



**ÇİFT ANA DAL KISITLARI
ALTINDA DERS ÇİZELGELEME**

Emine ERTANE

**Yüksek Lisans Tezi
Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı
Yöneylem Araştırması Bilim Dalı
Dr. Öğr. Üyesi Muhammed Emre KESKİN
2018
Her hakkı saklıdır**

**ATATÜRK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

ÇİFT ANA DAL KISITLARI ALTINDA DERS ÇİZELGELEME

Emine ERTANE

**ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
Yöneylem Araştırması Bilim Dalı**

**ERZURUM
2018**

Her hakkı saklıdır



T.C.
ATATÜRK ÜNİVERSİTESİ
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürlüğü
TEZ ONAY FORMU



ÇİFT ANADAL KISITLARI ALTINDA DERS ÇİZELGELEME

Dr. Öğr. Üyesi M. Emre KESKİN danışmanlığında, Emine ERTANE tarafından hazırlanan bu çalışma, 02/07/2018 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı Yöneylem Araştırması Bilim Dalı'nda Yüksek Lisans tezi olarak **oybirliği / oy çokluğu (.../...)** ile kabul edilmiştir.

Başkan: Dr. Öğr. Üyesi Mustafa YILMAZ

İmza :

Üye : Dr. Öğr. Üyesi M. Emre KESKİN

İmza :

Üye : Dr. Öğr. Üyesi Hamed YILMAZ

İmza :

Yukarıdaki sonuç;

Enstitü Yönetim Kurulu'nun 12.07./2018 tarih ve 28.../41..... nolu kararı ile onaylanmıştır.

Prof. Dr. Mehmet KARAKAN
Enstitü Müdürü

Not: Bu tezde kullanılan özgün ve başka kaynaklardan yapılan bildiriş, çizelge, şekil ve fotoğrafların kaynak olarak kullanımı, 5846 sayılı Fikir ve Sanat Eserleri Kanunundaki hükümlere tabidir.

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

ÇİFT ANA DAL KISITLARI ALTINDA DERS ÇİZELGELEME

Emine ERTANE

Atatürk Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı
Yöneylem Araştırması Bilim Dalı

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Muhammed Emre KESKİN

Zaman çizelgeleme yaşamımızın birçok alanında kullanılmaktadır. En sık kullanıldığı yerlerden biri de eğitim alanıdır. Üniversitelerde derslerin ve dersliklerin, kurumun fiziki ve teknolojik kısıtları altında gün ve saatlere atanması işlemi yapılmaktadır. Probleme özgü kısıtlar kurum özellikleri, kuralları ve taleplerine göre şekillenmektedir. Bu çalışmada, ders çizelgeleme problemi için iyi bilinen ve çok çalışılmış kısıtların yanı sıra çift ana dal yapan öğrencilerin ders çakışma mağduriyetlerini en aza indirecek kısıtları dikkate alan karma tam sayılı programlama modeli önerilmiştir. Çakışmaların ceza katsayılarıyla amaç fonksiyonuna yansıtılarak en düşük seviyeye indirilmesi amaçlanmıştır. Önerilen matematiksel model Atatürk Üniversitesi Mühendislik Fakültesi'nden elde edilen gerçek veriler üzerinde test edilmiş ve problem boyutu çok büyük olduğundan problem parçalanmak suretiyle sonuç elde edilebilmiştir.

2018, 72 sayfa

Anahtar Kelimeler: Ders çizelgeleme, tamsayılı doğrusal programlama, çift anadal programı

ABSTRACT

MS Thesis

COURSE TIMETABLING WITH DOUBLE MAJOR CONSTRAINTS

Emine ERTANE

Atatürk University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Industrial Engineering
Operations Research Science Dept.

Advisor: Assist. Prof. Dr. Muhammed Emre KESKİN

Timetabling is used in many areas of our lives. One of the most frequently used places is the field of education. In universities, the courses and classrooms are assigned to the day and time slots under the physical and technological constraints of the institution. The problem-specific constraints are shaped by institutional characteristics, rules and demands. In this study, a mixed integer programming model is proposed that takes not only well known and studied constraints of the literature for the course scheduling problem, but also the constraints that will reduce the course overlaps of the students who take double major programs. Conflicts are tried to be minimized by penalizing in the objective function. This proposed mathematical model is tested on the real data obtained from Atatürk University Engineering Faculty and due to huge size of the problem, results are obtained after decomposition of the problem.

2018, 72 pages

Keywords: Course timetabling, integer linear programming, double major program

TEŞEKKÜR

Tezin hazırlanmasında her türlü desteği sağlayarak yardımlarını esirgemeyen saygıdeğer hocam Dr. Öğr. Üyesi Muhammed Emre KESKİN'e teşekkürlerimi sunarım.

Emine ERTANE

Temmuz, 2018



İÇİNDEKİLER

ÖZET.....	i
ABSTRACT	ii
TEŞEKKÜR	iii
SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ	v
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	vi
ÇİZELGELER DİZİNİ	vii
1. GİRİŞ.....	1
2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI.....	5
3. MATERYAL ve YÖNTEM	13
3.1. Verilerin Toplanması.....	13
3.2. Kısıtların Belirlenmesi.....	17
3.3. Modelin Oluşturulması.....	18
3.3.1. Hedef fonksiyon katsayılarının tespiti.....	23
3.4. Modelin C#’da Kodlanması.....	24
3.5. Sezgisel Yöntem.....	25
4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA	30
4.1. Ders Çizelgeleme Model Sonuçları.....	30
5. SONUÇ ve ÖNERİLER.....	35
KAYNAKLAR.....	37
EKLER	40
EK 1.....	40
EK 2.....	42
EK 3.....	45
EK 4.....	47
EK 5.....	49
EK 6.....	51
EK 7.....	53
EK 8.....	Hata! Yer işareti tanımlanmamış.
ÖZGEÇMİŞ	72

SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

AHP	Analitik Hiyerarşi Prosesi
ANP	Analitik Ağ Prosesi
ÇAP	Çift Anadal Programı
DD	Doygunluk Derecesi
DP	Doğrusal Programlama
KBDC	Kayıt Bazlı Ders Çizelgeleme
KTDP	Karışık Tam Sayılı Programlama
MBDC	Müfredat Bazlı Ders Çizelgeleme
TDP	Tam Sayılı Doğrusal Programlama
TRS	Teknik Resim Sınıfı

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 3.1. Visual Studio program ekran görüntüsü	24
Şekil 3.2. Sezgisel özet modeli	29



ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 3.1. Endüstri mühendisliği ders verileri tablosu	13
Çizelge 3.2. Ana bina için sınıf verileri tablosu.....	16
Çizelge 3.3. Ek bina için sınıf verileri tablosu.....	17
Çizelge 3.4. Tanım ve parametreler	19
Çizelge 3.5. Değişkenler	20
Çizelge 4.1. Amaç fonksiyon değerleri.....	30
Çizelge 4.2. Endüstri mühendisliği ders programı	33

1. GİRİŞ

Günümüzde hemen hemen her alanda yapılan işlerde daha verimli sonuçlar elde etmek, en az maliyetle daha çok iş yapabilmek için optimizasyon işlemleri yapılmaktadır. En basit anlamı ile optimizasyon, eldeki kısıtlı kaynakları en ideal biçimde kullanmak olarak tanımlanabilir (Bunday 1984). Matematiksel olarak ifade etmek gerekirse optimizasyon kısaca bir fonksiyonun en küçüklenmesi veya en büyüklenmesi olarak tanımlanabilir (Kahaner *et al.*1989). Başka bir tanımlama ile “belirli amaçları gerçekleştirmek için en iyi kararları verme sanatı” veya “belirli koşullar altında herhangi bir şeyi en iyi yapma” (Himmelblau and Edgar 1989) olarak da tanımlanan optimizasyon kısaca “en iyi sonuçları içeren işlemler topluluğudur” (Kübat 1983).

Değişen teknolojilerin, sınırlı kaynakların, artan rekabetin, karmaşık hale gelen sistemlerin doğurduğu problemlerin, klasik yöntemlerle (matematiksel veya matematiksel olmayan, analitik veya sayısal) çözümünün güçleşmesi optimizasyon kavramını güncel hale getiren en önemli sebeptir. Bu yönüyle optimizasyonun kullanılmadığı bir bilim dalı hemen hemen yok gibidir (Rao 1978). Optimizasyonun kullanıldığı alanlardan biri de çizelgelemedir. Çizelgeleme kısaca, kıt kaynakların görevlere amaçları eniyileyecek şekilde tahsis edilmesidir. Başka bir deyişle belirli sayıdaki faaliyetin, sınırlı sayıdaki kaynak ve zaman dilimine atanması işlemidir (Kara 1986). Günlük yaşantımızda çizelgelemenin kullanıldığı birçok alan vardır. Bunlardan biri de zaman çizelgelemedir. Zaman çizelgelemeye ulaşım da tren, otobüs ve uçak çizelgeleme, sağlıkta doktor ve hemşire çizelgeleme, üniversitelerde ders ve sınav çizelgeleme örnek gösterilebilir.

Üzerinde çalıştığımız ders çizelgeleme her dönem başında okul idaresi ve akademisyen iş birliği içerisinde yapılmak zorunda olan idari bir görevdir. Birçok alt kısıt içeren bu problem zor problem olarak adlandırılmakta ve çözümü için epey zaman ve emek harcanmaktadır.

Literatürde ders çizelgeleme genel olarak iki başlık altında incelenmektedir. Bunlar; Kayıt Bazlı Zaman Çizelgeleme (KBZÇ) ve Müfredat Bazlı Zaman Çizelgelemedir (MBZÇ). KBZÇ probleminde önce öğrenciler dersleri seçer, daha sonra bu seçimler doğrultusunda çizelgeleme yapılırken, MBZÇ probleminde o dönem için verilecek dersler önceden üniversite yönetimi tarafından belirlenerek gün ve zamanlara atanmaktadır (Kristiansen *et al.* 2011). Ele aldığımız problemde MBZÇ esas alınacaktır. Yöntem şu şekilde işlemektedir: Her bir bölüm yönetimi, kendilerine ait derslerden o dönem verilecek olan derslerden her öğrencinin alması gereken zorunlu dersleri ve tercihe bağlı olarak alınacak olan seçmeli dersleri belirlerler. Bölüm içi derslerin yanı sıra birden fazla bölümün ortak olarak aldığı “Fakülte sosyal seçmeli” ve “Fakülte teknik seçmeli” başlıkları altında verilecek olan dersler fakülte yönetimi tarafından belirlenir. Belirlenmiş olan bu dersler ders alma döneminde öğrenci bilgi sisteminde aktif hale getirilir ve belirlenen süre içerisinde öğrenciler sisteme giriş yaparak ders seçme işlemini gerçekleştirirler. Ders seçimi yapıldıktan sonra öğrenci işleri ve bölüm koordinatörleri iş birliği içerisinde ders programları hazırlamaya başlar. Oldukça emek ve zaman isteyen bu işlem yapılırken çeşitli kısıtlar göz önüne alınmaktadır. Kimi programlar hazırlanırken öğretim elemanı memnuniyeti en çok yapılmaya çalışılırken kimisinde ders çakışmaları en az yapılmak istenmekte, kimisinde öğretim elemanlarının ofisleri ile ders verecekleri sınıflar arasındaki mesafenin en az yapılması amaçlanmaktadır. Bizim amaç fonksiyonumuz da bir en küçüklemedir. Ders çakışmaları ve derslerin farklı binaya atanmaları gibi işlemler en aza indirilmeye çalışılmaktadır.

