

Müfredat Temelli Üniversite Ders Çizelgeleme Problemi İçin Bir Tavlama Benzetimi  
Algoritması

Hatice Erdoğan Akbulut

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı

Ağustos 2020

A Simulated Annealing Algorithm for Curriculum-Based University Course Scheduling  
Problem

Hatice Erdoğan Akbulut

**MASTER OF SCIENCE THESIS**

Department of Industrial Engineering

August 2020

Müfredat Temelli Üniversite Ders Çizelgeleme Problemi İçin Bir Tavlama Benzetimi  
Algoritması

Hatice Erdoğan Akbulut

Eskişehir Osmangazi Üniversitesi  
Fen Bilimleri Enstitüsü  
Lisansüstü Yönetmeliği Uyarınca  
Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı  
Üretim ve Servis Sistemleri Bilim Dalında  
YÜKSEK LİSANS TEZİ  
Olarak Hazırlanmıştır

Danışman: Doç. Dr. Feriştah Özçelik

İkinci Danışman: Doç. Dr. Tuğba Saraç

Ağustos 2020



## ETİK BEYAN

Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü tez yazım kılavuzuna göre, Doç. Dr. Feriştah Özçelik ve Doç. Dr. Tuğba Saraç danışmanlığında hazırlamış olduğum “Müfredat Temelli Üniversite Ders Çizelgeleme Problemi İçin Bir Tavlama Benzetimi Algoritması” başlıklı YÜKSEK LİSANS tezimin özgün bir çalışma olduğunu; tez çalışmamın tüm aşamalarında bilimsel etik ilke ve kurallara uygun davrandığımı; tezimde verdiğim bilgileri, verileri akademik ve bilimsel etik ilke ve kurallara uygun olarak elde ettiğimi; tez çalışmamda yararlandığım eserlerin tümüne atıf yaptığımı ve kaynak gösterdiğimi ve bilgi, belge ve sonuçları bilimsel etik ilke ve kurallara göre sunduğumu beyan ederim. 14/08/2020

Hatice Erdoğan Akbulut

İmza

## ÖZET

Bu çalışmada, dersliklerin bazılarının diğer fakültelerle ortak kullanıldığı fakülte düzeyinde ders çizelgeleme problemi ele alınmıştır. Literatürde daha önce ardışık öğrenci gruplarının ders çakışmasını dikkate alan çift anadal programı kısıtı, bu çalışmada, öğrencinin hem kendi bölümünün hem de çift anadal yapacağı bölümün aynı öğrenci gruplarında alacağı zorunlu derslerin mümkün olduğunca çakışmaması şeklinde ele alınmıştır. Ayrıca, herhangi bir öğrencinin, fakülte içerisindeki başka bir bölümde yandal yapabilmesi için alması gereken dersler ile kendi zorunlu derslerinin mümkün olduğunca çakışmaması dikkate alınarak yandal programı kısıtı da probleme dâhil edilmiştir. Bu doğrultuda, problemin çözümü için bir hedef programlama modeli önerilmiştir. Önerilen yöntemin işlerliği, oluşturulan örnek problem üzerinde gösterilmiştir. Hedef programlama modelinin çözemediği boyuttaki problemlerin çözümü için bir tavlama benzetimi algoritması geliştirilmiştir. Özel bir üniversitenin Mühendislik Fakültesi verileri kullanılarak oluşturulan farklı boyuttaki problemler, önerilen yöntemler ile çözülmüş ve elde edilen sonuçlar karşılaştırılmıştır. Yapılan deneyler sonucunda, geliştirilen tavlama benzetimi yöntemi ile daha başarılı sonuçlar elde edildiği gözlemlenmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Üniversite Ders Çizelgeleme Problemi, Hedef Programlama, Tavlama Benzetimi, Çift Anadal Programı, Yandal Programı.

## SUMMARY

In this study, the faculty level course scheduling problem, where some of the classrooms are used jointly with other faculties, is discussed. In the literature, constraint of the double major program, which took into account the course overlap of consecutive student groups, was discussed in this study as the compulsory courses to be taken by the student in the same student groups of both his / her department and his / her double major department do not overlap as much as possible. In addition, the constraint of the minor program was also included in the problem, considering that the courses that a student must take in order to do a minor in another department within the faculty and their own compulsory courses do not conflict as much as possible. In this direction, a goal programming model has been proposed for the solution of the problem. The operability of the proposed method is shown on the sample problem. An simulated annealing algorithm has been developed to solve the problems that cannot be solved by the goal programming model. Problems of different dimensions created using the data of the Faculty of Engineering of a private university were solved with the suggested methods and the results obtained were compared. As a result of the experiments, it was observed that more successful results were obtained with the simulated annealing method developed.

**Keywords:** University Course Scheduling Problem, Goal Programming, Simulated Annealing, Double Major Program, Minor Program.

## TEŞEKKÜR

Yüksek lisans tez sürecimin her aşamasında, araştırmalarımnda bana yol gösteren, bilgi ve tecrübelerini benimle paylaşan, değerli danışman hocalarım Doç. Dr. Feriştah Özçelik ve Doç. Dr. Tuğba Saraç'a, tez savunması sırasında yerinde ve değerli önerilerde bulunarak yapmış olduğum çalışmaya katkı sağlayan Prof. Dr. Müjgan Sağır, Prof. Dr. Özden Üstün ve Doç Dr. Zehra Kamışlı Öztürk hocalarıma, tez yazım sürecinde fikirleri ve yardımları için meslektaşım Arş. Gör. Aslıhan Karaş başta olmak üzere yardımda bulunan arkadaşlarıma, beni yetiştirmiş ve bugünlere getirmiş canım aileme ve bu süreçte her türlü maddi ve manevi desteği esirgemeyen yol arkadaşım, sevgili eşim Mehmet Ali Akbulut'a sonsuz teşekkürlerimi sunuyorum.



## İÇİNDEKİLER

### Sayfa

<b>ÖZET</b> .....	vi
<b>SUMMARY</b> .....	vii
<b>TEŞEKKÜR</b> .....	viii
<b>İÇİNDEKİLER</b> .....	ix
<b>ŞEKİLLER DİZİNİ</b> .....	xi
<b>ÇİZELGELER DİZİNİ</b> .....	xii
<b>SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ</b> .....	xiii
<b>1. GİRİŞ VE AMAÇ</b> .....	1
<b>2. ÜNİVERSİTE DERS ÇİZELGELEME PROBLEMİ</b> .....	3
<b>3. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI</b> .....	5
3.1. Kesin Çözüm Yöntemleri .....	9
3.2. Sezgisel-Metasezgisel Temelli Çözüm Yöntemleri.....	15
<b>4. MATERYAL VE YÖNTEM</b> .....	34
4.1. Problemin Tanımı .....	34
4.2. Önerilen Matematiksel Model .....	35
4.2.1. Karar değişkenlerinin ve parametrelerin tanımlanması .....	36
4.2.2. Kısıtların belirlenmesi ve amaç fonksiyonu.....	38
4.3. Tavlama Benzetimi Hakkında Genel Bilgiler.....	43
4.4. Geliştirilen Tavlama Benzetimi Yaklaşımı.....	45
4.4.1. Çözüm gösterimi .....	46
4.4.2. Başlangıç çözümü oluşturulması .....	46
4.4.3. Komşuluk yapısı .....	49
4.4.3.1. <u>Dersin zamanını ve yerini değiştirme</u> .....	49
4.4.3.2. <u>İki dersin yer değiştirme</u> .....	50
4.4.3.3. <u>Karma komşuluk</u> .....	52
4.4.4. Başlangıç sıcaklığı, durdurma koşulu ve soğutma planı.....	52
4.4.5. Geliştirilen tavlama benzetimi algoritmasının sözde kodu .....	53

**İÇİNDEKİLER (devam)**

	<b><u>Sayfa</u></b>
<b>5.BULGULAR VE TARTIŞMA .....</b>	<b>55</b>
5.1. Kullanılan Gerçek Hayat Verileri .....	55
5.2. Örnek Problem.....	55
5.2.1. Matematiksel model ile çözüm .....	59
5.2.2. Geliştirilen tavlama benzetimi algoritmasıyla çözüm.....	67
<b>6.SONUÇ VE ÖNERİLER .....</b>	<b>71</b>
<b>KAYNAKLAR DİZİNİ.....</b>	<b>73</b>
<b>EK AÇIKLAMALAR .....</b>	<b>80</b>
Ek Açıklama-A: Antalya Bilim Üniversitesi Mühendislik Fakültesi 2018-2019 Güz Dönemi Dersleri (Büyük Boyutlu Problemin Verileri) .....	81
Ek Açıklama-B: Derslik Bilgileri .....	85
Ek Açıklama-C: Küçük Boyutlu Problemin Verileri.....	86
Ek Açıklama-D: Orta Boyutlu Problemin Verileri .....	88

## ŞEKİLLER DİZİNİ

<b><u>Sekil</u></b>	<b><u>Sayfa</u></b>
3.1.Ele alınan ÜDÇP çalışmalarında kullanılan çözüm yöntemlerinin dağılımı.....	33
4.1. Genel tavlama benzetimi sözde kodu.....	45
4.2. Çözüm gösterimi .....	46
4.3.Ders ( <i>course</i> ) sınıfı bilgileri .....	47
4.4.Derslik ( <i>room</i> ) sınıfı bilgileri .....	47
4.5.Öğretim üyesi ( <i>instructor</i> ) sınıfı bilgileri.....	48
4.6.Öğrenci grubu ( <i>studentGroup</i> ) sınıfı bilgileri .....	48
4.7. Dersin zamanını ve yerini değiştirme komşuluk yapısının sözde kodu .....	49
4.8.İki dersin yer değiştirmesi sözde kodu .....	50
4.9.Geliştirilen tavlama benzetimi sözde kodu .....	53

