, 27: 1-18.

[6] Burke, E.K. ve Petrovic S., (2002). "Recent Research Directions in Automated Timetabling", Journal of Research on Computing in Education, 140: 266-280.

[7] Petrovic, S. ve Burke, E.K., (2004). "Handbook of Scheduling: Algorithms, Models, and Performance Analysis", Bölüm: "University Timetabling", Automated Scheduling, Optimisation and Planning (ASAP) Research Group School of Computer Science and Information Technology, University of Nottingham, Jubilee Campus, Nottingham NG8 1BB, UK.

[8] Daskalaki, S., Birbas, T. ve Housos, E., (2004). "An Integer Programming Formulation For A Case Study in University Timetabling", Europan Journal of Operational Research, 153: 117-135.

[9] Werra, de D., (1985). "An Introduction to Timetabling", Europan Journal of Operational Research, 19: 151-162.

[10] Kwok, L.K., Kong, S.C. ve Kam, Y.Y.,(1997). "Timetabling In Hong Kong Secondary Schools", Computers Educ, 28: 173-183.

[11] Kong, S.C. ve Kwok, L.K., (1999). "A Conceptual Model of Knowledge-Based Time-Tabling System", Knowledge Based Systems, 12: 81-93.

[12] Kahar, M.N.M. ve Kendall, G., (2010). "The Examination Timetabling Problem at Universiti Malaysia Pahang: Coparison of A Constructive Heuristic

with An Existing Software Solution”, Europan Journal of Operational Research, 207: 557-565.

[13] Akkoyunlu, E.A., (1972). “A Linear Algorithm For Computing The Optimum University Timetable”

http://comjnl.oxfordjournals.org/content/16/4/347.abstract, 10 Haziran 2012.

[14] Dinkel, J., Mote, J. ve Venkataramanan, M.A., (1989). “ An Efficient Desicion Support System For Academic Course Scheduling”, Operations Research; 37,6; Abi/Inform Global, 853.

[15] Badri, M.A., Davis, D.L., Davis, D.F. ve Hollingsworth, J., (1998). “A Multi-Objective Course Scheduling Model: Combining Faculty Preferences For Courses And Times”, Computer Ops Res., 25: 303-316.

[16] Deris, S., Omatu, S. ve Ohta, H., (2000). ”Timetable Planning Using The Constarint-Based Reasoning”, Computers & Operations Research, 27: 819-840.

[17] Daskalaki, S., ve Birbas, T., (2005). ”Efficient Solutions for A University Timetabling Problem Through Integer Programming, Europan Journal of Operational Research, 160: 106-120.

[18] Al-Yakoob, S.M., ve Sherali, H.D., (2005). “Mathematical Programming Models and Algorithms For A Class-Faculty Assignment Problem ”, Europan Journal of Operational Research, 173: 488-507.

[19] MirHassani, S.A., (2006). “A Computational Approach to Enhancing Course Timetabling with Integer Programming”, Applied Mathematics and Computation, 175: 814-822.

[20] Baç, U., (2007). “Akademik Ders Programlarının Yapılması Probleminin Matematiksel Modeller ve Algoritmalarla Çözümü ve Uygulanması” , Yüksek Lisans Tezi, Hacettepe Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Ankara.

[21] Taha, H.A., (1968). Yöneylem Araştırması, 6. Basımdan Çeviri, Literatür Yayıncılık, İstanbul.

[22] Bharathidasan Üniversity, Computer Science and Engineering School web-site,

http://www.csbdu.in/econtent/opt/ch6/hungex1.htm , 17 Haziran 2012.

[23] Wren., (1996). “A Scheduling Timetabling And Rostering- A Special Relationship?” “In Lecrute Notes in Computer Science: Practice and Theory of Automated Timetabling.” Editörler: Burke, E., ve Ross, R., 1153: 46-75, Berlin.

[24] Norberciak, M., (2008). “Universal Method for Timetable Construction Based on Evolutionary Approach”, World Academy of Science, Engineering and Technology International Journal of Applied Mathematics and Computer Science, Makale: 133. 15 Mart 2008.

[25] Bartak, R. ve Rudova, H., (2001). “Integrated Modelling for Planning, Scheduling and Timetabling Problems” , In Proceedings of the 20th Workshop of the UK Planning and Scheduling SIG, Aralık, Edinburg.

[26] Broek, van den J., (2009). "MIP-Based Approaches for Complex Planning Problems", A catalogue record is available from the Eindhoven University of Technology Library. ISBN: 978-90-386-2060-2.

[27] Aydın, M.A., (2008). "Solving University Course Timetabling Problem Using Genetic Algorithm", Yüksek Lisans Tezi, Bahçeşehir Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

[28] Cooper, T.B. ve Kingston, J.H.., (1995). "The Complexity of Timetable Construction Problems", International Conference on the Practice and Theory of Automated Timetabling, 1153: 283-295, Edinburg.

[29] Karaboğa, D., (2004). Yapay Zeka Optimizasyon Algoritmaları, Atlas Yayın Dağıtım, İstanbul.

[30] Erol, V., (2006). "Araç Rotalama Problemleri İçin Populasyon ve Komşuluk Tabanlı Metasezgisel Bir Algortimanın Tasarımı ve Uygulanması", Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul.

[31] Gözütok, S. ve Özdemir, O.N., (2004). "Genetik Algoritma Yöntemi İle Su Şebekelerinde Hidrolik Kalibrasyonun Geliştirilmesi", 19: 125-130, Gazi Üni. Müh. Mim. Fak. Der.

[32] Özdağ, H., Aygör, N., ve Parlak, A. (2012). "Karınca Kolonisi Algoritmasının Zaman Çizelgelemesi Üzerine: Bir Modellemesi ve Uygulaması", Akademik Bilişim Konferansları, 1-3 Şubat, Uşak Üniversitesi.

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı	: Rumeysa ÖZDEMİR
Doğum Tarihi ve Yeri	: 16.07.1987 / İstanbul
Yabancı Dili	: İngilizce
E-posta	: rumeys.ozdemir@gmail.com

ÖĞRENİM DURUMU

Derece	**Alan**	**Okul/Üniversite**	**Mezuniyet Yılı**
Lisans	Matematik	Yıldız Teknik Üniveristesi	2010
Lise	Fen-Matematik	Eyüp Lisesi (Y.D.A)	2005