Çift Anadal yani kısaca ÇAP, lisans eğitimi alan öğrencilerin kendi bölümleri dışında bir bölümün derslerini asıl aldığı derslerle eş zamanlı olarak alıp bu dersleri başarıyla tamamlaması durumunda mezun olduğu zaman çift lisans diplomasına sahip olmasını sağlayan bir programdır (Aksakal 2018). Öğrenciler Çift Anadal Programına (ÇAP) üniversite yönetimi tarafından belirlenen not ortalamasını yakaladıktan sonra kayıtlı bulundukları programın en erken üçüncü, en geç beşinci yarıyılında başvurabilmektedirler. Çift Anadal Programları tamamlandıktan sonra kariyer hayatında birçok avantaj sağlamaktadır. Tek bir alana bağlı kalınmadığı için iş dünyasındaki rekabette daha üstün olunmakta, alınan farklı dersler sayesinde bilgi birikimi artmakta,

daha fazla kişiyle iletişim halinde olunduğundan güçlü bir iletişim ağına sahip olmak gibi birçok avantaj elde edilmektedir. Bu avantajların yanı sıra öğrenim sırasında birçok zorlukla karşılaşılmaktadır. Ağır ders yükünden dolayı ders çalışmak için daha fazla zaman ve emek harcamak gerekmektedir. Yapılacak ödevler, projeler artmakta, sınav sayısı neredeyse iki katına çıkmaktadır. Bunların yanında karşılaşılan en büyük problemlerden biri de ders alım sürecinde yaşanmaktadır. ÇAP öğrencileri kayıtlı bulunduğu program ile çift anadal yaptığı programın haftalık ders çizelgesinde çakışma olduğunda sıkıntılar yaşamaktadırlar. Bu çalışmada bu türden çakışmaların en aza indirilmesi de hedeflerden birisidir.

Üniversitelerin çoğunda olduğu gibi Atatürk Üniversitesi Mühendislik Fakültesi'nde de ders programı yapılırken birkaç ortak ders hariç diğer dersler bölümlerin kendi içerisinde çizelgelenmekte bölümler arası ders çakışması genellikle göz ardı edilmektedir. Bu da ÇAP yapan öğrencileri mağdur etmekte ve dönemlerini uzatmaktadır. Bu çalışmada modele çeşitli kısıtlar eklenerek çakışmalar mümkün olduğunca en aza indirgenmeye ve mağduriyet azaltılmaya çalışılmıştır. ÇAP en erken mevcut programın üçüncü döneminde başladığından ardışık öğrenci grupları arasındaki ders çakışmalarına dikkat edilmelidir. Örneğin kayıtlı bulunduğu ana programı Endüstri Mühendisliği olup, Makine Mühendisliğinde ÇAP yapmak isteyen bir öğrencinin sıkıntı yaşamaması için Endüstri Mühendisliği 2. Sınıf dersleriyle, Makine Mühendisliği 1. Sınıf dersleri çakıştırılmamaya çalışılmalıdır. Aynı zamanda alttan ders almak zorunda kalan ya da üstten ders almak isteyen öğrencilerin ders çakışması sorunu yaşamaması için çeşitli kısıtlarla bölüm içi, ardışık öğrenci grupları arasındaki çakışmalar azaltılmaya çalışılmalıdır. Sert kısıtların yanı sıra yukarıda anlatılan kısıtlar gevşek kısıtlar olarak belirlenmiş, Visual Studio'da C# ile kodlanarak Gurobi ticari KTDP çözücüsü yardımıyla çözülmüştür.

Tez beş bölümden oluşmaktadır. İlk bölümde probleme giriş yapıp, çift ana dal programı hakkında bilgiler verilmektedir. İkinci bölümde geçmişte yapılan çalışmalardan bahsedilmektedir. Üçüncü bölümde veri toplanmasıyla başlayan ve kurulan modelin çözümü önerilen sezgiselle elde edilinceye kadar geçen aşamalar

ayrıntlarıyla verilmiştir. Dördüncü bölümde elde edilen sonuçlar paylaşılmıştır. Beşinci ve son bölümde ise tez özetlenmiş ve öneriler sunulmuştur.



2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

Literatüre bakıldığında ders çizelgeleme problemlerinin çözümünde matematiksel modellerin ve sezgisel yöntemlerin sıkça kullanıldığı görülmüştür. 2000 yılından sonraki çalışmalara bakacak olursak; Baker *et al.* (2002), kombinatoriyal optimizasyon problemi için hem tamsayılı programlama hem de kısıt programlama modelleri önermektedir. Model için büyük gruplar alt gruplara ayrılarak işlem yapılmış ve bu kısıt programlama modelinin çözüm eşdeğerlik sınıflarının boyutunu düşürdüğü, böylece optimum çözüm aramayı kolaylaştırdığı görülmüştür. Altı problem örneği için çözücü Cplex kullanılmıştır. Bulunan çözümlerin sezgisel yöntemlerinin geliştirilmesi için pratik bilgiler sağladığı görülmüştür.

Zaman çizelgelemenin temel amaçlarından olan kişilerin memnuniyet seviyesini artırmayı amaçlayan bir çalışma yapan Özdemir and Gasimov (2004), fakülte atama problemi için doğrusal olmayan, çok amaçlı bir programlama modeli sunmaktadır. Basit ağırlıklandırma tüm optimal çözümleri garanti etmediğinden, önce matematiksel model oluşturulmuş, ardından AHP kullanılarak hedef ağırlıkları hesaplanmıştır. Sonra, çok amaçlı fonksiyon problemini tek bir amaç fonksiyonuna indirgemek için sentez yapılmış ve problem modifiye alt gradyan yöntemiyle çözülmüştür. Sonuç olarak memnuniyetsizliklerin azaldığı ve doyum seviyelerinin arttığı görülmüştür. Yine bir memnuniyet çalışması da Bakır ve Aksop (2008) tarafından yapılmıştır. Bakır ve Aksop, Gazi Üniversitesi İstatistik Bölümünde yaptıkları çalışmada, amaç fonksiyonunu öğrencilerin ve öğretim üyelerinin memnuniyetsizliklerinin en küçüklenmesi olarak belirlemişlerdir. İlgili bölümde bazı dersler pratik ve teorik olarak iki kısımdan oluşmaktadır. Yönetim, teorik kısmın pratikten önce yapılmasını istemektedir. Bölümde dersler örgün ve ikinci öğretim olmak üzere iki grup halinde yapılmaktadır. Yazarlar çalışmada, ilgili fakültenin öğretim üyeleri tarafından verilmeyen örgün öğretimdeki dersler ile ikinci öğretimdeki derslerin zamanları arasının en az tutulmasını hedeflemişlerdir. Böylelikle fakülteler arası mesafeler uzun olduğundan fakülte dışı öğretim üyelerinin fakülteden ayrılmadan ve fakültede çok beklemeden derslerini vermeleri amaçlanmıştır. Ayrıca bu çalışmada bir ders, alttan alan öğrenciler için, bir

sonraki sınıfın dersi ile mümkün olduğunca karşılaştırılmamaya çalışılmıştır. Yine isteklerin ön planda tutulduğu çalışmalardan biri de Ismayilova *et al.* (2007) tarafından yapılmıştır. Bu çalışmada fakülte zaman çizelgeleme problemi için yeni çok amaçlı bir model geliştirilmişlerdir. Bu model, fakülte-ders ve ders-zaman dilimleri atamalarını tek bir aşamada ele almıştır. Modelin önemi, tüm öğretim elemanlarının ve yönetimin fakülte-ders ve ders-zaman dilimi atamaları üzerindeki tercihlerini sırasıyla dikkate almasıdır. Burada uygulanan çözüm yaklaşımı AHP ve ANP tarafından tespit edilen öncelikleri kullanmaktadır. Bu öncelikler, konik skalerizasyon yönteminde, farklı ve çelişen hedefleri birleştirmek için kullanılır ve skalerleştirilmiş problemler, Cplex çözücüsü ile çözülür. Öğretim elemanı tercihinine göre çizelgeleme uygulaması yapan diğer bir çalışma da Housos *et al.* (2009)'a ait çalışmadır. Housos *et al.* (2009), Yunanistan'ın orta öğretim okul çizelgeleme problemi için tüm işlevsel ve pratik zor şartlara ve çok tatminkâr bir seviyeye kadar birçok kaliteli yumuşak kurala uyan yüksek kalitede zaman çizelgeleri elde etmeye çalışmışlardır. Bunun için iki aşamalı yaklaşım sunulmuştur. Birinci aşama, temel derslerle ilgili okul kurallarına ve müfredatın ihtiyaçlarına dayalı olarak öğretmenlerin tercihlerine göre iş vardiyalarının atandığı bir Kademeli Görev Problemi'nden oluşur. İkinci aşamada, fiili zamanlama sorunu çözülürken, bir önceki sorundan kaynaklanan en uygun vardiya atamaları, hedef fonksiyondaki maliyet katsayılarının değerlerinin tanımlanmasına yardımcı olmaktadır. Her iki aşamadaki tam sayılı programlama (TDP) modellerinin çözümü için Ilog Cplex çözücü kullanılmıştır. Housos ve arkadaşlarının yaptığı bir diğer çalışmada amaç diğerinden farklı olarak en küçükleme şeklindedir. Housos *et al.* (2004), Patras üniversitesi Elektrik – Bilgisayar Mühendisliği Bölümü için zaman çizelgesi problemini ele almışlardır. Model bir optimizasyon problemi olarak oluşturulmuş, doğrusal maliyet fonksiyonunun en aza indirgenmesi amaçlanmıştır. Önerilen TDP modelini değerlendirmek için farklı büyüklükteki 3 problem ayrı ayrı TDP çözücüsü Cplex ile çözülmüştür. Her türden farklı özellik ve talep taşıyan ders, resital ve laboratuvar derslerinin çizelgelenme işlemi çözülmüştür. Aynı yıl benzer amaçlı bir çalışma da Dimopoulou and Miliotis (2004) tarafından yapılmıştır. Bu çalışmada da zaman aralıklarına derslik atama işlemi yapılmakta, bir üniversite çizelgesinin oluşturulmasına yardımcı olmak için bilgisayar ağı tabanlı sistemin tasarımı ve uygulanması incelenmektedir. Önerilen sistem, tüm uygun bilgileri içeren ve bilgi işlem

platformunda çalışan merkezi bir veritabanı kullanmaktadır. Ayrıca, her bölümün zaman çizelgesini oluşturmak için zaman aralıklarına ve dersliklere atama yapan bir tamsayı programlama modeli önerilmektedir. Tamsayı programlama modelini her bir bölümün verileri ile ilişkilendirmek ve süreçlerin dağılımıyla üretilen çatışmaları çözmek için otomatik bir prosedür oluşturulmuştur. Ortaya çıkan tamsayı programlama problemleri, küçük boyutta olduğundan kolayca çözülmüştür. Kullanılmayan zaman dilimlerinin yeniden tahsisi ile mağduriyetler başarıyla giderilmiştir. Öğrencilerin çoğunluğunun izlediği zorunlu derslere öncelik verilmiş ve bölümlere tahsis edilen zaman dilimi-derslik bölgeleri kompakt ders programlarıyla sonuçlanmıştır. Yukarıdaki çalışmalardan farklı olarak MirHassani (2006), çalışmasında Shahrood Teknoloji Üniversitesi'nde (İran) gerçek bir çizelgeleme problemini çözmektedir. Burada, büyük ders sınıfları için zaman çizelgesi, birçok bölümün ihtiyaçlarını dengelemek için merkezi bir çizelgeleme bürosu tarafından oluşturulmaktadır. Bu şekilde yapılması sorun olduğundan problem modellenerek, matematiksel model çözümlerinde kullanılan AIMMS programında formüle edilmiştir. 1.84 GHz hız ve 256 MB RAM ile Pentium 4 bilgisayar üzerinde çalışılmış, optimal çözüm, 277 düğüm çözüldükten 10 saniyeden kısa sürede kurulmuştur. Ayrıca maliyet katsayıları için ceza fonksiyonlarını değiştirerek, hesaplama süresini değiştirmenin mümkün olduğu ve bu işlemin de optimizasyon sürecini daha hızlı bir şekilde en iyi çözüme yönlendirilebileceği gösterilmiştir.