## ÇİZELGELER DİZİNİ

<u>Cizelge</u>	<u>Sayfa</u>
3.1.ÜDÇP literatüründe yer alan çalışmalarda kullanılan problem ve veri kümelerinin kısıtları .....	9
3.2. Kesin çözüm yöntemlerinin kullanıldığı çalışmalar.....	13
3.3. Sezgisel-Metasezgisel temelli çözüm yöntemlerinin kullanıldığı çalışmalar.....	21
3.4. İncelenen çalışmalardaki katı kısıtlar .....	26
3.5. İncelenen çalışmalardaki esnek kısıtlar .....	30
4.1.Fiziksel tavlama ile kombinatoryal eniyileme arasındaki ilişki .....	43
4.2.Tavlama benzetimi algoritmasında kullanılan parametre değerleri .....	53
5.1.Zorunlu dersler .....	56
5.2.Seçmeli dersler .....	57
5.3.Derslikler.....	57
5.4.Dersliklerin gün ve zaman aralığı bazında uygunluk durumları .....	57
5.5.Öğretim üyelerinin gün bazında uygunluk durumları .....	58
5.6.Öğrencinin yandal yapmak istediği bölümde alması gereken dersler .....	59
5.7.Bölüm 1'e ait ders çizelgesi .....	60
5.8.Bölüm 2'ye ait ders çizelgesi .....	61
5.9.Dersliklerin çizelgesi.....	62
5.10.Öğretim görevlilerinin çizelgesi.....	64
5.11. Örnek problemin TB algoritmasıyla çözümünün sonucu.....	67
5.12.Küçük boyutlu problemin TB algoritmasıyla çözümünün sonucu.....	67
5.13.Orta boyutlu problemin TB algoritmasıyla çözümünün sonucu .....	68
5.14. Büyük boyutlu problemin TB algoritmasıyla çözümünün sonucu.....	68
5.15. Büyük boyutlu problemin mevcut durumu ve önerilen TB algoritmasıyla çözümünün sonucu .....	69

## SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

<u>Simgeler</u>	<u>Açıklama</u>
$i, p$	Ders indisleri
$j$	Öğretim üyesi indisi
$m, m'$	Bölüm indisleri
$n, u$	Öğrenci grubu indisleri
$l$	Gün indisi
$k$	Zaman aralığı indisi
$t$	Oturum ders saati indisi
$q, o$	Derslik indisleri
$w$	Ders oturumları indisi
$v$	Dersliğin tipi indisi
$I$	Ders sayısı
$J$	Öğretim üyesi sayısı
$M$	Bölüm sayısı
$L$	Gün sayısı
$K$	Zaman aralığı sayısı
$Q$	Derslik sayısı
$W$	Oturum sayısı
$V$	Derslik tipi sayısı
$a_i$	$i$ . dersin haftalık ders saati
$b_i$	$i$ . dersi alan tahmini öğrenci sayısı
$h_i$	$i$ . dersin oturum sayısı
$g_q$	$q$ . dersliğin tipi
$c_q$	$q$ . dersliğin kapasitesi
$d_{imn}$	$i$ . dersin $m$ . bölüm $n$ . öğrenci grubuna ait zorunlu ders ise 1, değilse 0 değerini alan parametre
$as_{im}$	$i$ . ders $m$ . bölümün seçebileceği alan içi seçmeli ders ise 1, değilse 0 değerini alan parametre

## SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ (devam)

<u>Simgeler</u>	<u>Açıklama</u>
$e_{lkq}$	$l$ . gün $k$ . zaman aralığında $q$ . derslik müsait ise 1, değilse 0 değerini alan parametre
$f_{ji}$	$j$ . öğretim üyesi $i$ . dersi veriyorsa 1, vermiyorsa 0 değerini alan parametre
$r_{jl}$	$j$ . öğretim üyesi $l$ . gün ders verebiliyorsa 1, veremiyorsa 0 değerini alan parametre
$s_{iw}$	$i$ . dersin $w$ . oturumunun ders saati
$sa_{im}$	$i$ . ders $m$ . bölümde yandal yapacak öğrencinin alacağı ders ise 1, değilse 0 değerini alan parametre
$kk_{iv}$	$i$ . ders $v$ . derslik tipinde verilebilecek ise 1, verilemeyecek ise 0 Değerini alan parametre
$MM$	Yeterince büyük pozitif bir sayı
$X_{ilkq}$	$i$ . ders $l$ . gün $k$ . zaman aralığında $q$ . dersliğe atanıyorsa 1, atanmıyorsa 0 değerini alan karar değişkeni
$y_{iwlq}$	$i$ . ders $w$ . oturumu $l$ . gün $q$ . derslikte yapılıyorsa 1, yapılmıyorsa 0 değerini alan karar değişkeni
$d1_{mnqiwlk}^-$	$m$ . bölüm $n$ . öğrenci grubunun $q$ . dersliğinde bulunan $i$ . dersin iki veya üç saatlik olan $w$ . oturumunun $l$ . günün öğle saati zaman aralığı olan $k$ . zaman aralıklarında hedeflenen öğle saati boşluğu değerinden negatif yönlü sapma
$d1_{mnqiwlk}^+$	$m$ . bölüm $n$ . öğrenci grubunun $q$ . dersliğinde bulunan $i$ . dersinin iki veya üç saatlik olan $w$ . oturumunun $l$ . günün öğle saati zaman aralığı olan $k$ . zaman aralıklarında hedeflenen öğle saati boşluğu değerinden pozitif yönlü sapma
$d2_{mnlqipok}^-$	$m$ . bölüm $n$ . öğrenci grubunun $l$ . gün $q$ . dersliğinde olan $i$ . dersi ile $o$ . dersliğinde olan $p$ . dersinin öğle saati zaman aralığı olan $k$ . zaman aralıklarında hedeflenen öğle saati boşluğu değerinden negatif yönlü sapma

## SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ (devam)

<b><u>Simgeler</u></b>	<b><u>Açıklama</u></b>
$d2_{mnlqipok}^+$	$m$ . bölüm $n$ . öğrenci grubunun $l$ . gün $q$ . dersliğinde olan $i$ . dersi ile $o$ . dersliğinde olan $p$ . dersinin öğle saati zaman aralığında olan $k$ . zaman aralıklarında hedeflenen öğle saati boşluğu değerinden pozitif yönlü sapma
$d3_{mniuplk}^-$	$m$ . bölümün ardışık öğrenci grupları olan $n$ . öğrenci grubunun zorunlu olan $i$ . ders ile $u$ . öğrenci grubunun zorunlu olan $p$ . dersin $l$ . gün $k$ . zaman aralığında çakışmaması hedefinden negatif yönlü sapma
$d3_{mniuplk}^+$	$m$ . bölümün ardışık öğrenci grupları olan $n$ . öğrenci grubunun zorunlu dersi olan $i$ . ders ile $u$ . öğrenci grubunun zorunlu olan $p$ . dersin $l$ . gün $k$ . zaman aralığında çakışmaması hedefinden pozitif yönlü sapma
$d4_{mnl}^-$	$m$ . bölümün $n$ . öğrenci grubunun $l$ . günü günlük alabileceği zorunlu ders saati hedefinden negatif yönlü sapma ( $n=1$ veya $n=2$ )
$d4_{mnl}^+$	$m$ . bölümün $n$ . öğrenci grubunun $l$ . günü günlük alabileceği zorunlu ders saati hedefinden pozitif yönlü sapma ( $n=1$ veya $n=2$ )
$d5_{mnl}^-$	$m$ . bölümün $n$ . öğrenci grubunun $l$ . günü günlük alabileceği zorunlu ders saati hedefinden negatif yönlü sapma ( $n=3$ veya $n=4$ )
$d5_{mnl}^+$	$m$ . bölümün $n$ . öğrenci grubunun $l$ . günü günlük alabileceği zorunlu ders saati hedefinden pozitif yönlü sapma ( $n=3$ veya $n=4$ )
$d6_{mm'nlkqo}^-$	$m'$ bölümünde ÇAP yapan $m$ . bölümün $n$ . öğrenci grubunun $l$ . gün $k$ . zaman aralığı $q$ . derslikteki zorunlu dersi ile $m'$ . bölümün aynı $n$ . öğrenci grubunun $l$ . gün $k$ . zaman aralığı $o$ . derslikteki zorunlu dersinin çakışmaması hedefinden negatif yönlü sapma
$d6_{mm'nlkqo}^+$	$m'$ bölümünde ÇAP yapan $m$ . bölümün $n$ . öğrenci grubunun $l$ . gün $k$ . zaman aralığı $q$ . derslikteki zorunlu dersi ile $m'$ . bölümün aynı $n$ . öğrenci grubunun $l$ . gün $k$ . zaman aralığı $o$ . derslikteki zorunlu dersinin çakışmaması hedefinden pozitif yönlü sapma

## SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ (devam)

### Simgeler

### Açıklama

 $d7_{mm'nlkqo}^-$ 

$m'$  bölümünde yandal yapan  $m$ . bölümün  $n$ . öğrenci grubununun  $l$ . gün  $k$ . zaman aralığı  $q$ . derslikteki zorunlu dersi ile  $m'$ . bölümün aynı  $l$ . gün  $k$ . zaman aralığı  $o$ . derslikteki yandal derslerinin yandal derslerinin çakışmaması hedefinden negatif yönlü sapma

 $d7_{mm'nlkqo}^+$ 

$m'$  bölümünde yandal yapan  $m$ . bölümün  $n$ . öğrenci grubununun  $l$ . gün  $k$ . zaman aralığı  $q$ . derslikteki zorunlu dersi ile  $m'$ . bölümün aynı  $l$ . gün  $k$ . zaman aralığı  $o$ . derslikteki yandal derslerinin yandal derslerinin çakışmaması hedefinden pozitif yönlü sapma