Ders çizelgeleme problemlerinden biri olan müfredat tabanlı ders çizelgeleme problemlerinin çözümü üzerine çalışan Bolajia *et al.* (2011), 2007'de 2. Uluslararası Zaman Çizelgeleme Yarışmasında müfredata dayalı ders çizelgelemesine odaklanarak çizelgeleme problemlerini çözmek için Yapay Arı Kolonisi algoritmasının uyarlamasını sunmaktadır. Bu sorunları çözmeye yönelik bir girişim, iki kısma ayrılmış bir yaklaşımla yapılmıştır; ilk olarak, sert kısıtlamaların yerine getirildiği bir uygun çözümü sağlamak için Doygunluk Derecesi (DD) kullanılmaktadır. İkincisi, Yapay Arı Koloni Algoritması ile elde edilen sonuçların iyileştirilmesi hedeflenmektedir. Önerilen yöntem Microsoft Visual C++ 6.0'da kodlanarak 5 kez çalıştırılmıştır. Sonuç olarak algoritma, çok iyi sonuçlar vermesine rağmen, algoritmanın yerel optimal çözümde kolayca takılıp

kalması nedeniyle, daha önce literatürde rapor edilenlerden daha iyi olmadığı görülmüştür. Müfredat tabanlı çizelgelemeyi esas alan çalışmalardan biri de Hao and Benlic (2011) tarafından yapılmıştır. Bu çalışmada Uluslararası Zaman Çizelgeleme Yarışması'nda sunulan müfredat tabanlı ders çizelgeleme problemi için alt sınırlar üretmek için bir yaklaşım açıklamaktadır. "Böl ve fethet" ilkesine dayanan yaklaşım üç aşamadan oluşmaktadır. İlk aşamada, yinelemeli bir tabu arama sezgiseli ile dersler sabit sayıda bölüme bölünmektedir. İkinci aşamada tamsayı doğrusal problemler elde edilmektedir. Üçüncü aşamada, bu alt problemler bir TDP çözücü ile çözülmektedir. Bu alt problemlerin amaç fonksiyonu değerlerinin toplamı, başlangıç problemi için bir alt sınır vermektedir. Uluslararası zaman çizelgeleme yarışmasında ölçüt örneğinin tümüne uygulanan bölüm tabanlı yaklaşım, 12 örnek için mevcut en iyi alt sınırdan iyileşme sağlamaktadır ve ilk örnek için daha önce bilinen en iyi sınırları elde etmektedir. Yine müfredat tabanlı ders çizelgeleme problemi üzerinde yapılan diğer bir çalışmada Cacchiani *et al.* (2013) tarafından yapılmıştır. Çalışmada üniversite derslerinin derslik ve zaman dilimlerine haftalık olarak atanmasını gerektiren müfredat bazlı ders zaman çizelgeleme (MBZÇ) probleminde alt sınırları hesaplamak için yeni bir yöntem önermektedir. Problem amaç fonksiyonu iki parçaya bölünerek ve parçalar TDP ile formüle edilerek ayrı ayrı çözülmüştür. Önerilen yöntemde, alt sınırlar üst sınırlar ile eşit çıkmakta yani optimal çözüm bulunmaktadır. Kısaca önerilen yöntem alternatif çözüm yöntemlerinden daha iyi sınırlar elde etmektedir. Yakın geçmişte müfredat tabanlı ders çizelgeleme problem üzerine bir çalışma da Applebee *et al.* (2016) tarafından yapılmıştır. Yazarlar Londra üniversitesinde müfredata dayalı bir çizelgeleme problemi çözmektedir. Problem 2015 yılına ait gerçek veriler kullanılarak modellenmiştir. Model iki kısımdan oluşmaktadır. Birinci kısımda, kısıtlar belirlenerek, zaman dilimlerine atama yapılırken, ikinci kısımda ise matematiksel formülasyon geliştirilerek derslik ataması yapılmıştır. Diğer makalelerden farklı olarak burada alan kısıtlaması ve zaman çizelgesi düzeni gibi iki kısıt bulunmaktadır. Bu optimizasyon problemini çözmek için tamsayı doğrusal programlama gösterimi ile modellenmiş ve çözülmüştür.

Diğer bir ders çizelgeleme problem çeşidi ise kayıt bazlı ders çizelgeleme problemidir. Bu problem hakkında az sayıda çalışma bulunmaktadır. Bunlardan biri de Broek and Hurkens (2012) tarafından yapılmıştır. Çalışmada ikinci uluslararası çizelgeleme yarışmasının kayıt sonrası ders çizelgeleme problemi için uygun bir çözüm oluşturan sezgisel bir yöntem sunulmuştur. Öncelikle gevşek kısıtlar olmaksızın bir doğrusal programlama (DP) formülasyonu oluşturulmuş, daha sonra sütun üretimi yöntemiyle kurulan bir DP çözümüne dayalı sezgisel yöntem önerilmiştir. Burada sütunlar birer birer sabitlenerek bir tamsayı çözümü elde edilmiş ve Cplex ile çözülmüştür. Sonrasında sezgisel geliştirilerek daha iyi çözümler elde edilmiştir.

Ders çizelgeleme problemlerinin çözümlerinde genellikle ya matematiksel modeller yardımıyla çözüm elde edilmekte ya da tam sonuç vermemekle birlikte yaklaşık çözümlerin elde edildiği sezgisel yöntemler kullanılmaktadır. Sezgisel yöntemlerin kullanıldığı çalışmalardan biri de Aladağ and Hocaoglu (2007) tarafından yapılmıştır. Çalışmada aynı bölümdeki dersler arasında çakışma olmaması kısıtını içeren bir ders çizelgeleme problemini nasıl olabileceği gösterilmektedir. Formüle edilmiş bu problemi çözmek için bir tabu arama algoritması önerilmiştir. Önerilen algoritmanın etkinliğini göstermek için, bu algoritmaya dayalı bir bilgisayar programı kullanılarak Hacettepe Üniversitesi İstatistik Bölümü'nün zaman çizelgesi problemine uygulanmıştır. Önerilen algoritmanın, aynı bölümdeki dersler arasında herhangi bir çakışma içermeyen çok iyi zaman çizelgeleri ürettiği gözlemlenmiştir. Yine Hacettepe Üniversitesi'nde aynı çalışmacılar eşliğinde yapılan bir diğer çalışmada kullanılan yöntemler arasındaki istatistiksel farklar gösterilmeye çalışılmıştır. Aladağ vd. (2009), ders çizelgeleme problemini tabu arama algoritması ile çözerken, basit hareket ve takas hareketi kullanarak bir komşuluk yapısı tanımlamıştır. Hacettepe Üniversitesi İstatistik Bölümü ders çizelgeleme probleminin güz dönemi, dört komşuluk yapısı kullanılarak çözülmüş ve bu yapılardan elde edilen sonuçlar karşılaştırılmıştır. Elde edilen sonuçlara göre, tüm komşuluk yapıları arasında çoklu karşılaştırmalar istatistiksel olarak yürütülmektedir. İstatistiksel analizler SPSS 15 programı kullanılarak yapılmıştır. Kullanılan yöntemler arasındaki istatistiksel farkı göstermek için, amaç fonksiyonunun ortalama değerleri için Anova testi yapılmıştır. Bütün çalışan komşuluk yapılarının, rastgele oluşturululardan

daha iyi çözümler ürettiği görülmüştür. Diğer bir çalışmada Fiarni *et al.* (2015) tarafından, lisans öğrencilerinin tez ve proje sunumları takviminde ileri zincirleme sezgisel yaklaşımı kullanarak Endonezya'nın Bandung kentinde bulunan yükseköğrenim kurumlarından biri olan Institut Teknologi Harapan Bangsa (ITHB)'da yapılmıştır. Bir sonuç elde etmek için algoritma ileri zincirleme kurallarını sıralı bir şekilde kullanmaktadır. Kuralları bu şekilde belirlenen uygulama ile web tabanlı, nesne yönelimli bir programlama dili olan PHP kullanılarak 5 ana modül üzerinden sonuçlar elde edilmiştir. Kullanılan diğer bir sezgisel yöntem olan genetik algoritmayı kullanarak ders çizelgeleme problemine çözüm bulmaya çalışan Shaikh *et al.* (2016), bir kolejde daha önce manuel olarak yapılan ve çeşitli aksamalara neden olan ders çizelgeleme problemini ele almaktadır. Önerilen sistemde öncelikle verilecek dersler, kullanılacak derslikler, ders yapılacak günler, dersi verecek öğretim elemanları ve çeşitli kısıtlamalar belirlenir. Daha sonra tüm atamalar genetik algoritma ile oluşturulmaktadır. Yapılan işlemler sonucunda zaman çizelgesi üretimi uygulaması zaman çizelgesinin planlanması sürecini kolaylaştırmaktadır. Yakın zamanda yapılan yine sezgisel yöntemlerden biri olan hibrit kedi sürüsü algoritmasını kullanarak okul çizelgeleme probleminde çözüm elde etmeye çalışan Skoullisa *et al.* (2017), ilk önce problem çözümü için sert ve gevşek kısıtlar belirleyerek matematiksel model oluşturmaktadır. Ancak matematiksel çözüm ile kedi sürüsü algoritmasının verdiği çözümler karşılaştırıldığında, algoritmanın kullanımının kolay, çok tatmin edici ve daha az hesaplama süresine sahip olduğu görülmüştür. Bu çalışma gibi önce matematiksel model kurup sonra sezgisel yöntemlerin kullanıldığı bir diğer çalışma da Gunawan *et al.* (2012) tarafından yapılmıştır. Çalışmada bir yüksek lisans ders çizelgesinin problemi sunulmaktadır. Hem öğretmen atamasını hem de ders çizelgelemesini birlikte alan problem için Cplex kullanılmaktadır. İlk çözüm, Lagrange gevşetmesine dayanan bir matematiksel programlama yaklaşımı ile elde edilmiştir. Çözüm tavlama benzetmesi algoritması ile daha da geliştirilmiştir. Önerilen yöntem Endonezya'daki bir üniversitedeki örneklerin yanı sıra rastgele oluşturulmuş birkaç veri kümesinde test edilmiş ve ilgili hesaplama sonuçları raporlanmıştır.

Sezgisel yöntemler kullanarak yaklaşık sonuçlarla çözüm almak isteyenlerin yanı sıra matematiksel model kullanarak optimal çözümü garanti etmek isteyen çalışmalar da oldukça çoktur. Bu çalışmalardan biri de Schimmelpfeng and Helber (2007) tarafından yapılmıştır. Yazarlar bir dönem için tüm derslerin zaman çizelgesini oluşturmak için Almanya Hannover Üniversitesi, Ekonomi ve Yönetim Bölümü'nde uygulanan bir TDP yaklaşımını anlatmışlardır. Model kurarken varsayımlar 4 sınıfa ayrılarak kısıtlar belirlenmiş, amaç fonksiyonu ihlallerin ceza katsayılarıyla çarpılmasıyla elde edilmektedir. Model Cplex ile çözülerek çizelgeleme işlemi tamamlanmıştır. Diğer bir tamsayılı model kullanılarak hazırlanan çalışmada Subhash *et al.* (2010) tarafından yapılmıştır. Yazarlar Virginia Tech Üniversitesi'nde karşılaşılan sınıf çizelgeleme problemini çözmek için Benders ayrıştırma yöntemi uygulamıştır. Ders programının kalitesi (amaç fonksiyonu), fakülte üyelerinin ofislerinden dersliğe gitme mesafelerine göre değerlendirilmektedir. Problem geniş çaplı olduğundan 3 alt kümeye ayrılarak çözümlenmiştir. Bunlar önce tamsayılı programlama olarak modellenmiştir. Formülasyonların her birinin kendine özgü yapısal özelliği nedeniyle, bu alt problemlerin birincisi DP olarak çözülebilmekteyken, diğer ikisi tamsayı problemleri olarak modellenmiş ve Cplex ile çözülerek uygun ders çizelgesi hazırlanmıştır. Kristiansen *et al.* (2011) ise çizelgelenecek dersleri kategorize ederek sadece seçmeli ders planlama problemlerini tamsayı programlama kullanılarak modellemiş ve kısmi üç farklı çözüm yaklaşımı önermiştir. Önerilen algoritmalar, Danimarka'daki 150 yüksekokulun 98'inden alınan veri setleri üzerinde test edilmiştir. Testler, problemlerin büyük bir çoğunluğu için en iyi çözümü bir saatlik süre içerisinde elde edebildiği gösterilmiştir. Ayrıca önerilen algoritmalar, hali hazırda uygulanan meta-sezgisel yöntemlerden daha iyi sonuçlar elde etmektedir. Sonuç olarak, ortak sınıfların sayısını en aza indirgeyen önemli bir ikincil hedefin "kısıtlı yöntem" kullanarak çözümü önemli ölçüde iyileştirebileceği görülmüştür. Kristiansen *et al.* (2011) çalışmasının aksine Aizam and Sim (2014) modeli özelleştirmek yerine daha genel bir model geliştirmişlerdir. Çalışmada çoklu zaman çizelgeleme problemlerini çözmek için oluşturulan genişletilmiş modeller, üç tür zaman çizelgeleme problemine (Hemşire, ders ve sınav) dayanmaktadır. Bu üç çizelgeleme probleminin asıl amacı, kaynakların etkin bir şekilde kullanılması ve hemşirelerin, derslerin veya sınavların tercihlerini sırasıyla zaman dilimine atanmasını sağlamaktır. Bu nedenle araştırmada dört sert kısıtlı ve bir

gevşek kısıtlı üç alana dayalı genel bir model oluşturulmuştur. Bu araştırmada KTDP kullanılarak başarıyla geliştirilen iki genişletilmiş genel model bulunmaktadır. Sonuçlar çözücü olarak Cplex çözücüsü ile AIMMS yazılımı kullanılarak elde edilmiştir.

Matematiksel modellerin tercih edildiği bir diğer çalışmada Pillay (2014) tarafından tercih edilmiştir. Pillay (2014), okul çizelgeleme, ders çizelgesi oluşturma ve sınav çizelgeleme problemini çözmek için kullanılan yöntemlerin sınırlamalarını açıklamaktadır. Okul çizelgeleme probleminin çözümü, esasen, sorunun sert ve gevşek kısıtlamalarını yerine getirmek için sınıf, öğretmen ve derslik tiplerini zaman aralıklarına tahsis etmeyi içerir. Burada amaç gevşek kısıt ceza maliyetini en aza indirmektir. Sezgisel ve matematiksel yöntemlerin bir arada kullanıldığı çalışmalardan biri de Brezilya'daki bir okulda denenmiştir. Dorneles *et al.* (2017), Brezilya okullarından çıkmış Lise Zaman Çizelgeleme Probleminin bilinen bir varyantı olan Sınıf-Öğretmen-Zaman çizelgesi problemini ele almaktadır. Çoklu ortamlı bir akış şebekesine dayanan yeni bir matematiksel programlama formülasyonuna ek olarak, bu problem için daha düşük alt limitleri ispatlamak için iki hızlandırma stratejisi kullanan bir sütun oluşturma yaklaşımı ve sütun üretiminin tam potansiyelini kullanmak için, eninde sonunda optimal tamsayı çözümleri sağlayacak şube ve fiyat çerçevesinde dallanma stratejileri önerilmiştir.

Zaman çizelgeleme problemi literatürde çokça çalışılmış bir problem olmakla beraber bölümler arasında çift ana dal yapan öğrencilerin bulunduğu çok bölümlü bir fakültede ders çizelgeleme problemi ele alınmamıştır. Bu çalışma ile biz bu açığı kapatmayı planlıyoruz.

3. MATERYAL ve YÖNTEM

3.1.Verilerin Toplanması

Model oluşturulmaya başlanmadan önce gerekli veriler bölümlerden, fakülte öğrenci işlerinden temin edilmiş ve her bir bölüm için ayrı ayrı veri grupları oluşturulmuştur. Atatürk Üniversitesi Mühendislik Fakültesi'nde aktif eğitim veren 8 bölüm ve bu bölümlerde eğitim alan yaklaşık 5500 civarı öğrenci vardır. Dersler hafta içi, örgün öğretimler için 08.00 – 17.00 arasında 50 dakikalık 9 oturum şeklinde, gece öğretimi içinse 17.00 – 22.00 arasında 50 dakikalık 5 oturum şeklinde verilmektedir. Bizim çalışmamız örgün öğretimler için yapılmıştır. İstenildiği takdirde çok kolay bir şekilde aynı uygulama ikinci öğretimde uygulanabilmektedir. Derslerin eksiksiz atanmasına yardımcı olacak olan derslerin teorik, laboratuvar ve verilmesi gereken toplam ders saatlerinin belirlenmesinde bir önceki dönem verilerinden yararlanılmıştır. Aynı zamanda sınıf atamalarında kullanılacak takribi öğrenci sayıları verileri de temin edilmiştir. Yine derslerin fiziki olarak uygun dersliklere atanmasını sağlayacak derslerin nerede işlenmesi gerektiği bilgisini içeren veriler de aşağıdaki tablomuzda bulunmaktadır. 8 bölüm için ayrı ayrı tüm veriler toplanmış, modelin çözümünde kullanılacak şekilde hazırlanmıştır. Örnek olarak Endüstri Mühendisliği verileri ile sınıf verileri aşağıda verilmiş olup, diğer bölüm kısıtları ekte belirtilmiştir.

ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ

Çizelge 3.1. Endüstri mühendisliği ders verileri tablosu

		1	2	3	4	5	6	7	8
	DERS ADI	bm	Qm	Bolum Kodu	o.gruplari	Bil Lab Kullanimi	TRS kullanimi	Lab Kullanimi	O(m)
1	Genel Kimya -i(A)	3	49	1	1	0	0	0	1
2	Genel Kimya -i(B)	3	43	1	1	0	0	0	1
3	Genel Kimya -i LAB (A)	2	49	1	1	0	0	1	0
4	Genel Kimya -i LAB (B)	2	43	1	1	0	0	1	0
5	Bilgisayar Programlama(A)	3	37	1	1	1	0	0	1

Çizelge 3.1. (devam)

6	Bilgisayar Programlama(B)	3	37	1	1	1	0	0	1
7	Bilgisayar Programlama(C)	3	38	1	1	1	0	0	1
8	Teknik Resim(A)	3	28	1	1	0	1	0	1
9	Teknik Resim(B)	3	30	1	1	0	1	0	1
10	Teknik Resim (C)	3	30	1	1	0	1	0	1
11	Endüstri Mühendisliğine Giriş(A)	2	68	1	1	0	0	0	1
12	Endüstri Mühendisliğine Giriş(B)	2	68	1	1	0	0	0	1
13	Fizik -i(A)	3	47	1	1	0	0	0	1
14	Fizik -i(B)	3	46	1	1	0	0	0	1
15	Fizik -iLab (A)	2	47	1	1	0	0	1	0
16	Fizik -iLab (B)	2	46	1	1	0	0	1	0
17	Matematik -i (1) (A)	2	48	1	1	0	0	0	1
18	Matematik -i (2) (A)	2	48	1	1	0	0	0	1
19	Matematik -i (1) (B)	2	51	1	1	0	0	0	1
20	Matematik -i (2) (B)	2	51	1	1	0	0	0	1
21	Yabancı Dil -i (İngilizce)	2	95	1	1	0	0	0	1
22	Diferansiyel Denklemler(A)	3	35	1	2	0	0	0	1
23	Diferansiyel Denklemler(B)	3	35	1	2	0	0	0	1
24	Yönetim ve Organizasyon	3	62	1	2	0	0	0	1
25	Maliyet Muhasebesi	3	71	1	2	0	0	0	1
26	İnsan Kaynakları Yönetimi	3	65	1	2	0	0	0	1
27	İstatistik ve Olasılık(A)	3	43	1	2	0	0	0	1
28	İstatistik ve Olasılık(B)	3	43	1	2	0	0	0	1
29	Malzeme Bilimi	3	68	1	2	0	0	0	1
30	Türk Dili -i	2	100	1	2	0	0	0	1
31	Benzetim	3	88	1	3	0	0	0	1
32	İstatiksel K.K(A)	3	39	1	3	0	0	0	1
33	İstatiksel K.K(B)	3	37	1	3	0	0	0	1
34	İş Etüdü	3	93	1	3	0	0	0	1
35	Yöneylem Arastirmasi - ii (A)	3	35	1	3	0	0	0	1
36	Yöneylem Arastirmasi - ii (B)	3	35	1	3	0	0	0	1
37	Atatürk İlke ve İnkılap Tarihi -i	2	100	1	3	0	0	0	1
38	Mühendislik Ekonomisi (A)	3	37	1	3	0	0	0	1
39	Mühendislik Ekonomisi (B)	3	47	1	3	0	0	0	1
40	Bölüm Seçmeli -i (Karar Analizi)	3	40	1	3	0	0	0	1

Çizelge 3.1. (devam)

41	Bolum Secmeli –i (markov/kuyruk teorisi)	3	40	1	3	0	0	0	1
42	Tedarik Zinciri Yonetimi	3	66	1	4	0	0	0	1
43	Is Sagligive Guvenligi	2	100	1	4	0	0	0	1
44	Fakulte Teknik Secmeli (Depreme karşı yapısal bilinç)	3	78	-3	4	0	0	0	1
45	Fakulte Teknik Secmeli (Alternatif enerji kaynakları)	3	77	-4	4	0	0	0	1
46	Bolum Secmeli-iii (Proje Yonetimi)	3	37	1	4	0	0	0	1
47	Bolum Secmeli-iii (Veri Madenciligi)	3	35	1	4	0	0	0	1
48	Fakulte Sosyal Secmeli (GİRİŞİMCİLİK)	2	100	-1	4	0	0	0	1

Yukarıdaki tabloda, ilk satırda 1 numara ile işaretlenmiş sütun haftalık toplam ders saatini, 2 numaralı sütun ilgili satırdaki dersi alacak takribi öğrenci sayısını, 3 numaralı sütun bölümlere verilmiş olan kodları göstermektedir. Örneğin 1 numara Endüstri Mühendisliğini belirtmektedir. Bölüm numaraları şu şekildedir:

- 1- Endüstri Mühendisliği
- 2- Kimya Mühendisliği
- 3- İnşaat Mühendisliği
- 4- Çevre Mühendisliği
- 5- Makine Mühendisliği
- 6- Elektrik-Elektronik Mühendisliği
- 7- Bilgisayar Mühendisliği
- 8- Metalürji ve Malzeme Mühendisliği

4 numaralı sütun dersin ait olduğu öğrenci gruplarını ifade etmektedir. 5, 6 ve 7 numaralı sütunlar ilgili satırdaki dersin bilgisayar laboratuvarı, teknik resim sınıfı (TRS) ve laboratuvar gerektirip gerektirmediğini belirtmektedir. 0 yazılması durumunda dersin ilgili dersliği gerektirmediğini, 1 yazılı olduğu durumda ise ilgili dersliği gerektirdiğini göstermektedir. 8 numaralı sütunda ise dersin sınıflara atanıp atanmayacağını göstermektedir. Yine sütuna 1 yazılması durumunda o dersin dersliklere atamasının

yapılması gerektiği anlaşılmaktadır. Fizik ve Kimya laboratuvarlarının dersliklere atanması istenmemektedir. Bu parametre ile derslik ataması yapılmayan laboratuvar derslerinin takibi yapılmaktadır.

Ana bina ve ek bina için sınıf verileri sırasıyla Çizelge 3.2 ve Çizelge 3.3’de verilmiştir.

Çizelge 3.2. Ana bina için sınıf verileri tablosu

	1	2	3	4	5
NO	ADI	KAPASİTESİ (Yn)	c	d	e
1	D1	72	0	0	1
2	D2	24	0	0	1
3	D3	99	0	0	1
4	D4	108	0	0	1
5	D5	108	0	0	1
6	D6	81	0	0	1
7	D7	48	0	0	1
8	D8	72	0	0	1
9	D9	24	0	0	1
10	D10	24	0	0	1
11	D11	81	0	0	1
12	D12	81	0	0	1
13	D13	81	0	0	1
14	D14	90	0	0	1
15	D15	90	0	0	1
16	D16	180	0	0	1
17	D17	90	0	0	1
18	D18	90	0	0	1
19	D19	54	0	0	1
20	D20	54	0	0	1
21	D21	54	0	0	1
22	L1	36	1	0	1
23	L2	36	1	0	1
24	L3	36	1	0	1
25	TRS1	56	1	1	1
26	TRS2	56	1	1	1
27	TRS3	50	1	1	1

Çizelge 3.3. Ek bina için sınıf verileri tablosu

	1	2	3	4	5
NO	ADI	KAPASİTESİ (Yn)	c	d	e
28	E1	72	0	0	0
29	E2	72	0	0	0
30	E3	72	0	0	0
31	E4	81	0	0	0
32	E5	81	0	0	0
33	E6	72	0	0	0
34	E7	72	0	0	0
35	E8	72	0	0	0
36	E9	72	0	0	0
37	E10	72	0	0	0
38	TRS/E1	44	1	1	0
39	TRS/E2	44	1	1	0

Yukarıdaki sınıf verileri tablosunda: ilk satırda 1 numara ile işaretlenmiş sütunda dersliğin adı, 2 numaralı sütunda dersliğin kapasitesi, 3 numaralı sütunda ilgili dersliğin bilgisayar özellikli olup olmadığı (1 ise bilgisayar özellikli, 0 ise bilgisayar özellikli değildir), 4 numaralı sütunda dersliğin TRS olup olmadığı (1 ise derslik TRS, 0 ise değildir) belirtilmektedir. Son sütunda ise ilgili dersliğin ana binada mı yoksa ek binada mı olduğu belirtilmektedir. 1 numara dersliğin ana binada olduğunu ifade ederken, 0 dersliğin ek binada olduğunu ifade etmektedir.