S

Tüm olası çözümler için uygun çözüm kümesi

$f$

Amaç fonksiyonu

$\zeta$

Uygun çözüm kümesi içerisindeki herhangi bir çözüm

$k\zeta$

Komşu çözüm

$f(\zeta)$

Mevcut çözümün amaç fonksiyonu değeri

$f(k\zeta)$

Komşu çözümün amaç fonksiyonu değeri

$sd$

Sıcaklık değişim sayısı

$T_{sd}$

$sd$ . adımdaki sıcaklık değeri

$P_{T_{sd}}$

$sd$ . adımdaki sıcaklık değerinde komşuluk kabul olasılık fonksiyonu

$ras$

[0-1] aralığında bir rassal sayı

$T_0$

Başlangıç sıcaklığı

$T_{son}$

Son sıcaklık

$\Delta$

Amaç fonksiyonu değişimi

exp

Üstel fonksiyon

$ts$

Tekrarlama sayısı

$sd$

Sıcaklık değişim sayısı

$N(sd)$

$sd$ . sıcaklıktaki toplam tekrarlama sayısı

$T(sd)$

$sd$ . sıcaklıktaki soğutma planı

$N$

Toplam sıcaklık değişim sayısı

$\alpha$

Soğutma oranı



## SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ (devam)

### Simgeler

$res$	Bir dersin komşu çözümlerinin toplandığı liste
$t_{iw}$	$i$ . dersin $w$ . oturumunun atandığı zaman
$d_{iw}$	$i$ . dersin $w$ . oturumunun atandığı derslik
$d_{iyeni}$	$i$ . dersin atanabileceği başka bir derslik
$t_{iyeni}$	$i$ . dersin atanabileceği $d_{iyeni}$ dersliğindeki zaman aralığı
$p$	$i$ . ders dışındaki başka bir ders
$t_{pw}$	$p$ . dersin $w$ . oturumunun atandığı zaman
$d_{pw}$	$p$ . dersin $w$ . oturumunun atandığı derslik
$f_{baş}$	Başlangıç çözümünün çözüm değeri
$f_i$	$i$ . komşu çözümünün çözüm değeri

### Kısaltmalar

ÇAP	Çift Anadal Programı
DÇP	Ders Çizelgeleme Problemi
DKA	Değişken Komşu Arama
DKRA	Değişken Komşu Rehberli Arama
GAMS	The General Algebraic Modeling System
GPSYS	The Intelligent Goal Programming Optimiser
HÜİİBF	Hacettepe Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi
ITC	International Timetabling Competition
NP-hard	Non-Deterministic-Polynomial Time-hard
PSO	Parçacık Sürü Optimizasyonu
TB	Tavlama Benzetimi
TDP	Tamsayılı Doğrusal Programlama
UPAEP	Universidad Popular Autónoma del Estado de Puebla
ÜDÇP	Üniversite Ders Çizelgeleme Problemi

## 1. GİRİŞ VE AMAÇ

Elimizdeki kaynakların kıt ve zamanın değerli olduğu günümüzde, kaynakların ve zamanın verimli bir şekilde kullanılması amaçlanmaktadır. Çizelgeleme tam da bu sebeple geçmişte olduğu gibi günümüzde de hala önemli bir yere sahiptir.

Wren (1996), çizelgelemeyi, belirli bir amacı gerçekleştirmek üzere kısıtları da sağlayacak şekilde varlıkların (iş, insan, araç, ders vb.) yer ve/veya zamana göre düzenlenmesi şeklinde tanımlamıştır. Çizelgeleme problemi, üretim, sağlık, eğitim sektörü gibi birçok alanda karşımıza çıkmaktadır. Bu problemlere örnek olarak; makinelere atanacak işlerin çizelgelenmesi, otobüs, uçak gibi araçların rotalarının oluşturulması ve kalkış-varış zamanlarının çizelgelenmesi, hemşire, işçi gibi çalışanların vardiya zamanlarının çizelgelenmesi, bir eğitim kurumunda derslerin ya da sınavların çizelgelenmesi, futbol müsabakaları gibi spor aktivitelerinde karşılaşmaların çizelgelenmesi ve projelerin işleyişinin ne zaman hangi işin yapılacağı ve proje tipi üretimde proje faaliyetlerinin çizelgelenmesi sayılabilir.

Çizelgeleme problem türlerinden biri olan zaman çizelgeleme problemini Burke vd. (2006), ders, sınav ve toplantı gibi belirli sayıdaki olayın kısıtları sağlayacak şekilde sınırlı sayıdaki zaman periyoduna atanması olarak tanımlamıştır.

Zaman çizelgeleme probleminin hemen hemen her alanda uygulamasını görmekte beraber eğitimsel zaman çizelgeleme problemi literatürde oldukça önemli bir yere sahiptir. Eğitim kurumlarında, her dönemin başında öğrencilere verilecek olan derslerin çizelgelenmesi ve dönem ortası ve/veya sonunda yapılacak olan sınavların çizelgelenmesi problemleri ile karşı karşıya kalınmaktadır. Sistemsel zorunlulukların yanı sıra eğitim kurumlarının, öğrencilerin, öğretim üyelerinin istekleri ve derslik, ekipman, öğretim üyesi gibi sınırlı kaynaklarla en kaliteli zaman çizelgesini oluşturmaya çalışmak eğitimsel zaman çizelgeleme probleminin zorluğunu bizlere göstermektedir.

Eğitim kurumlarında zaman çizelgeleri, genellikle sistematik bir çözüm yöntemi kullanılmadan hazırlanmaktadır. Bu şekilde elde edilen çizelgelerin her zaman başarılı olacağı garanti edilememekte ayrıca hazırlanması oldukça uzun zaman alabilmektedir. Bu nedenlerle, problemin çözümünde etkin bir çizelgeleme yaklaşımına gereksinim duyulmaktadır.

Bu çalışmada, zaman çizelgeleme probleminin bir çeşidi olan üniversite ders çizelgeleme problemi ele alınmıştır. Problemin motivasyon kaynağı, özel bir üniversitenin Mühendislik Fakültesi'nde karşılaşılan fakülte bazında ders çizelgeleme problemidir.

Ele alınan fakülte bazında ders çizelgeleme probleminde, çoğu derslik diğer fakültelerle ortak kullanılmaktadır. Bu sebeple, dersler atanırken dersliklerin müsaitliğine dikkat edilmektedir. Çalışmada dikkate alınan diğer bir husus ise fakülteadaki çift anadal (ÇAP) ve yandal programı öğrencileridir. Ele alınan problemin çözümü için öncelikle bir hedef programlama modeli geliştirilmiştir. Matematiksel modelin çözemediği boyuttaki problemlerin çözümü için bir tavlama benzetimi (TB) algoritması önerilmiştir.

Önerilen yöntemlerin işlerliği, Antalya Bilim Üniversitesi Mühendislik Fakültesi 2018-2019 Güz dönemi verileri kullanılarak türetilen problemler üzerinde gösterilmiş ve her iki yöntemle elde edilen sonuçlar kıyaslanmıştır.

Bu tez çalışması altı bölümden oluşmaktadır. İkinci bölümde, üniversite ders çizelgeleme problemi hakkında detaylı bilgi verilmiştir. Üçüncü bölümde ise 2000 yılı ve sonrasında üniversite ders çizelgeleme problemi ile ilgili yapılan çalışmaların dahil edildiği bir yayın taraması sunulmuştur. Dördüncü bölümde, ele alınan problem tanımlanarak problemin çözümü için bir matematiksel model önerilmiş ve bu bölümde Tavlama Benzetimi (TB) algoritması hakkında genel bilgiler verilerek geliştirilen TB algoritması adımları açıklanmıştır. Beşinci bölümde, deneysel sonuçlar sunulmuştur. Son bölümde ise tez kapsamında yapılan çalışma değerlendirilmiş ve gelecekte yapılabilecek çalışmalar önerilmiştir.

## 2. ÜNİVERSİTE DERS ÇİZELGELEME PROBLEMİ

Araştırmacılar, eğitimsel zaman çizelgeleme problemi birkaç farklı şekilde gruplandırmıştır. Schaerf (1999), eğitimsel zaman çizelgeleme problemi derslerin haftalık ders programına atandığı okul çizelgeleme, üniversite derslerinin haftalık ders programına atandığı üniversite ders çizelgeleme ve üniversite ders sınavlarının çizelgelendiği üniversite sınav çizelgeleme olmak üzere üç gruba ayırmıştır. Bunun yanında Petrovic ve Burke (2004), eğitimsel zaman çizelgeleme problemi, ders zaman çizelgeleme ve sınav zaman çizelgeleme olarak ikiye ayırmıştır. Bu çalışmada, üniversite ders çizelgeleme problemi ele alınmıştır.

Babaei vd. (2015), Üniversite Ders Çizelgeleme Problemi'nde (ÜDÇP) kullanılan terimleri şu şekilde açıklamıştır:

- **Olay:** Çizelgelenecek olan etkinliklerdir. Olaya örnek olarak ders, öğrenci ve öğretim üyesi verilebilir.
- **Zaman aralığı:** Her bir olayın planlanacağı zaman dilimidir. Örneğin, bir zaman çizelgesinin pazartesi gibi haftalık zamana ve 09:00-10:00 gibi günlük zaman aralığına ayrılmasıdır.
- **Kaynak:** Kaynak, olaylar tarafından kullanılan öğelerdir. Derslik, ekipman ve zaman aralığı kaynağa örnek verilebilir.
- **Kısıt:** Probleme özgü katı ve esnek kısıtlardır. İncelenen çalışmalarda kullanılan katı ve esnek kısıtlar literatür taraması bölümünde verilmiştir.
- **İnsanlar:** Olaya katılacak olan öğrenci ve öğretim üyesidir.
- **Çakışma:** İki olayın çakışmasıdır. Örneğin, aynı öğrenci grubunun iki dersinin aynı zaman aralığına atanmasıdır.