Her bir bölüm için hazırlanan veriler programın kullanacağı şekilde txt dosyalarına kaydedilmiştir.

3.2.Kısıtların Belirlenmesi

Kısıtlar sert ve gevşek kısıtlar olarak iki grupta toplanmıştır. Sert kısıtlar, yapılan atamanın tek olmasını, tüm ders planının eksiksiz yapılmasını sağlamaktadır. Öğrenciler ve fiziki mekânlar için herhangi bir çakışmanın olmamasını, fiziki mekân kapasitesine göre atama yapılmasını garantilemektedir. Toplam ders saatinin fazla olması sebebiyle tek oturumda yapılamayacak derslerin farklı günlere bölünmesi, bir oturumdaki

toplam ders saatlerinin ardışıklığı gibi istekleri de sağlayan kısıtlardır. Zorunlu kısıtlar, ders planı oluşturulurken mutlaka yerine getirilmesi gereken kısıtlardır. Çünkü bu kısıtlar, fiziki açıdan eldeki kaynakların kullanımına ilişkin durumları içerdiklerinden, gerçekleşmediklerinde geçerli bir ders planı oluşturulması mümkün olamaz. Örneğin bir fiziki mekâna aynı zaman aralığında tek bir dersin atanmasını sağlayan zorunlu kısıt gerçekleşmediğinde, bu fiziki mekâna birden fazla sayıda ders ataması yapılabilir, bu da geçerli bir ders planının oluşturulmaması 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 (Köçken vd. 2014). Gevşek kısıtlar ise, akademik kurumun isteklerine bağlı olan kısıtları ifade eder. Bu kısıtların ihlali çok fazla tercih edilmese de uygun çözümün elde edilmesine engel olmaz (Botsalı 2000). Gevşek kısıtlar ne kadar çok arttırılırsa, akademik kurumların istekleri bir o kadar sağlanmış olacağından oluşturulan çizelgenin verimliliği de bir o kadar artacaktır. Ancak bu kısıtların arttırılması problem boyutunu da arttıracığından çoğu zaman uygun çözümün elde edilmesi zorlaşacaktır. Bu durumda bu kısıtlar gevşetilerek, amaç fonksiyonu içerisinde çözüm kalitesini ölçmek amacıyla kullanılabilir (Burke *et al.* 2007). Bizim modelimizde de gevşetme, modele ceza katsayıları eklenerek yapılmıştır. Ders çakışmaları, farklı binaya ders atamaları, atamalarda sınıf kapasite aşımaları gevşek kısıtlarımızı oluşturmaktadırlar. Bu durumlar istenmeyen durumlar olduğundan meydana gelme durumlarında cezalandırılmaktadırlar. Sert ve gevşek kısıtlar açıklamalarıyla aşağıda anlatılacaktır.

3.3. Modelin Oluşturulması

KTDP gösterimi verilmeden önce gösterimde kullanılacak küme, parametre ve değişken tanımları verilecek ardından gösterim sunulacaktır.

Çizelge 3.4. Tanım ve parametreler

<i>Küme ve Parametreler</i>	<i>Tanımlar</i>
i/I	Gün indisi ve kümesi
j/J	Zaman aralığı indisi ve kümesi
m/M	Ders indisi ve kümesi
n/N	Derslik indisi ve kümesi
k/K	Öğrenci grubu indisi ve kümesi
s/S	Bölüm indisi ve kümesi
b_m	m dersinin haftalık toplam sayısını gösterir parametre
θ_m	m dersini alan takribi öğrenci sayısını gösterir parametre
γ_n	Atama yapılacak olan n sınıfının kapasitesini gösterir parametre
o	Ataması yapılacak olan dersleri(fizik-kimya laboratuvarı hariç) gösterir parametre
r	Şubeli dersleri gösterir parametre
c	Bilgisayar özellikli sınıfları gösterir parametre
d	Teknik Resim Sınıflarını (TRS) gösterir parametre
e	Sınıflar için anabina-ekbina göstergesi
h	Bölümler için anabina-ekbina göstergesi
u	Derslerin hangi bölüme ait olduğunu gösterir parametre
v	Derslerin hangi öğrenci grubuna ait olduğunu gösterir parametre
w	Bölüm derslerinin hangi binaya ait olduğunu gösterir parametre
θ_{mk}	m dersi k öğrenci grubunun dersi ise 1, aksi durumda 0 olur.

Çizelge 3.4. (devam)

α_{ms}	m dersi s bölümü dersi ise 1, aksi durumda 0 olur.
$K_1, K_2, \dots, K_7$	Amaç fonksiyon katsayıları

Çizelge 3.5. Değişkenler

<i>Değişkenler</i>	<i>Tanımlar</i>
Y_{mn}	m dersi n sınıfına atanıyorsa 1, aksi durumda 0 olur.
μ_m	Atama yapılmama ceza değişkeni
P_{ijmn}	Kapasite aşma ceza değişkeni
B_{ijm}	m dersi i gününde j zaman aralığında başlıyorsa 1, aksi durumda 0 olur.
X_{ijmn}	m dersi i gününde j zaman aralığında n sınıfına atanıyorsa 1, aksi durumda 0 olur.
Z_{ijm}	m dersi i gününde j zaman aralığına atanıyorsa 1, aksi durumda 0 olur.
t_{ijm}	Bölüm içi ders çakışma ceza değişkeni
$t^1_{ijmm_2}$	Bölüm içi ardışık sınıf ders çakışma değişkeni
$t^2_{ijmm_2}$	Bölümler arası ardışık sınıf ders çakışma değişkeni
t^3_{ijmn}	Farklı binaya atama ceza değişkeni

Matematiksel model şu şekildedir:

$$\text{ENK} (K_1 \sum_{i,j,m} t_{ijm} + K_2 \sum_{i,j,m,m_2} t^1_{ijmm_2} + K_3 \sum_{i,j,m,m_2} t^2_{ijmm_2} + K_4 \sum_{i,j,m,n} t^3_{ijmn} + K_5 \sum_{i,j,m} P_{ijmn} + K_6 \sum_m \mu_m^* \theta_m + K_7 \sum_m Z_{i5m} \quad (3.1)$$

öyle ki :

$$\sum_{m \in M} X_{ijmn} \leq 1 \quad \forall i, j, n \quad (3.2)$$

$$Z_{ijm} = \sum_{n \in N} X_{ijmn} \quad \forall i, j, m, o[m] = 1 \quad (3.3)$$

$$X_{ijmn} * \theta_m \leq (\gamma_n + 10) + P_{i,j,m,n} \quad \forall i, j, m, n \quad (3.4)$$

$$\sum_i \sum_j B_{ijm} = 1 - \mu_m \quad \forall m \quad (3.5)$$

$$b_m^* B_{ijm} = \sum_{l=0}^{b[m]-1} z_{i,j+l,m} \quad \forall i, j, m \quad (3.6)$$

$$\sum_i \sum_j z_{ijm} = b_m^* (1 - \mu_m) \quad \forall m \quad (3.7)$$

$$\sum_{j \in J} Z_{ijm_2} \leq 1 + t_{ijm} \quad \forall i, j, m, m_2: v[m_2] = v[m], \quad (3.8)$$

$$u[m_2] = u[m], r[m, m_2] = 0$$

$$Z_{ijm} - Z_{ijm_2} \leq 1 + t^1_{ijm_2} \quad \forall i, j, m, m_2: v[m] < 4, \quad (3.9)$$

$$v[m_2] = v[m] + 1, u[m_2] = u[m]$$

$$Z_{ijm} - Z_{ijm_2} \leq 1 + t^2_{ijmm_2} \quad \forall i, j, m, m_2, s_1, s_2: u[m] = s_1, \quad (3.10)$$

$$u[m_2] = s_2, v[m_2] - v[m] = 1,$$

$$X_{ijmn} \leq w_n e_n + (1-w_n) (1-e_n) + t^3_{ijmn} \quad \forall i, j, m, n \quad (3.11)$$

$$\sum_i \sum_j X_{ijmn} \leq b_m * Y_{mn} \quad \forall m, n \quad (3.12)$$

$$\sum_n Y_{mn} = 1 \quad \forall m, o[m] = 1 \quad (3.13)$$

$$Y_{mn}, \mu_m, B_{ijm}, X_{ijmn}, Z_{ijm} \in \{0,1\} \quad (3.14)$$

$$P_{ijmn}, t_{ijm}, t^1_{ijmm_2}, t^2_{ijmm_2}, t^3_{ijmn} > 0 \quad (3.15)$$

Amaç fonksiyonunun ilk teriminde aynı bölüm ve aynı öğrenci grubuna ait ders çakışmaları, ikinci terimde bölüm içi ardışık öğrenci grupları arasındaki ders çakışmaları, üçüncü terimde ÇAP öğrencileri için bölümler arası ardışık öğrenci grupları arasındaki çakışmalar cezalandırılmaktadır. Dördüncü terimde mevcut iki fakülte binasındaki bölüm derslerinin kendi binası dışındaki farklı binaya atanması durumu, beşinci terimde ise atamalarda meydana gelen kapasite aşırımları, altıncı teriminde atanamamış dersler, yedinci terimde ise yemek saatine ders atama durumu cezalandırılmaktadır.

Bu yedi farklı hedefin amaç fonksiyonundaki ağırlığına görece önem seviyelerine bakılarak karar verilecektir. Gösterimdeki kısıtlar da şu şekilde açıklanabilir. (3.2) numaralı kısıt her i gününde j zaman aralığında n en fazla 1 ders atanmasını sağlar. (3.3) numaralı kısıt da her i gününde j zaman aralığında atanmış bir m dersinin mutlaka bir n sınıfına da atanmış olmasını gerektigini ifade eder. (3.4) numaralı kısıt ise her i gününde j zaman aralığında n sınıfına atanan m dersini alan öğrenci sayısının sınıf kapasitesini ancak belirlenen oranda aşabileceğini göstermektedir. Bu miktardan da fazla kapasite aşımı olursa P_{ijmn} değişkenine atanmaktadır. (3.5) her m dersinin i günü j zaman aralığında başlayıp başlamadığını kontrol eden kısıttır. Atama olmaması durumunda μ_m değişkenine atama yapılmaktadır. (3.6) numaralı kısıt her i gününde j zaman aralığında başlayan derslerin haftalık ders saati tamamlanıncaya kadar arttırılarak derslerin ardışık atanmasını sağlar. (3.7) numaralı kısıt ataması yapılacak olan derslerin haftalık ders saatinin tamamının atanmasını sağlar. Aksi durumda μ_m değişkeni 1

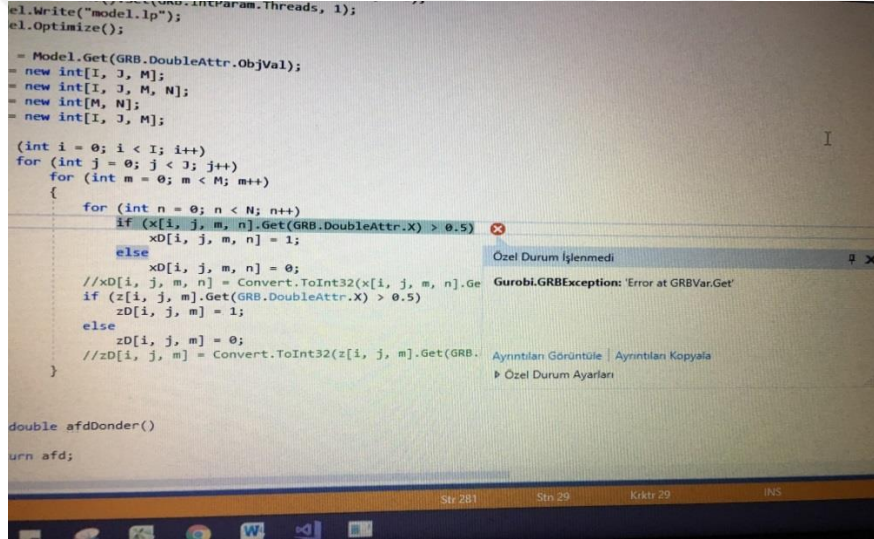
değerini alır. (3.8) numaralı kısıt aynı bölümün, aynı öğrenci grubunun, şubeli olmayan derslerinden her birinin farklı saatlere atanmasını sağlar. (3.9) numaralı kısıt ise aynı bölümün ardışık öğrenci grup derslerinin farklı saatlere atanmasını sağlamaktadır. (3.10). kısıt ise çift ana dal gruplarının ihtiyaçlarına binaen yazılmıştır. Burada amaç farklı bölümlerin ardışık öğrenci gruplarının derslerinin çakıştırılmamasıdır. (3.11) numaralı kısıt mevcut iki fakülte binasındaki bölüm derslerinin kendi binası dışındaki farklı binaya atanmamasını sağlar. (3.12) numaralı kısıtta bir n sınıfına atanmış m dersinin haftalık ders saatini aşmayacak şekilde aynı dersliğe atanmasını sağlar. (3.13) numaralı kısıtta ise her m dersinin yalnız bir sınıfa atanması sağlanmaktadır. (3.13) ve (3.14) ise değişkenleri ifade etmektedirler.

3.3.1. Hedef fonksiyon katsayılarının tespiti

Amaç fonksiyonumuzda ceza katsayıları belirlenirken göreceli değerler atanmıştır. Cezanın en fazla olduğu değer 10000 olarak belirlenmiş ve $K_6=10000$ olarak alınmıştır. Bu durum mevcut dersin gün, zaman aralığı ve dersliklere atama yapılmaması durumudur. İkinci yüksek ceza 10 olarak tespit edilmiş, aynı bölüme ve aynı öğrenci grubuna ait ders çakışmaları, öğle yemeği saatine ders atanması ve derslerin farklı binaya atanması durumları cezalandırılmıştır. Bölüm içi çakışmalar dönem derslerinin zamanında alınamamasına böylece de dönem uzamasına neden olduğundan istenmeyen bir durum olarak görülmektedir. İstenilmeyen durumlardan biri de derslerin bulunulan bölüm binasının dışında bir binaya atanması durumudur. Bu durum özellikle öğretim elemanları tarafından zaman kaybı olarak görüldüğünden istenmemektir. Öğretim elemanı memnuniyeti de önemli olduğundan yüksek bir puanla cezalandırılması uygun görülmüştür. Bu durumda Yani $K_1 = K_4 = K_7 = 10$ olmaktadır. Bir sonraki ceza katsayısı 3 olarak belirlenmiş ve cezalandırılan durum ise ardışık sınıf ders çakışması olarak ele alınmıştır. Bu durumun önemli görülme nedeni de, bilindiği gibi her dönem dersi alındığı dönemde geçilemeyebilmekte ve sonraki yıl öğrenciler dersi alttan almak zorunda kalabilmektedir. Bu yüzden öğrencilerin dersleri daha rahat almaları için ardışık sınıf çakışması en az düzeyde olmalıdır. Bu nedenle ardışık sınıf ders çakışmaları yüksek bir katsayı ile cezalandırılmıştır. Sonuç olarak K_2 değeri 3 olarak belirlenmiştir. Diğerlerine göre daha az ceza katsayısı verilen durumlar ise ÇAP öğrencilerini ilgilendiren bölümler arası ardışık sınıf çakışmaları ve atama yapılacak sınıfların kapasitelerini belirtilen aşım miktarını aşacak şekilde atama yapılması durumudur. Yani K_3 ve K_5 değerleri 1 olarak tespit edilmiştir.

3.4. Modelin C#'da Kodlanması

Modeli hazırlanan problem C#'da kodlanmış, öncelikle tek bir model olarak 392 dersin, 5 gün, 45 zaman aralığı ve 39 dersliğe atanması beklenmiştir. Bu haliyle model çok büyük olduğundan istenilen sürede sonuç alınamamıştır. Programın ekran görüntüsü şu şekildedir.



Şekil 3.1. Visual Studio program ekran görüntüsü

Çıktıda da görüldüğü gibi belirlenen sürede çözüm elde edilemediğinden gerçeğe yakın sonuç veren sezgisel yöntemle çözüm elde edilmek istenmiştir. Burada da modeli daha küçülterek sonuç elde edebileceğimiz sezgisel yöntemlerden biri olan parçalama yöntemi kullanılmıştır.

3.5. Sezgisel Yöntem

Büyük çaplı modelleri çözmek her zaman mümkün olmamaktadır. Büyük problemlerin çözümü için sık sık sezgisel algoritmalarından yararlanılmaktadır. Sezgisel algoritmalar, herhangi bir amacı gerçekleştirmek için veya hedefe varmak için çeşitli alternatif hareketlerden etkili olanlara karar vermek amacı ile tanımlanan kriterler veya bilgisayar metotlarıdır. Bu tür algoritmalar yakınsama özelliğine sahiptir, ama kesin çözümü garanti etmezler (Aydın 2018).

Üzerinde çalıştığımız model de büyük çaplı olduğundan kısa sürede istenen sonucu vermemiştir. Bu durumlarda daha kısa sürede sonuca ulaşmak için sezgisel yöntemlere ihtiyaç vardır. Modelimiz için önerilen sezgisel yöntem yukarıda anlatılan matematiksel modele dayanmaktadır. Burada sezgisel olarak büyük çaplı ve karmaşık kısıtlı modellerin çözümünde kullanılan parçalama yöntemi kullanılmıştır. Bu yöntemde başlangıçta oluşturulan model, Model 1 ve Model 2 olarak iki kısma ayrılarak çözüm elde edilmeye çalışılmıştır. Model 1 olarak adlandırılan kısım, derslikleri içeren tüm kısıtlardan bağımsız, sadece derslerle ilgili kısıtlardan oluşan model parçasıdır. Burada derslerin dersliklerden bağımsız olarak sadece gün ve zaman aralıklarına atama işlemi gerçekleştirilmektedir. Model 2 ise dersliklerle alakalı kısıtları içeren model parçasıdır. Bu model ile Model 1 tarafından gün ve zaman aralıklarına ataması yapılmış olan derslerin, dersliklere ataması gerçekleştirilir. Bu işlem yapılırken de Model 1 ile ataması yapılmış olan dersler ($Z_{ijm} = 1$ olan dersler), yeni bir parametreymiş gibi modele eklenerek çözülür. Derslerin gün ve zaman aralıklarına atandıkları Model 1 şu şekildedir:

MODEL 1

$$\text{ENK} (K_1 \sum_{i,j,m} t_{ijm} + K_2 \sum_{i,j,m,m_2} t^1_{ijmm_2} + K_3 \sum_{i,j,m,m_2} t^2_{ijmm_2} + K_6 \sum_m \mu_m * \theta_m + K_7 \sum_m Z_{i5m}) \quad (3.16)$$

$$\sum_i \sum_j B_{ijm} = 1 - \mu_m \quad \forall m \quad (3.17)$$

$$b_m * B_{ijm} = \sum_{l=0}^{b[m]-1} z_{i,j+l,m} \quad \forall i, j, m \quad (3.18)$$

$$\sum_i \sum_j z_{ijm} = b_m * (1 - \mu_m) \quad \forall m \quad (3.19)$$

$$\sum_{j \in J} Z_{ijm_2} \leq 1 + t_{ijm} \quad \forall i, j, m: v[m_2] = v[m], \quad (3.20)$$

$$u[m_2] = u[m], r[m, m_2] = 0$$

$$Z_{ijm} - Z_{ijm_2} \leq 1 + t^1_{ijm_2} \quad \forall i, j, m, m_2: v[m] < 4, \quad (3.21)$$

$$v[m_2] = v[m] + 1, u[m_2] = u[m]$$

$$Z_{ijm} - Z_{ijm_2} \leq 1 + t^2_{ijmm_2} \quad \forall i, j, m, m_2, s_1, s_2: u[m] = s_1, \quad (3.22)$$

$$u[m_2] = s_2, v[m_2] - v[m] = 1,$$

$$\sum_m Z_{ijm} * \theta_m \leq 1600 \quad \forall i, j \quad (3.23)$$

$$\mu_m, B_{ijm}, Z_{ijm} \in \{0, 1\} \quad (3.24)$$

$$t_{ijm}, t^1_{ijmm_2}, t^2_{ijmm_2} > 0 \quad (3.25)$$

Model 1'e diğerk kısıtlara ek olarak eklenen (3.23) kısıtı ile her i günü j zaman aralığına atanacak olan dersleri alacak olan toplam öğrenci sayısının 1600'ü geçmemesi istenmiştir. Böylece bir zaman aralığına yoğunlaşma engellenmek istenmiş, çakışmaların azaltılması amaçlanmıştır.

Model 1 ile her m dersi, her i günü ve j zaman aralıklarına atanmaya çalışılmıştır. Atama sonrasında ataması yapılan derslerin ($Z_{ijm}=1$ olan derslerin), yeni bir parametre gibi modele eklenmesi sonucu elde edilen Model 2 aşağıdaki gibidir:

MODEL 2

$$\text{ENK} (K_4 \sum_{i,j,m,n} t^3_{ijmn} + K_5 \sum_{i,j,m} P_{ijmn} + K_6 \sum_m \mu_m * \theta_m + K_7 \sum_m Z_{i5m}) \quad (3.26)$$

$$\sum_{m \in M} X_{ijmn} \leq 1 \quad \forall i, j, n, Z[i, j, m] = 1 \quad (3.27)$$

$$Z_{ijm} = \sum_{n \in N} X_{ijmn} \quad \forall i, j, m, o[m]=1 \\ Z[i, j, m] = 1 \quad (3.28)$$

$$X_{ijmn} * \theta_m \leq (Y_n + 10) \quad \forall i, j, m, n \\ + P_{i,j,m,n} \quad Z[i, j, m] = 1 \quad (3.29)$$

$$\sum_i \sum_j X_{ijmn} \leq b_m * Y_{mn} \quad \forall m, n \quad (3.30)$$

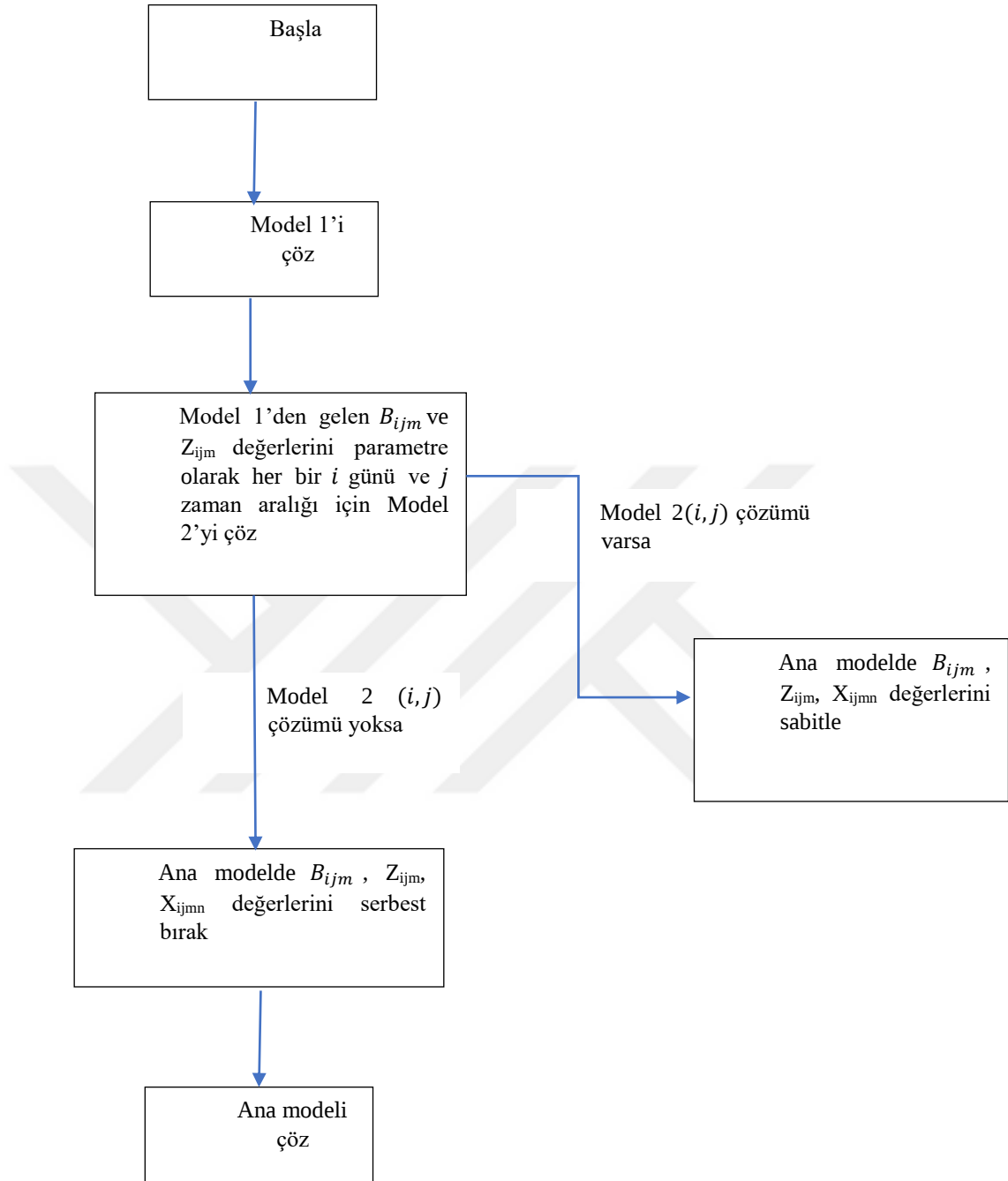
$$\sum_n Y_{mn} = 1 \quad \forall m, o[m]=1 \quad (3.31)$$