ÜDÇP'de ele alınan kısıtlar genellikle, kesinlikle sağlanması istenilen katı (*hard*) kısıtlar ve mümkün olduğunca sağlanması istenilen esnek (*soft*) kısıtlardan oluşmaktadır. Katı kısıtlara şu şekilde örnek verilebilir; öğrenci gruplarının derslerinin çakışmaması, öğretim üyelerinin derslerinin çakışmaması ve derslerin belirtilen ders saati kadar ardışık

zaman aralıklarına atanması kısıtları. Esnek kısıtlar ise ele alınan probleme göre yönetim, fakülte, bölüm gibi karar vericiler ile öğrenci ve öğretim üyesi gibi ders çizelgesine atanacak bazı olayların istekleri sonucunda ortaya çıkan kısıtlardır. Ayrıca bir problemde katı kısıt olarak ele alınan kısıt, başka bir problemde esnek kısıt olarak ele alınabilmektedir. Örneğin, öğretim üyesinin vereceği dersin istediği gün ve/veya zaman aralığına atanması kısıtı Sanchez-Partida vd.'nin (2014) çalışmasında katı kısıt olarak ele alınırken, Özkan'ın (2019) çalışmasında esnek kısıt olarak ele almıştır. Aynı zamanda ele alınan probleme göre amaç fonksiyonları da farklılık göstermektedir. Literatürde kullanılan katı ve esnek kısıtlar ile amaç fonksiyonları literatür araştırması bölümünde daha detaylı bir şekilde açıklanmaktadır.

Literatürde, ele alınan ders çizelgeleme problemlerinin yapısına göre farklı şekillerde ders atamaları yapılmaktadır. Bazı çalışmalarda dersler ya sadece zaman dilimine ya da sadece dersliğe atanabilirken, bazı çalışmalarda ise dersler hem zaman dilimine hem de dersliğe atanmaktadır. Öte yandan, derslerin hangi öğretim üyesi tarafından verileceğinin önceden bilinmediği durumlarda ders hem öğretim üyesine hem de zaman dilimine atanırken, bazı problemlerde aynı zamanda dersliğe de ataması yapılmaktadır.

ÜDÇP, genellikle müfredat temelli ve kayıt sonrası ders çizelgeleme olmak üzere ikiye ayrılmaktadır. Müfredat temelli ders çizelgeleme problemi, belirli müfredata tabii olan öğrenci gruplarının derslerinin birbirleri ile çakışmayacak şekilde atanması problemidir. Kayıt sonrası ders çizelgeleme problemi ise öğrenciler derslere kayıt yaptıktan sonra çakışma olmayacak şekilde derslerin, ders programına atanmasıdır.

Sonuç olarak ÜDÇP'de, çizelgelenecek derslerin bir bölüme mi yoksa fakülteye mi ait olduğu, ders, öğretim üyesi, öğrenci gibi olayların sayısı ve istekleri, dersliklerin kapasitesi, ekipmanı ve sayısı ile zaman dilimi gibi kaynakların sınırlı olması, probleme ait katı ve esnek kısıtların neler olduğu ve problemin amacı gibi birçok faktörün problemin karmaşıklığını ve beraberinde bu konuya olan ilgiyi de artırmaktadır. İzleyen bölümde ÜDÇP ile ilgili literatür taraması sunulmuştur.

### 3. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

2000 yılı sonrası çalışmaların özetlendiği literatür araştırması bölümünde, çalışmalarda kullanılan katı ve esnek kısıtlar ile amaç fonksiyonları verilmiştir. Bu çalışmada ele alınan kısıtlar ve amaç, koyu renk ile gösterilmiştir.

#### **Katı kısıtlar:**

- K1:** Bir öğretim elemanı, aynı zaman diliminde birden fazla ders veya dersliğe atanamaz.
- K2:** Bir öğrenci/ öğrenci grubu, aynı zaman diliminde birden fazla ders veya dersliğe atanamaz.
- K3:** Bir dersliğe aynı zaman diliminde birden fazla ders, öğretim üyesi ve öğrenci grubu atanamaz.
- K4:** Dersler, ders programına haftalık ders saati kadar atanmalıdır.
- K5:** Bir öğretim üyesi, günlük/haftalık vermesi gereken ders saati veya ders sayısı kadar ders vermelidir.
- K6:** Bir öğrenci grubu, ders programına haftalık alması gereken toplam ders saati kadar atanmalıdır.
- K7:** Tek oturumda atanacak dersler ders saati kadar art arda atanmalıdır.
- K8:** Birden fazla oturuma atanacak olan dersler aynı günde veya ardışık günlerde olmamak şartıyla her oturumda belirtilen ders saati kadar art arda atanmalıdır.
- K9:** Dersin önceden belirlendiği bir öğretim üyesi ve/veya zamanı ve/veya dersliği var ise çizelgeye önceden atanmalıdır.
- K10:** Sadece belirli gün ve zaman aralıklarına ders ataması yapılabilir.
- K11:** Dersler, teknik açıdan uygun dersliklere atanmalıdır.
- K12:** Dersin atanacağı dersliğin kapasitesi ders için yeterli olmalıdır ya da belirli bir orana kadar kapasite aşımına izin verilebilir.
- K13:** Ardışık yıllardaki öğrenci gruplarının alması gereken zorunlu dersler çakışmamalıdır.
- K14:** Bütün dersler ders programına atanmalıdır.
- K15:** Bir öğrencinin/ öğrenci grubunun alacağı zorunlu dersler ile seçmeli dersler çakışmamalıdır.

**K16:** Bir öğretim üyesinin dersleri, dersi vermek istediği zaman aralıklarına göre ders ataması yapılmalıdır.

K17: Öğrencilerin/öğrenci gruplarının dersleri, öğle yemeği saatlerine atanmamalıdır.

K18: Bir ders, birden fazla oturuma ayrılrsa bile bütün oturumlar aynı sınıfta yapılmalıdır.

K19: Bir ders, teorik ders ve uygulama dersinden oluşuyorsa teorik ders uygulama dersinden önce yapılmalıdır.

K20: Normal öğretim ve/ veya ikinci öğretim olan öğrenci gruplarının dersleri, tanımlanmış olan saat aralıkları dışında atanamaz.

K21: Bir öğrencinin/ öğrenci grubunun günlük alacağı/alabileceği ders saati sayısı, belirlenmiş ders saati sayısını aşmamalıdır.

**K22:** Bir ders sadece uygun olduğu zaman aralıklarına atanabilir.

K23: Dersler, öncelik sıralamasına göre atanmalıdır.

K24: Dersler, alanında uzman olan bir öğretim üyesi tarafından verilmelidir.

K25: Dersler ait olduğu öğrenci grubunun/ gruplarının müsait olduğu zamanlara göre atanmalıdır.

K26: Bir ders/ ders şubesi sadece bir öğretim üyesi tarafından verilebilir.

**K27:** Dersler, bir dersliğin müsait olduğu zaman aralıklarına atanabilir.

K28: Bir öğretim üyesi, belirtilmiş olan ders sayısından fazla ardışık ders veremez.

K29: Dersler zaman çizelgesine atanmayabilir.

### **Esnek kısıtlar;**

**E1:** Bir öğrenci grubunun günlük alacağı ders/ ders saati mümkün olduğunca belirtilmiş ders sayısını/ ders saatini aşmamalıdır.

E2: İki oturumlu bir dersin, oturumları arasında mümkün olduğunca en az bir gün boşluk bırakılmalıdır.

E3: Öğrencinin/ öğrenci grubunun zorunlu dersleri ile bölüm seçmeli dersleri mümkün olduğunca çakışmamalıdır.

**E4:** Ardışık yıllardaki öğrenci gruplarının alması gereken bütün dersler ya da sadece zorunlu dersler mümkün olduğunca çakışmamalıdır.

E5: Dersi alacak öğrenci sayısı, mümkün olduğunca dersin atanacağı dersliğin kapasitesinin üzerinde olmamalıdır ya da kapasitenin belirli oranda aşılmasına izin verilebilir.

**E6:** Öğrencilerin/ öğrenci gruplarının dersleri mümkün olduğunca öğle yemeği saatlerine atanmamalıdır.

E7: Farklı bölümlerin ardışık öğrenci gruplarına ait dersler mümkün olduğunca çakışmamalıdır.

E8: Bölüm dersleri, kendi binası dışındaki bir binaya mümkün olduğunca atanmamalıdır.

E9: Bir öğrenci grubunun, mümkün olduğunca günlük en az ya da en fazla belirtilmiş ders/ ders saati kadar dersi atanmalıdır.

E10: Bir öğrenci grubunun alabileceği seçmeli dersler mümkün olduğunca çakışmamalıdır.

E11: Bir öğrenci grubunun alacağı dersler mümkün olduğunca daha az güne sığacak şekilde çizelgelenmelidir.

E12: Bir dersin ders saatleri, mümkün olduğunca en az güne atanmalıdır.

E13: Bir öğretim üyesinin günlük/ haftalık verebileceği ders/ ders saati sayısı, mümkün olduğunca belirtilmiş en alt limite yakın olmalıdır.

E14: Dersler, mümkün olduğunca günün son saatine atanmamalıdır.

E15: Bir öğrenci grubunun mümkün olduğunca bir günde artarda iki dersi veya iki dersten fazlası olmamalıdır.

E16: Bir öğrenci grubunun mümkün olduğunca günde bir dersi olmamalıdır.

E17: Bir derse ait tüm ders saatleri, mümkün olduğunca aynı derslikte verilmelidir.

E18: Bir dersin ders saatleri, mümkün olduğunca artarda atanmalıdır.

E19: Bir öğretim üyesinin vereceği dersleri atanırken gün-zaman aralığı-derslik gibi tercihleri mümkün olduğunca sağlanmalıdır.

E20: Bir öğretim üyesinin, ardışık dersi mümkün olduğunca az olmalıdır.