$$X_{ijmn} \leq w_n e_n + (1-w_n) (1-e_n) + t^3_{ijmn} \quad \forall i, j, m, n \quad (3.32)$$

$$Y_{mn}, X_{ijmn}, Z_{ijm} \in \{0,1\} \quad (3.33)$$

$$P_{ijmn}, t^3_{ijmn} > 0 \quad (3.34)$$

Model 2'nin çözümüyle, Model 1'de gün ve zaman aralıklarına atanmış olan derslerin dersliklere atanması beklenmektedir. Model 2 ile dersliklere de ataması yapılmış olan dersler ana modelde sabitlenir. Sabitleme işlemiyle anlatılmak istenen, ataması yapılmış olan dersler parametre olarak alınır, geriye kalan sabitlenemeyen yani dersliklere ataması yapılamayan dersler için ise ana model çalıştırılır. Böylece model daha küçülmüş olur ve atama işlemi daha rahat bir şekilde gerçekleştirilir. Bu işlemler yapıldıktan sonra ana modelin çalışması sonucu tüm derslerin atamasının gerçekleşmesi sağlanmaktadır. Sezgiselimizin çalışması şu şekilde özetlenebilir:



Şekil 3.2. Sezgisel özet modeli

4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA

4.1. Ders Çizelgeleme Model Sonuçları

C# da kodlanan model Gurobi çözücüsü yardımıyla Visual Studio' da çözülmüştür. Ana model, Model 1 ve Model 2 olmak üzere üç kısımdan oluşan kod çalıştırılırken, her birine farklı farklı süreler vererek en uygun amaç fonksiyonu değeri elde edilmeye çalışılmıştır. Ancak Model 2 çakışma kısıtlarından oluştuğundan sürenin artıp azalması sonucu değıştirmediginden denemeler Model 1 ve ana model üzerinden yapılmıştır. Aşağıdaki tabloda ilk sütun Model 1'in çalıştırılma sürelerini gösterirken, ilk satır Ana modelin çalışma sürelerini göstermektedir. Anamodelle kastedilen model, model 1 ve model 2'nin çözümü ile elde edilip, değerleri bilinen atamaların, (3.1)-(3.15) ile verilen asıl modelde sabitlenmesi ile elde edilen modeldir. Çözümü olmayan gün ve saatlere karşılık gelen değışkenler anamodelde serbest bırakılmışkın, çözüm bulunanlar sabitlermiştir. Belirlenen süreler için kodlar çalıştırılmış ve tablodaki sonuçlar elde edilmiştir.

Çizelge 4.1. Amaç fonksiyon değerleri

t	30 dk	60 dk	120 dk	180 dk
30 dk	33411240	32846912	28531347	162554
60 dk	33411240	31621422	25224536	210742
120 dk	33411240	30851461	5285841	125963
180 dk	33411240	28061224	3658295	54506.99

Tabloya bakıldığında, Ana modeli 30 dk çalıştırıldığında Model 1 ne kadar süre çalışırsa çalışsın amaç fonksiyonunun değerinin değişmediği görülmüştür. Sütunlara bakılacak olursa süre artımına bağlı olarak yine amaç fonksiyonunda azalmalar görülmüştür. Amaç fonksiyonunun en küçüklenmesi amaçlandığından en uygun çözümün hem ana modele hem de Model 1'e çalışma süresi olarak 180 dk verildiği durum olduğu görülmüştür.

En uygun durum için ceza katsayılarından oluşan amaç fonksiyonun bileşenleri şu şekildedir.

Toplam amaç fonksiyon değeri: 54506.99

1. amaç fonksiyon değeri: 47409.99
2. amaç fonksiyon değeri: 1725
3. amaç fonksiyon değeri: 3580
4. amaç fonksiyon değeri: 340
5. amaç fonksiyon değeri: 651.99
6. amaç fonksiyon değeri: 0
7. amaç fonksiyon değeri: 800

Amaç fonksiyonunun bileşenlerine bakıldığı zaman 1. amaç fonksiyonun belirttiği değer, aynı bölüm ve aynı öğrenci grubuna ait ders çakışmalarının toplam ceza maliyetini, 2. amaç fonksiyonunun belirttiği değer, aynı bölüm ve ardışık öğrenci grupları arasındaki ders çakışmalarının toplam ceza maliyetinin değerini göstermektedir. 3.amaç fonksiyonu değeri, bölümler arası ardışık öğrenci grupları arasındaki çakışmaların toplam ceza maliyetini, 4. amaç fonksiyonunun değeri derslerin bulunan binadan farklı binaya atanması durumunun toplam ceza maliyetini ifade etmektedir. 5. amaç fonksiyonun değeri atamalarda meydana gelen kapasite aşımalarının toplam ceza maliyetini gösterirken, 6. amaç fonksiyonunun değeri derslerin atanmama ceza değerini göstermektedir. Değer sıfır bulunduğundan tüm derslerin atamasının

yapıldığı sonucu çıkarılmaktadır. 7. amaç fonksiyonun değeri ise yemek saatine ders atama durumlarının toplam ceza maliyetini göstermektedir.

Modelin belirtilen süre çalıştırılması sonucu tüm bölümler için ayrı ayrı haftalık ders çizelgeleri elde edilmiştir. Burada örnek olarak Endüstri Mühendisliği için oluşturulan ders çizelgesi verilmiş, diğer bölümlerin haftalık ders çizelgeleri ekte verilmiştir.



Çizelge 4.2. Endüstri mühendisliği ders programı

	SAAT	I. SINIF	Dershane	II. SINIF	Dershane	III. SINIF	Dershane	IV. SINIF	Dershane
PAZARTESİ	08 - 09	Matematik -i (2) (A)	E2	Ist. ve Olas.(A)	E4	Yoneylem Arastirmasi -ii (A)	E5		
	09 - 10	Teknik Resim(A)/Matematik -i (2) (A)	TRS/E2/ E2	Ist. ve Olas.(A)	E4	Yoneylem Arastirmasi -ii (A)	E5		
	10 - 11	Teknik Resim(A)	TRS/E2	Ist. ve Olas.(A)	E4	Yoneylem Arastirmasi -ii (A)	E5		
	11 - 12	Teknik Resim(A)	TRS/E2	Dif(B)	E2	Is Etudu	E4		
	12 - 13	Teknik Resim (C)	TRS/E2	Dif(B)	E2	Is Etudu	E4		
	13 - 14	Teknik Resim (C)	TRS/E2	Dif(B)	E2	Is Etudu	E4		
	14 - 15	Teknik Resim (C)	TRS/E2	Insan Kaynaklari Y.	E8			Tedarik Zinciri Yonetimi	E1
	15 - 16	Girişimcilik(A)/(B)/(D)/Matematik -i (1) (B)	D15/D5/D17/E2	Insan Kaynaklari Y.	E8			Girişimcilik(A)/(B)/(D)/Tedarik Zinciri Yonetimi	D15/D5/D17/E1
	16 - 17	Girişimcilik(A)/(B)/(D)/Matematik -i (1) (B)	D15/D5/D17/E2	Insan Kaynaklari Y.	E8			Girişimcilik(A)/(B)/(D)/Tedarik Zinciri Yonetimi	D15/D5/D17/E1
SALI	08 - 09	Teknik Resim(B)	TRS/E2			Ataturk ilke ve inkilap Tarihi -i	E4		
	09 - 10	Teknik Resim(B)	TRS/E2			Ataturk ilke ve inkilap Tarihi -i	E4		
	10 - 11	Bilgisayar Programlama(B)	TRS/E1			Istatiksel KK(B)/B. Secmeli i (Karar Analizi)	E6 /E1		
	11 - 12	Bilgisayar Programlama(B)	TRS/E1	Ist. ve Olas.(B)	TRS/E2	Istatiksel KK(B)/B. Secmeli i (Karar Analizi)	E6 /E1	Girişimcilik(C)	D4
	12 - 13	Bilgisayar Programlama(B)	TRS/E1	Ist. ve Olas.(B)	TRS/E2	Istatiksel KK(A)/Istatiksel KK(B)/B. Secmeli i (Karar Analizi)	E7/ E6/E1	Girişimcilik(C) /Bolum Secmeli-iii (Veri Madenciligi)	D4/E8
	13 - 14			Ist. ve Olas.(B)	TRS/E2	Istatiksel KK(A)	E7	B.Secmeli-iii (Veri Madenciligi)	E8
	14 -15					Istatiksel KK(A)	E7	B. Secmeli-iii (Veri Madenciligi)	E8
	15 - 16	Matematik -i (1) (A)	E1						
	16 -17	Matematik -i (1) (A)	E1						

Çizelge 4.2. (devam)

ÇARŞAMBA	08 - 09			Malzeme Bilimi	E9			
	09 - 10	Bilgisayar Programlama(C)	L2	Malzeme Bilimi	E9			
	10 - 11	Bilgisayar Programlama(C)	L2	Malzeme Bilimi	E9			
	11 - 12	Bilgisayar Programlama(C)	L2			Muhendislik Ekonomisi (A)	E9	
	12 - 13	Bilgisayar Programlama(A)/Fizik -iLab (A)	L1			Muhendislik Ekonomisi (A)	E9	
	13 - 14	Bilgisayar Programlama(A)/Fizik -iLab (A)	L1			Muhendislik Ekonomisi (A)	E9	
	14 - 15	Bilgisayar Programlama(A)	L1			Muhendislik Ekonomisi (B)	E3	
	15 - 16	Yabancı Dil -i (ingilizce)	E5			Muhendislik Ekonomisi (B)	E3	
	16 - 17	Yabancı Dil -i (ingilizce)	E5			Muhendislik Ekonomisi (B)	E3	
PERŞEMBE	08 - 09	Genel Kimya -i(A)/Fizik -i(A)	E2 /E1				Alternatif enerji kaynakları	D5
	09 - 10	Genel Kimya -i(A)/Fizik -i(A)	E2 /E1				Alternatif enerji kaynakları	D5
	10 - 11	Genel Kimya -i(A)/Fizik -i(A)	E2 /E1	Türk Dili -i	E4		Alternatif enerji kaynakları	D5
	11 - 12	Genel Kimya -i(B)	E1	Türk Dili -i	E4	Bolum Secmeli i (markov/kuyruk teorisi)	E7	
	12 - 13	Genel Kimya -i(B)	E1			Benzetim/Bolum Secmeli i (markov/kuyruk teorisi)	E4/E7	
	13 - 14	Genel Kimya -i(B)/Genel Kimya -i LAB (B)	E1			Benzetim/Bolum Secmeli i (markov/kuyruk teorisi)	E4/E7	
	14 - 15	Genel Kimya -i LAB (B)		Maliyet Muhasebesi	E1	Benzetim	E4	
	15 - 16	Endustri Muhendisligine Giris(A)	E3	Maliyet Muhasebesi	E1		Is Sagligi ve Guvenligi dersi	E5
	16 - 17	Endustri Muhendisligine Giris(A)	E3	Maliyet Muhasebesi	E1		Is Sagligi ve Guvenligi dersi	E5
CUMA	08 - 09					Yoneylem Arastirmasi -ii (B)	E6	
	09 - 10			Diferansiyel Denklemler(A)	E10	Yoneylem Arastirmasi -ii (B)	E6	Bolum Secmeli-iii (Proje Yonetimi)
	10 - 11			Diferansiyel Denklemler(A)	E10	Yoneylem Arastirmasi -ii (B)	E6	Bolum Secmeli-iii (Proje Yonetimi)
	11 - 12			Diferansiyel Denklemler(A)	E10			Bolum Secmeli-iii (Proje Yonetimi)
	12 - 13							
	13 - 14			Yonetim ve Organizasyon	E3			
	14 - 15			Yonetim ve Organizasyon	E3			Depreme karşı yapısal bilinç
	15 - 16	Genel Kimya -i LAB (A)		Yonetim ve Organizasyon	E3			Depreme karşı yapısal bilinç
	16 - 17	Genel Kimya -i LAB (A)						Depreme karşı yapısal bilinç

5. SONUÇ ve ÖNERİLER

Sonuçlar

Bu çalışmada üniversitelerde her dönem başında karşılaşılan ve her üniversitenin yapısı nedeni ile farklılık gösteren ders çizelgeleme problemi incelenmiştir. Ders çizelgeleme problemi, bir öğretim elemanının aynı ders saatinde farklı iki ders verememesi gibi sert kısıtların ihlal edilmeden, derslerin, öğretim elemanlarının, dersliklerin haftalık çizelge içerisindeki uygun zaman dilimlerine atanmasını içeren özel bir zaman çizelgeleme problemidir.