E21: Bir öğretim üyesinin günlük ya da haftalık vereceği ders/ ders saati mümkün olduğunca belirtilmiş ders sayısını/ders saatini aşmamalıdır ya da ders sayısı/ders saati kadar olmalıdır.

E22: Herhangi bir günde/blokta öğrenci grubunun alacağı ve/veya öğretim üyesinin vereceği dersler arasında mümkün olduğunca boşluk olmamalı ya da mümkün olduğunca belirtilen saatten fazla olmamalıdır.

E23: Bir öğretim üyesinin vereceği dersler, mümkün olduğunca daha az güne sığacak şekilde çizelgelenmelidir.

E24: Bir öğrenci grubunun alacağı derslerin gün-zaman aralığı ile ilgili tercihleri mümkün olduğunca sağlanmalıdır.

E25: Aynı müfredata ait dersler yani aynı öğrenci grubunun alacağı dersler mümkün olduğunca çakışmamalıdır.



### **Amaç fonksiyonları;**

- A1: Esnek kısıt ihlallerinden oluşacak toplam cezanın en küçüklenmesi
- A2: Bölüm/idari birim isteklerinin en büyüklenmesi
- A3: Öğrenci grubu/öğrenci isteklerinin en büyüklenmesi
- A4: Öğretim üyeleri isteklerinin en büyüklenmesi
- A5: Bölüm/idari birim isteklerinin karşılanmaması durumunda oluşacak cezanın en küçüklenmesi
- A6: Öğrenci grubu/öğrenci isteklerinin karşılanmaması durumunda oluşacak cezanın en küçüklenmesi
- A7: Öğretim üyeleri isteklerinin karşılanmaması durumunda oluşacak cezanın en küçüklenmesi
- A8: Toplam ders-derslik-zaman atama sayısının en büyüklenmesi
- A9: Toplam ders-derslik-öğretim üyesi-zaman atama sayısının en büyüklenmesi
- A10: Toplam atanmamış olay sayısının en küçüklenmesi
- A11: Derslerin atandığı dersliklerde bulunan öğrenci sayısını en büyüklenmesi
- A12: Toplam çakışma sayısının en küçüklenmesi
- A13: Eğitim tercihlerinin en büyüklenmesi
- A14: Öğrenci gruplarının derslerinin arasındaki toplam boş gün sayısının en küçüklenmesi
- A15: Öğrenci gruplarına ait seçmeli derslerin toplam çakışma saati sayılarının en küçüklenmesi
- A16: Bölüm dersleri ve teknik seçmeli derslerini günün sabah saatlerine, diğer derslerin ise günün akşam saatlerine atanmasının en büyüklenmesi
- A17: Toplam öğrenci akışının en küçüklenmesi
- A18: Öğrenci gruplarının dersleri arasında sınıf değişimlerinin en küçüklenmesi
- A19: Derslerin en nitelikli öğretim üyesine atanmasının en büyüklenmesi
- A20: Dersliklere atanan dersler arasındaki zaman boşluklarının en küçüklenmesi
- A21: Toplam öğrenci çakışma sayısının en küçüklenmesi

Literatürde kullanılan problem ve veri kümelerinin kısıtları Çizelge 3.1’de verilmiştir. Socha vd. (2002), ITC 2002-2003 yarışmasının kısıtlarını kullanmış, fakat yarışmanın veri kümelerine yeni veri kümeleri eklemiştir.

Çizelge 3.1.ÜDÇP literatüründe yer alan çalışmalarda kullanılan problem ve veri kümelerinin kısıtları

Problem ve veri kümesi	Kısıtlar
Socha vd. (2002)	K2, K3, K11, K12, E14, E15, E16
ITC 2002-2003	K2, K3, K11, K12, E14, E15, E16
ITC 2007-müfredat temelli	K1, K2, K3, K22, E5, E11, E17, E18
ITC 2007-kayıt sonrası	K2, K3, K11, K12, K22, K23, E14, E15, E16

Ulusal Tez Merkezi, Google Scholar, Science Direct, Springer Link, IEEE Xplore ve Dergi Park veritabanlarında aramalar yapılarak ÜDÇP ile ilgili elde edilen bazı çalışmalar, çözüm yöntemlerine göre kesin çözüm yöntemleri ve sezgisel-metasezgisel temelli çözüm yöntemleri olmak üzere iki grupta toplanmıştır.

### 3.1. Kesin Çözüm Yöntemleri

Kesin çözüm yöntemleri, problemi çözebildiği sürece ÜDÇP'nin çözümünde en çok tercih edilen çözüm yöntemlerindedir. Bu başlığın altında matematiksel programlama, grafik renklendirme, kısıt programlama ve çok kriterli/çok amaçlı modelleme gibi yöntemlerin kullanıldığı çalışmalar yer almaktadır.

Mirravazi vd. (2003), ÜDÇP için bir iki aşamalı çok amaçlı bir yaklaşım sunmuştur. İlk aşamada, dersler dersliklere ve ikinci aşamada ise dersler zaman aralıklarına atanmaktadır. İlk aşama olan derslerin dersliklere atanması aşamasında; tüm derslerin gerekliliklerinin sağlanması, ortak dersler neticesinde derslik kullanımı ve öğretim üyesi çalışma saatinin en küçüklenmesi ve bölüm dersliklerinin kullanımının en büyüklenmesi hedefleri ele alınmıştır. İkinci aşamada ise öğle arasında bir saat boşluk olması, ders ve dersliklerdeki çakışmalar ile öğrenci ve öğretim üyelerinin ardışık zamanlara atanan derslerinin farklı binalardaki dersliklere atanması durumunda binadan binaya gidiş sürelerinin en küçüklenmesi hedeflenerek dersler zaman aralıklarına atanmıştır. İkinci aşama için bir genetik algoritma yaklaşımı uygulanmış ve dersler atanmış olduğu derslikte gün ve zaman aralıklarına tayin edilerek uygun bir çözüm elde edilmiştir.

Daskalaki vd. (2004), birçok üniversitenin ÜDÇP'ni çözecek şekilde kısıtları tasarlamıştır. Ele alınan problemde Çizelge 3.2'de belirtilen kısıtlar dışında laboratuvar

dersleri gibi aynı dersin birden fazla kez çizelgeye atanması gereken derslerin de dikkate alındığı bir tamsayılı matematiksel model oluşturulmuştur. Geliştirilen matematiksel modelin işlerliği Patras Üniversitesi'nin Elektrik ve Bilgisayar Mühendisliği bölümü gerçek verileri kullanılarak gösterilmiştir.

MirHassani (2006), bir fakültenin ders çizelgeleme probleminden yola çıkarak problemin çözümü için bir tamsayılı programlama modeli geliştirilmiştir. Ders-zaman atamasının yapıldığı problemde, esnek kısıt olarak ele alınan daha az tercih edilen zamanları ve derslerin birbiriyle çakışması durumlarını cezalandırarak bu cezaların toplamının en küçüklenmesi amaçlanmıştır.

Ismayilova vd. (2007), idarenin ve öğretim üyelerinin isteklerinin dikkate alındığı fakülte ders zaman çizelgeleme problemi için çok amaçlı 0-1 tamsayı bir model sunmuştur. Çizelge 3.2'de belirtilen kısıtlar dışında, bir dersin sadece bir öğretim üyesi tarafından verilebileceği, aynı zamana atanabilecek ders sayısı kaynakların sayısı ile sınırlı olduğu ve öğretim üyelerinin zamanlarının sınırlı olduğu katı kısıtları da bulunmaktadır. Çalışmada çok amaçlı problemlerin doğasında olan problemi ölçeklendirme yapılmış ve ölçeklendirilen problem çözülmüştür. Skalerleştirme işlemi için hem AHP hem de ANP yöntemleri kullanılmıştır.

Bakır ve Aksop (2008), Gazi Üniversitesi İstatistik Bölümü'nün normal ve ikinci öğretim programları için öğrencilerin, bölüm öğretim üyelerinin, fakülte dışı öğretim üyelerinin ve derslerden geçemeyen öğrencilerin memnuniyetsizliklerini en küçüklemek amacıyla 0-1 tamsayılı bir matematiksel model sunmuştur. Modelin boyutunu küçültmek amacıyla karar değişkeninde bulunan derslik indisi kaldırılmış ve modele dersliklerdeki çakışmayı önlemek için yeni kısıtlar eklenmiştir.

Aycan (2008), İzmir Yüksek Teknoloji Enstitüsü Bilgisayar Mühendisliği Bölümü'nün ders programı çizelgeleme problemini çözebilmek için kısıt programlama ve tavlama benzetimi yöntemlerini kullanmıştır. Çizelge 3.2'de belirtilen katı kısıtlar dışında mümkün olduğunca öğrencilerin alabileceği alternatif derslerin enbüyüklenmesi, öğrenci grubu ders çakışmalarının en küçüklenmesi, öğrenci gruplarının cuma günlerinin boş olması ve öğretim üyelerinin esnek isteklerinin karşılanması esnek kısıtları da ele alınmıştır.

Özyandı (2010), Başkent Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Endüstri Mühendisliği Bölümü kısıtlarına ve amacına uygun ders çizelgeleme problemini ele almıştır. Çalışmada, Çizelge 3.2’de belirtilen kısıtlar dışında farklı şubelere farklı öğretim üyelerinin girmesi ve öğrencilerin şube seçme haklarının olmadığı durumda aynı derslerin aynı zaman dilimlerine atanabileceği, öğrencinin alabileceği seçimlik derslerin birbiriyle çakışmaması katı kısıtlar bulunmaktadır. Problemin çözümü için 0-1 tamsayılı doğrusal programlama modeli önerilmiştir.

Kökçen vd. (2014), ÜDÇP’nin çözümü için Daskalaki vd.’nin (2004) tanımladığı kısıt grupları dışında probleme özgü birkaç katı ve esnek kısıt daha ekleyerek ikili tamsayılı bir model önermiştir. Çizelge 3.2’de belirtilen kısıtla dışında, eğer bir öğrenci herhangi bir günde sabah saatlerinde bir derse girdikten sonra aynı gün içerisinde başka bir derse girmek için uzun süre beklememesi kısıtı da göz önünde bulundurulmuştur. Geliştirilen model, yurt içi bir üniversitenin verileri alınarak test edilmiştir.

Demir ve Çelik (2016), Atatürk Üniversitesi Mühendislik Fakültesi için bir müfredat temelli ders çizelgeleme problemini ele almıştır. Çalışmada, dersi alacak öğrenci sayısının çok fazla olduğu derslerde birden fazla grup oluşturulan dersler ve ardışık sınıfların aynı gün ve aynı zaman dilimine derslerinin atanmaması istekleri dikkate alınarak uygun bir zaman çizelgesi oluşturulmaya çalışılmıştır. Çizelge 3.2’de belirtilen kısıtlar dışında çalışmada seçmeli dersler kendi içinde, çok şubeli derslerin şubeleri de kendi içinde en fazla iki derse kadar çakışmasına izin verilmektedir. Öğretim üyelerinin unvanlarına göre isteklerini dikkate alarak toplam memnuniyetin en büyüklüğünün amaçlandığı problem için tamsayılı programlama tekniği kullanılmıştır. Geliştirilen matematiksel model, sadece iki bölümün olduğu problemde eniyi çözüme ulaşmıştır.

Kamışlı Öztürk vd. (2016), derslerin gün, zaman aralığı ve dersliklere atandığı ders çizelgeleme problemini ele almış ve çok amaçlı 0-1 tamsayılı bir matematiksel model önermiştir. Modelde, mümkün olduğunda öğrenci gruplarının derslerinin atandığı toplam gün sayısının, birden fazla oturuma sahip olan derslerin oturumları arasındaki gün sayısının öğretim üyelerinin gün ve zaman dilimi tercihlerinin sağlanmasının enbüyüklüğünün amaçlanmıştır. Geliştirilen çok amaçlı modele ait amaçların önem derecelerinin birbirine eşit

olmadığı savunulmuştur. Bu sebeple, amaçların ağırlıklarının gerçekçi olabilmesi için Analitik Serim Süreci modeli geliştirilmiştir. Geliştirilen çok amaçlı model, Anadolu Üniversitesi Endüstri Mühendisliği gerçek verileri kullanılarak GAMS yazılımı ile çözülmüştür.

Altunay ve Eren (2016), ÜDÇP için öğretim üyelerinin tercihlerini en üst düzeyde karşılayacak şekilde 0-1 tamsayılı matematiksel bir model geliştirmiştir. Ele alınan problemde, derslerin hangi öğretim üyesi tarafından verileceği belirsizdir. Modelde; öğretim üyelerini derslere, dersin işleneceği dersliğe, gün ve zaman aralığına atanması istenmektedir. Çizelge 3.2’de belirtilen kısıtlar dışında öğrenci gruplarının alması gereken derslerin haftanın günlerine eşit olarak dağıtılması ve öğretim üyelerine atanacak ders sayısı önceden belirlenmiş en az ve en çok ders sayısı aralığında olması kısıtları da bulunmaktadır. Geliştirilen matematiksel model, Uludağ Üniversitesi Endüstri Mühendisliği Bölümü’ne ait veriler kullanılarak sınanmıştır.

Vermuyten vd. (2016), öğrencilerin iki dersi arasındaki derslik değişimi sonucunda koridor, merdiven ve asansörlerde oluşan öğrenci akış yoğunluğunu azaltmak için iki aşamalı tamsayılı programlama yaklaşımı geliştirmiştir. Çizelge 3.2’de belirtilen kısıtlar dışında bir öğretim üyesinin eğer günün son saatinde dersi var ise bir sonraki günün ilk saatine ders atanmaması, bir öğretim üyesine aynı günün ilk ve son zaman dilimine ders atanmaması ve günde en fazla iki saatlik boş zamanın olması kısıtları ile öğrenci akışı kısıtları bulunmaktadır.

Ertane (2018), Atatürk Üniversitesi Mühendislik Fakültesi’ne özgü derslerin gün, zaman aralığı ve dersliğe atanması problemini ele almıştır. Çalışmada, ilk defa, çift ana dal yapan öğrenciler için farklı bölümlerin ardışık öğrenci gruplarının aldığı derslerin çakışmaması kısıtı bulunmaktadır. Çizelge 3.2’de belirtilen kısıtlar dışında mümkün olduğunca aynı bölüm ve aynı öğrenci grubuna ait derslerin çakışmaması ve atanamamış ders olmaması esnek kısıtları bulunmaktadır. Problemi çözebilmek için parçalama yöntemi kullanılarak model ikiye ayrılmış ve problem çözülmüştür.

Özkan (2019), Hacettepe Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi (HÜİİBF) için fakülte düzeyinde bir ÜDÇP üzerinde çalışmış ve problemin çözümü için bir tamsayılı doğrusal programlama ve iki aşamalı sezgisel algoritmalar geliştirmiştir. Çizelge 3.2’de belirtilen kısıtların yanında şubeli zorunlu dersler ile şubesiz zorunlu derslerin gerekli koşulları sağlaması durumunda aynı zaman bloklarına atanabileceği ve mümkün olduğunca bölümlerin ardışık öğrenci gruplarının aldığı şubeli zorunlu dersler, öğrencilerin en az bir tane şubesini seçebileceği şekilde bir tamsayılı doğrusal programlama (TDP) modeli önerilmiştir. Çalışmanın ikinci kısmında, iki aşamalı sezgisel yaklaşım uygulanmıştır.

İncelenen çalışmalar içerisinde kesin çözüm yöntemi kullanan çalışmaların; kısıtları, amacı/amaçları ve çözüm yöntemi Çizelge 3.2’de gösterilmiştir.

Çizelge 3.2. Kesin çözüm yöntemlerinin kullanıldığı çalışmalar

Çalışma	Kısıtlar	Amaç fonksiyonu	Çözüm yöntemi
Mirravazi vd. (2003)	K1, K2, K3, K12, K16, K17	A1	tamsayılı hedef programlama, çok amaçlı genetik algoritma
Daskalaki vd. (2004)	K1, K2, K3, K4, K5, K6, K7, K8, K9	A5, A6, A7, A18	tamsayılı programlama
MirHassian (2006)	K1, K2, K5, K7, K8, K9, K20, K21	A1	tamsayılı programlama
Ismayilova vd. (2007)	K5	A5, A7	0-1 tamsayılı programlama, AHP, ANP
Bakır ve Aksop (2008)	K1, K2, K3, K6, K7, K8, K9, K18, K19, K20, E4	A6, A7	0-1 tamsayılı programlama
Aycan (2008)	K1, K2, K7, K9, K16	A3, A4	kısıt programlama, tavlama benzetimi
Özyandı (2010)	K1, K2, K4, K7, K8, K17, E19	A16	0-1 tamsayılı programlama

Çizelge 3.2. Kesin çözüm yöntemlerinin kullanıldığı çalışmalar (devam)

Çalışma	Kısıtlar	Amaç fonksiyonu	Çözüm yöntemi
Kökçen vd. (2014)	K1, K2, K3, K4, K5, K6, K7, K8, K9, K10, K11, K21, E1, E2, E3, E4	A1, A2, A4	ikili tamsayı programlama
Sanchez-Partida vd. (2014)	K1, K3, K4, K7, K12, K16	A8	tamsayı programlama
Uçar (2015)	K1, K2, K3, K4, K7, K8, K11, K12, K15, E10	A15	karmaşık tamsayı programlama
Komijan ve Koupaei (2015)	K1, K2, K3, K5, K10, E10, E11	A19	0-1 tamsayı programlama
Ertuğrul ve Öztaş (2016)	K1, K2, K5, K6, K13, K14	A14	0-1 tamsayı bulanık hedef programlama
Kamışlı Öztürk vd. (2016)	K1, K2, K3, K4, K7, K8, K17, K21, E2, E9	A1, A4	çok amaçlı 0-1 tamsayı programlama
Altunay ve Eren (2016)	K1, K2, K3, K7, K8, K9, K10, K14, K26	A4	0-1 tamsayı programlama
Demir ve Çelik (2016)	K1, K2, K3, K4, K7, K8, K11, K12, K14, E4	A4	tamsayı programlama
Vermuyten vd. (2016)	K1, K2, K3, K4, K5, K28	A4, A13, A17	iki aşamalı tamsayı programlama
Ertane (2018)	K2, K3, K4, K7, K18, E4, E5, E6, E7, E8	A1	karmaşık tamsayı programlama
Özkan (2019)	K1, K2, K3, K9, K11, K12, K14, K15, K16, E4, E10, E19	A1	tamsayı doğrusal programlama, yasaklı arama, tavlama benzetimi
Lindahl vd. (2019)	ITC 2007-müfredat temelli	A1 ve değişiklik fonksiyonu	çok amaçlı programlama
Lemos vd. (2019)	K3, K12	A11, A20	tamsayı doğrusal programlama, ağgözlü algoritma
Tez çalışması (2020)	K1, K2, K3, K4, K7, K8, K11, K12, K14, K15, K16, K22, K27, E1, E4, E6, ÇAP ve yandal kısıtları	A1	hedef programlama, tavlama benzetimi

### 3.2. Sezgisel-Metasezgisel Temelli Çözüm Yöntemleri

Ele alınan problemin karmaşıklığı arttığında problemin çözümünde kesin çözüm yöntemlerinin problemi çözemediği ve bu problemlerin çözümü için bir sezgisel veya meta-sezgisel yöntemlerden faydalandığı görülmektedir. Genetik algoritma, tavlama benzetimi, değişken komşu arama, yasaklı arama, parçacık sürüsü optimizasyonu, karınca kolonisi algoritması gibi birçok meta-sezgisel yöntem ve melez algoritmalar, bulanık yöntemler, çoklu ajan sistemleri ve hipersezgiseller gibi sezgisel yöntemler ÜDÇP probleminde kullanılmaktadır. Bu bölümde, ÜDÇP'nin çözümünde sezgisel ya da meta-sezgisel yaklaşımın kullanıldığı bazı çalışmalara yer verilmiştir.