Bu çalışmada Atatürk Üniversitesi Mühendislik Fakültesi'nde hangi dersin, hangi gün, hangi zaman aralığına, hangi dersliğe atanması gerektiği problemi çözülmeye çalışılmıştır. Bu amaçla belirli kısıtlar altında atamaları gerçekleştirebilecek karma tamsayılı doğrusal programlama modeli geliştirilmiştir. Geliştirilen karma tamsayılı doğrusal programlama modeli için Gurobi çözücüsü vasıtasıyla Visual Studio'da kodlanıp çözülmüş ve her bir bölüm için ayrı ayrı ders programları elde edilmiştir. Tasarladığımız TDP gösterimi özgündür. Mühendislik Fakültesi'nin her bölümünün çizelgelemeye dâhil edildiği ve ayrıca bölümlerin sadece bağımsız olarak değerlendirmesini engelleyecek çift ana dal programlarının da dahil edilmesi modelimizin hem teoride hem pratikte yenilikler içerdiğini göstermektedir.

Literatürde ders çizelgeleme çalışmaları oldukça fazla sayıda olmalarına rağmen hemen hemen hiçbirinde fakültelerin tüm bölümleri ele alınmamış sadece tek bir bölüm üzerinde çalışılmıştır. Bizim uygulamamızda 8 ayrı bölüm üzerinde çalışılmıştır. Birden fazla bölümü ele alan uygulamalı bu yaklaşımımızın sahasında bir ilkler arasında olduğu kanaatindeyiz.

Projemizi farklı kılan diğer bir yönü ise çalışmamıza dâhil ettiğimiz çift ana dal programlarıdır. ÇAP yapan hemen hemen her öğrencinin yaşamış olduğu ders çakışma mağduriyetini en aza indirmeye çalışmaktayız. Üniversite ders çizelgeleme

problemlerinin çözümünde çift ana dal kısıtlarının dâhil edilmesi yaklaşımıyla da yine sahasında ilk olduğu kanaatindeyiz.

Öneriler

Optimale yakın çözümler elde ettiğimiz sezgisel yöntemlerden biri olan parçalama sezgiseli ile çözdüğümüz modelimiz, diğer sezgisel yöntemler ile de çözülerek daha farklı çözümler elde edilebilir.

Derslerin gün, zaman ve dersliğe atamasının yapıldığı modelimize, çeşitli eklemeler yapılarak öğretim elemanlarının da ataması yaptırılabilir.

Amaç fonksiyonunun ders çakışma kısıtlarının minimizasyonu olarak oluşturulduğu modelimiz, amaç fonksiyonunun öğretim elemanı memnuniyetinden oluşacağı şekilde düzenlenerek farklı atamalar yapılabilir.

Güz dönemi dersleri için örgün öğretimler için çalıştığımız modelimiz, çeşitli ekleme ve düzenlemeler yapılarak güz ve bahar dönemi dersleri için, örgün ve ikinci öğretilere de uygulanabilir.

ÇAP kısıtları göz önüne alınarak hazırlanan çalışmamıza Yan Dal kısıtları da eklenerek daha geniş kullanımlı bir model haline getirilebilir.

Hedef fonksiyon katsayılarını belirlerken göreceli değerler atadığımız modelimizde, bu katsayılar AHP gibi farklı yöntemler kullanılarak da elde edilebilir.

KAYNAKLAR

- Aizam, N.A.H., Sim, S.L.P., 2014. Extended Basic Integer Programming Models for Multiple Scheduling Problems Ann Oper Res 218:261–293.
- Aksakal, T., ‘Çift Anadal (ÇAP) Nedir ? | Yan Dal Nedir ?’,<https://www.meslekhocam.com/cift-anadal-cap-nedir-yandal-nedir/>, 22.06.2018.
- Aladağ, Ç.H., Hocaoglu, G., Başaran, M.A., 2009. The Effect of Neighborhood Structures on Tabu Search Algorithm In Solving Course Timetabling Problem. Expert Systems with Applications 36 12349–12356.
- Aladağ, Ç.H., Hocaoglu, G., 2007. Tabu Search Algorithm to Solve A Course Timetabling Problem, Hacettepe Journal of Mathematics and Statistics Volume 36 (1) , 53- 64.
- Applebee, S., Aschinger, M., Bucury, A., Edmonds, H., Hungerländer, P., and Maier, K., 2016. New Constraints and Features for The University Course Timetabling Problem
- Aydın, İ., 'Meta sezgisel Yöntemler',http://web.firat.edu.tr/iaydin/bmu579/bmu579_Bolum_1.pdf, 22.06.2018.
- Baker, R.K, Magazine, M.J, Polak, G.G., 2002. Optimal Block Design Models for Course Timetabling, Operations Research Letters 30 1 – 8.
- Bakır, M.A. ve Aksop C., 2008. A 0-1 Integer Programming Approach to A University Timetabling Problem, Hacettepe Journal of Mathematics and Statistics Volume 37 (1) 41 – 55.
- Bali, A., Shaikh, A., Ansari, T., Baig, F., 2016. Genetic Algorithm with Meta-Heuristic Approach for Generating Timetable. Imperial Journal of Interdisciplinary Research (IJIR) Vol-2, Issue-5.
- Birbas, T., Daskalaki, S., Housos, E., 2004. School Timetabling for Quality Student and Teacher Schedules European Journal of Operational Research 153 117–135.
- Birbas, T., Daskalaki, S., Housos, E., 2004. An Integer Programming Formulation for A Case Study in University Timetabling European Journal of Operational Research 153 117–135.
- Bolajia, A.L., Khadera ,Mohammed, A.T., Al-Betar, M.A., Awadallaha, M., 2011. Artificial Bee Colony Algorithm for Curriculum-Based Course Timetabling Problem. The 5th International Conference on Information Technology.
- Botsalı, A. R., 2000. “A timetabling problem: Constraint and mathematical approaches”, Master Dissertation, The Institute of Engineering and Sciences of Bilkent University, Ankara, Turkey, 1-15.
- Bunday, B.D., 1984. Basic Optimization Methods, Edward Arnold Ltd, London.
- Burke, E.K., Kendall, G., Soubeiga, E., 2003. “A tabu-search hyperheuristic for timetabling and rostering”, Journal of Heuristics, 9: 451–470.
- Cacchiani, V., Caprara, A., Roberti, R., Toth, P., 2013. A New Lower Bound for Curriculum-Based Course Timetabling, Computers & Operations Research 40 2466–2477.

- Dimopoulou, M., Miliotis, P., 2004. An automated university course timetabling system developed in a distributed environment: A case study. *European Journal of Operational Research* 153 136–147.
- Dorneles, Á.P., Araújo, O.C.B., Buriol, L.S., 2017. A Column Generation Approach to High School Timetabling Modeled As A Multicommodity Flow Problem. *European Journal of Operational Research* 256 (2017) 685–695.
- Fiarni, C., Gunawan, A.S., Ricky, Maharani, H., Kurniawan, H., 2015. Automated Scheduling System for Thesis and Project Presentation Using Forward Chaining Method with Dynamic Allocation Resources. *The Third Information Systems International Conference. Procedia Computer Science* 72 209 – 216.
- Gunawan, A., Ng, K.M., Poh, K.L., 2012. A Hybridized Lagrangian Relaxation and Simulated Annealing Method for The Course Timetabling Problem. *Computers & Operations Research* 39 3074–3088.
- Hao, J.K., Benlic, U., 2011. Lower Bounds for The Itc-2007 Curriculum-Based Course Timetabling Problem. *European Journal of Operational Research* 212 464–472.
- Himmelblau, D.M., Edgar, T.F., 1989. *Optimization of Chemical Processes*, McGraw-Hill, Inc. NY.
- Ismayilova, N.A., Sağır, M., Gasimov, R.N., 2007. A Multiobjective Faculty–Course–Time Slot Assignment Problem with Preferences Mathematical and Computer Modelling 46 1017–1029, *J Sched* (2009) 12: 177–197.
- Kahaner, D., Moler, C., Nash, S., 1989. *Numerical Methods and Software*, Prentice Hall, Inc. Englewood Cliffs, NJ.
- Kara, İ., 1986. Yöneylem Araştırması, Doğrusal Olmayan Modeller , Anadolu Üniversitesi Basımevi, Eskişehir.
- Kristiansen, S., Sørensen, M. ve Stidsen, T.R., 2011. “Elective course planning”, *European Journal of Operational Research*, Cilt 215, 713–720.
- Köçken, H.G., Özdemir, R., 2014. “Üniversite ders zaman çizelgeleme problemi için ikili tamsayılı bir model ve bir uygulama”, *Istanbul University Journal of the School of Business*, Cilt/Vol:43, Sayı/No:1, 2014, 28-54.
- Kübat, C., 1983. Yöneylem Araştırması, 8. Ulusal Kongresi, Ankara.
- Mirhassani, S.A., 2006. A Computational Approach To Enhancing Course Timetabling with Integer Programming. *Applied Mathematics And Computation* 175 814–822.
- Özdemir, M.S., Gasimov, R.N., 2004. The Analytic Hierarchy Process And Multiobjective 0–1 Faculty Course Assignment . *European Journal of Operational Research* 157 398–408.
- Pillay, N., 2017. A Survey of School Timetabling Research *European Journal of Operational Research* 256 (2017) 685–695.
- Rao, S.S., 1978. *Optimization Theory and Applications*, 2nd. Edition, Halsted, Inc.
- Sarin, S.C., Wang, Y., Varadarajan, A., 2011. A University-Timetabling Problem and Its Solution Using Benders’ Partitioning—A Case Study. *European Journal of Operational Research* 215 713–72.
- Schimmelpfeng, K., Helber, S., 2007. Application of A Real-World University-Course Timetabling Model Solved By Integer Programming. *Or Spectrum* 29:783–803.
- Van Den Broek, J.J.J., Hurkens, C.A.J., 2012. An Ip-Based Heuristic for The Post Enrolment Course Timetabling Problem of The Itc2007. *Ann Oper Res* 194:439–454.

- I. Skoullisa, V., X. Tassopoulosb, I., Beligiannis, G.N., 2017. Solving The High School Timetabling Problem Using A Hybrid Cat Swarmoptimization Based Algorithm. *Applied Soft Computing* 52 (2017) 277–289.



ÖZGEÇMİŞ

1991 yılında Erzincan’da doğdu. Lise öğrenimini 2005-2009 yılları arasında Erzincan’da tamamladı.2009 yılında Karabük Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Endüstri Mühendisliği bölümünde öğrenimine başladı. 2014 yılında aynı bölümden mezun oldu. 2015 yılında Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yöneylem Araştırması Anabilim Dalında yüksek lisans eğitimine başladı.