Socha vd. (2003), ÜDÇP için karınca kolonisi sistemi ve Max-Min karınca sistemi olmak üzere iki karınca sistemini karşılaştırmıştır. Çözüm yöntemlerinin performanslarını değerlendirmek için ITC 2002-2003 yarışmasının örnekleri ve ayrıca on farklı örnek üzerinde kıyaslamalar yapılmıştır. İki karınca sistemi, aynı zamanda literatürdeki tekrarlı yerel arama, rastgele yeniden başlatma yerel arama ve tavlama benzetimi algoritmaları ile de karşılaştırılmıştır.

Kostuch (2005), Metasezgisel Ağ (Metaheuristic Network) tarafından düzenlenen ITC 2002-2003 yarışmasının ÜDÇP için üç aşamalı sezgisel bir yaklaşım geliştirmiştir. İlk aşamada, dersler hafta içi her günün son zaman dilimi haricinde diğer zaman dilimlerine atanarak başlangıç uygun çözümü oluşturulmuştur. Bu aşamada, olayları zaman dilimlerine ve zaman dilimlerini de sınıflara atamak için grafik renklendirme (graph colouring) ve en fazla eşleştirme algoritmaları kullanılmıştır. İkinci aşamada, amaç fonksiyonunu en küçükleme için daha önce oluşturulan zaman dilimleri, tavlama benzetimi yöntemi kullanılarak sıralanır. Böylece dersler, zaman dilimleri arasında değişerek daha iyi bir çözüm elde edilir.

Cura (2007), İstanbul Üniversitesi İşletme Fakültesi'nin ders çizelgesi problemi için bir tavlama benzetimi yaklaşımı önermiştir. Çizelge 3.2'de bulunan kısıtlar dışında günün en az yarısına ders atanması istenmektedir. Çalışmanın amacı, öğretim üyesi kıdemleri dikkate alınarak öğretim üyesi isteklerinin enbüyüklenmesidir. Geliştirilen yaklaşım, aynı zaman aralığına yerleştirilebilecek derslerin aranması ve derslerin en uygun zamana



atanması olmak üzere iki aşamadan oluşmaktadır. Yaklaşımın işlerliğini gösterebilmek için İşletme Fakültesi verileri kullanılarak, tavlama benzetimi yaklaşımının yanı sıra, genetik algoritma ve tabu arama algoritmalarıyla da problem çözülmüştür. Sonuç olarak tavlama benzetimi ile diğer algoritmalara göre daha iyi sonuçlar elde edilmiştir.

Jat ve Yang (2008) ÜDÇP'nin çözümü için iki yerel arama tekniğini genetik algoritmaya entegre eden bir memetik algoritma yaklaşımı önermiştir. ITC 2002-2003 ÜDÇP yarışması veri kümeleri kullanılarak geliştirilen dokuz farklı yaklaşım ile kıyaslamalar yapılmıştır.

Shaker ve Abdullah (2009), ITC 2007 müfredat temelli ders çizelgeleme problemini baz alarak kempe zinciri komşuluk yapısı ile büyük baskın (great deluge) algoritmasının bir melezini önermiştir. Yaklaşımın ilk aşamasında, uygulanabilir bir ders çizelgesi oluşturmak için iki komşuluk yapısı ile yapıcı bir sezgisel yöntem kullanmıştır. İkinci aşamasında ise iyileştirme amacıyla, ilk aşamada kullanılan komşuluk yapılarının yanında kempe zincir komşuluk yapısının ve büyük baskın yaklaşımının kullanıldığı melez bir yaklaşım geliştirmiştir.

Shiau (2011), ÜDÇP'nin çözümü için melez bir parçacık sürü optimizasyonu yaklaşımı önermiştir. Öğretim üyeleri ve öğrenci gruplarının isteklerinin enbüyüklenmesi amaçlandığı bu çalışmada, Çizelge 3.2'de belirtilen kısıtlar dışında üç saatlik derslerin kaç oturumda atanacağı ve dersi verecek öğretim üyesinin mümkün olduğunca isteğine göre ders saatlerine bölünerek ya da bölünmeyerek atanması, bir öğrenci grubunun derslikler arasındaki hareketi mümkün olduğunca azaltılması esnek kısıtları da bulunmaktadır. Yöntemde, uygun olmayan çizelgeler için bir onarım mekanizması ve parçacıkların daha iyi pozisyonlar bulabilmesi için bir yerel arama mekanizmasından faydalanılmıştır.

Al-Tarawneh ve Ayob (2011) tarafından Kebangsan Malezya Üniversitesi Mühendislik Fakültesi ders çizelgeleme problemini çözebilmek için çoklu komşu arama yaklaşımının kullanıldığı bir yasaklı arama yöntemi geliştirilmiştir. Çizelge 3.2'de belirtilen kısıtlar dışında esnek kısıt olarak bir öğrenci grubunun mümkün olduğunca günde bir tane izole dersi olması, her öğretim üyesinin vereceği derslerin haftaya yayılması ve hiçbir kadın öğretim üyesine öğleden sonraya ders atanmaması kısıtları göz önünde bulundurulmuştur.

İlk olarak, katı kısıtların sağlandığı sıralı açgözlü sezgiseli kullanılarak bir başlangıç çözümü elde edilmiştir. Ardından, ders saatlerine dikkat ederek dört farklı komşuluk yapısının kullanıldığı bir yasaklı arama algoritması geliştirilmiştir.

Yapıcı (2012), Gazi Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Elektronik-Bilgisayar Bölümü'nün ders çizelgeleme problemi için bir genetik algoritma yaklaşımı geliştirmiştir. Çalışmada, tam genetik ve yarı genetik olmak üzere iki farklı çözüm yöntemi geliştirilmiştir. Çizelge 3.2'de belirtilen katı kısıtlar dışında öğretim elemanlarının isteğine göre aktif ya da pasif edilen esnek bulunmaktadır. Geliştirilen program, Gazi Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Elektronik-Bilgisayar bölümü verileri kullanılarak farklı parametre değerleri ile tam genetik çözüm ve yarı genetik çözüm sonuçları elde edilmiş ve yorumlanmıştır.

Agahian (2012), ITC 2007 müfredat temelli ÜDÇP'nin çözümü için yapay arı kolonisi algoritmasını kullanarak iki aşamalı bir sürü zekâsı yaklaşımı geliştirmiştir. Önerilen algoritma, ITC 2007 yarışmasının veri kümeleri kullanılarak oluşturulan literatürde bulunan diğer yöntemlerle karşılaştırıldığında bazı durumlarda daha başarılı olduğu gözlemlenmiştir.

Aziz vd. (2012), yerel arama algoritmasında kullandıkları değişken komşu arama (DKA) yapısına öğrenme mekanizması önerdikleri bir çözüm yöntemi geliştirmiştir. Geliştirilen bu çözüm yöntemi, değişken komşu rehberli arama algoritması (DKRA) olarak adlandırılmış ve bu yöntemi bir ÜDÇP çözümünde kullanılmıştır.

Gunawan vd. (2012), yüksek lisans ders çizelgeleme problemi için öncelikle öğretim üyelerinin derslere, daha sonra da derslerin zaman dilimlerine atandığı iki aşamalı melez bir algoritma geliştirmiştir. Ele alınan problemde, Çizelge 3.2'de belirtilen kısıtlar dışında her öğretim üyesinin en az bir ders vermesi, her ders için sunulan şubelerle ilgili dersi verebilecek en büyük ve en küçük öğretim üyesi sayısına göre atama yapılması, her öğretim üyesinin vereceği derslerin günlere eşit olarak dağıtılması, ders şubeleri aynı zaman diliminde atanmaması kısıtlarını da içermektedir. Yaklaşım, iki gerçek ve birçok rassal

olarak oluşturulan veri kümeleri kullanılarak literatürde daha önce kullanılan tavlama benzetimi yaklaşımı ve yasaklı arama yaklaşımlarıyla kıyaslanmıştır.

Nguyen vd. (2012), Vietnam'da bulunan bir üniversitenin DÇP için harmoni arama ve arılar algoritmasının kombinasyonundan oluşan yeni bir melez algoritma önermiştir. Çizelge 3.2'de belirtilen kısıtlar dışında; öğretim üyesinin ve öğrenci grubunun aynı gün içinde iki bina arasında hareketinin olmaması, bir bloktaki bir öğrenci grubunun boşta kaldığı üç zaman aralığı olması durumunda ardışık zaman aralıkları olması ve aynı blokta programlanan aynı müfredata ait tüm derslerin aynı binaya atanması esnek kısıtları da bulunmaktadır. Önerilen yaklaşım; değişken komşu arama, yasaklı arama ve arı algoritması ile Vietnam'da bulunan HCMC Bilim Üniversitesi Bilgi Teknolojileri Fakültesi'nden alınan on dört veri kümesi alınarak karşılaştırılmıştır.

Chen ve Shih (2013), Tayvan üniversitelerinin DÇP çözümü için iki farklı parçacık sürü optimizasyonu (PSO) uygulanmıştır. Çözüm kalitesini artırmak amacıyla PSO'da bir yerel arama yaklaşımı kullanılmıştır. Bu yerel arama yaklaşımında, yerel eniyiden kurtulmak için parçacıklara rahatsız etme (disturb) mekanizması eklenmiştir. Geliştirilen PSO ve geleneksel PSO'nun normal, yerel aramalı ve yerel arama olmadan kıyaslanmıştır.

Soria-Alcaraz vd. (2014), ÜDÇP için birkaç hareket operatörünü birleştiren bir tekrarlı arama hiper sezgiseli geliştirmiştir. Ders çizelgeleme probleminde herhangi bir değişiklik olması halinde uyarlanabilir olan bu yöntemde, makine öğrenmesi yaklaşımlarından statik ve dinamik öğrenme yaklaşımları sunulmaktadır. Geliştirilen dört farklı hiper sezgisel ile ITC 2007- kayıt sonrası örnekleri üzerinde kıyaslamalar yapılmıştır.

Çolak (2015), Süleyman Demirel Üniversitesi Uzaktan Eğitim Meslek Yüksekokulu'na ait verileri kullanarak bir genetik algoritma yaklaşımı geliştirmiştir. Çizelge 3.2'de belirtilen kısıtlar dışında mümkün olduğunca derslerin yapılması istenen zaman dilimlerine atanması, derslerin istenen dersliklere atanması ya da istenmeyen dersliklere atanmaması, dersin ilk saati ne zaman başlamış ise o gün içerisinde tamamlanması ve birden fazla oturuma ayrılan derslerin oturumlarının farklı günler olması esnek kısıtları baz alınmıştır.

Babaei vd. (2015), ÜDÇP'nin çözüm yöntemlerini gözden geçirmiş ve dağıtılmış çoklu ajanlı sistem temelli çözüm yaklaşımını daha detaylı incelemiştir. Bu çalışmada Socha vd. (2002), Ben Paechter, ITC 2002-2003 ve ITC 2007-müfredat temelli veri kümelerini kullanarak literatürde var olan yaklaşımlar ve önerilen yaklaşım karşılaştırılmıştır. Çalışmada; her bölümün çizelgelemedeki bağımsızlığının artırılması, dağıtılmış ortamdaki ölçeklenebilirlik ve dersler ile kaynaklar arasında ajanlar tarafından plansız dağıtımlar sonucu çakışmaları önlemek amacıyla çoklu ajan sistemleri bazlı yaklaşımın üniversite ders çizelgeleme problemlerinde kullanabileceği iddia edilmiştir.

Abdelhalim ve El Khayat (2016), gerçek hayat problemlerinde var olan bazı kısıtları baz alarak kaynak kullanımını en üst düzeye çıkarmak amacıyla bir kullanıcı tabanlı genetik algoritma önermiştir. Çalışmada, amaç fonksiyonda kullanılmak üzere sınıf kullanım oranı tanımlanmıştır. Bu oran, bir sınıfın müsait olduğu toplam saat sayısına göre ne sıklıkta kullanıldığını ölçen sıklık oranı ve bir sınıfın toplam kapasitesine göre ne kadar dolu olduğunu gösteren doluluk oranının çarpımıdır. Çalışmanın amacı; en iyi doluluk oranına sahip ders, en iyi sıklık oranına sahip derslik ve diğer esnek kısıt ihlallerinin enküçülenmesidir. Önerilen yaklaşım, Alexandria Üniversitesi Ticaret Fakültesi'nin verileri kullanarak denenmiş ve el ile hazırlanan çizelgeye göre dersliklerin doluluk oranının daha fazla olduğu yani gereksiz kaynak kullanımının önüne geçildiği gözlemlenmiştir.

Bellio vd. (2016), ITC 2007- müfredat temelli ders programı çizelgeleme problemini baz alarak tek aşamalı bir tavlama benzetimi algoritması geliştirmiştir. Geliştirilen tavlama benzetimi algoritmasında, kesme tabanlı sıcaklık soğutma planı ve değişen durdurma koşulları kullanılmıştır. Aynı zamanda, örnek problem özellikleri ile arama yöntemi parametreleri arasındaki ilişkiyi tanımlamak için literatürde bulunan gerçek hayat problemleri kullanılmış ve kapsamlı bir istatistiksel analiz sunulmuştur.

Borchani vd. (2017), Tunus Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi ders çizelgeleme problemini ele almış ve problemi çözmek için değişken komşu iniş yaklaşımını önermiştir. Çizelge 3.2'de belirtilen katı kısıtlar dışında asıl problemde dikkat ettikleri ve amaçladıkları esnek kısıtlar ise herhangi bir öğrenci grubunun mümkün olduğunca bir günde ardışık iki dersi arasında boşluk olmaması ve yarım gün içinde tek bir dersi olmamasıdır.

Başlangıç çözümü olarak idari personelin oluşturduğu çizelgeler kullanılmıştır. Algoritma, öğrenci gruplarını sırasıyla ele almakta her öğrenci grubu için boşlukları ve izole dersleri bulmaktadır. Ardından tanımlanan üç farklı algoritmadan biriyle öğrenci grubu seçilmekte ve algoritma, öncelikle boşlukları daha sonra da izole dersleri azaltacak şekilde çalışmaktadır. Algoritmanın işlerliği; 2012, 2013, 2014 akademik yılı verileri ile denenmiş ve başlangıç çözümüne göre amaç fonksiyonunun iyileştiği görülmüştür.

Song vd. (2018), ÜDÇP'nin çözümü için bir tekrarlı yerel arama algoritması geliştirmiştir. Çizelge 3.2'de belirtilen katı kısıtlar dışında her dersin teknik olarak atanabileceği derslik ve zaman dilimine atanması katı kısıtı biraz gevşetilerek mümkün olduğunca atanamayan dersin az olması esnek kısıtı eklenmiştir. Geliştirilen yöntem; başlangıç çözümü, tavlama benzetimi tabanlı tekrarlı arama algoritması ve iyileştirme aşamalarından oluşmaktadır.

Akkan ve Gülcü (2018), müfredat temelli ÜDÇP için tepe tırmanışı ve tavlama benzetimi algoritmalarının da kullanıldığı çok amaçlı bir melez genetik algoritma geliştirmiştir. Literatürde ilk defa sağlamlık (robustness) adımı verdikleri bir ölçütü tanımlamıştır. Öğretim üyelerinin ders programı hazırlandıktan sonra değişiklik talep etmesi sonucunda yeniden oluşturulacak çizelgenin sağlamlığı tartışılmıştır. ITC 2007 yarışmasının müfredat temelli örnekleri üzerinde hem ceza maliyetini hem de sağlamlığı göz önünde bulundurarak pareto-optimali bulmak için iki amaçlı melez genetik algoritma kullanmıştır.

Hossain vd. (2019), seçici (selective) arama ile parçacık sürü optimizasyonu çözüm yöntemini kullanarak ÜDÇP için bir yaklaşım önermiştir. Geliştirilen yöntemle, genetik algoritma, harmoni arama, parçacık sürüsü optimizasyonu ve üretici-beleşçi (producer-scrounger) yöntemlerini kullanarak performans karşılaştırması yapılmıştır. Çalışmada, Khulna Mühendislik ve Teknoloji Üniversitesi Bilgisayar Bilimi ve Mühendisliği Bölümü'nden alınan gerçek hayat verileri kullanılmıştır. Yapılan bu karşılaştırmalar sonucunda seçici arama ile parçacık sürü optimizasyonu yönteminin üniversite ders çizelgeleme probleminde etkili bir yöntem olduğu kanıtlanmıştır.

Sezgisel ya da metasezgisel temelli çözüm yöntemi kullanan çalışmaların; kısıtları, amacı/amaçları ve çözüm yöntemi Çizelge 3.3'te gösterilmiştir.

Çizelge 3.3. Sezgisel-Metasezgisel temelli çözüm yöntemlerinin kullanıldığı çalışmalar

Çalışma	Kısıtlar	Amaç fonksiyonu	Çözüm yöntemi
Socha vd. (2003)	K2, K3, K11, K12, E14, E15, E16	A1	karınca kolonisi sistemi, Max-Min karınca sistemi
Mirravazi vd. (2003)	K1, K2, K3, K12, K16, K17	A1	tamsayılı hedef programlama, çok amaçlı genetik algoritma
Kostuch (2005)	ITC 2002-2003	A1	grafik renklendirme, tavlama benzetimi
Cura (2007)	K1, K2, K3, K4, K20	A4	tavlama benzetimi
Abdullah vd. (2007)	Socha vd. (2002)	A1	rastgele hale getirilmiş tekrarlı geliştirilmiş algoritma
Tuga vd. (2007)	K2, K3, K11, K12	A1	melez tavlama benzetimi
Aycan (2008)	K1, K2, K7, K9, K16	A3, A4	kısıtlı programlama, tavlama benzetimi
Jat ve Yang (2008)	ITC 2002-2003	A1	memetik algoritma
Aycan ve Ayav (2009)	K1, K2, K7, K9, K16	A3, A4	kısıtlı programlama, tavlama benzetimi
Jat ve Yang (2009)	ITC 2002-2003	A1	rehberli arama genetik algoritma
Shaker ve Abdullah (2009)	ITC 2007-müfredat temelli	A1	melez sezgisel
Lü ve Hao (2010)	K1, K2, K3, K4, K16, E5, E11, E12, E17	A1	uyarlamalı yasaklı arama, yasaklı arama, tekrarlı yerel arama
Al-Tarawneh ve Ayob (2011)	K1, K2, K3, K7, K8, K12, E1, E21, E22	A1	yasaklı arama
Kohshori vd. (2011)	K1, K2, K3, K11, K24, E1, E14, E19, E22	A1	yerel arama ile bulanık genetik algoritma
Shiau (2011)	K1, K2, K3, K10, K11, K17, K26, E19, E24	A3, A4	melez parçaçık sürü optimizasyonu
Kohshori vd. (2011)	K1, K2, K3, K11, K24, E1, E14, E19, E22	A1	yerel arama ile bulanık genetik algoritma
Joudaki vd. (2011)	ITC 2002-2003	A1	melez yöntem (memetik algoritma, tavlama benzetimi)

Çizelge 3.3. Sezgisel-Metasezgisel temelli çözüm yöntemlerinin kullanıldığı çalışmalar (devam)

Çalışma	Kısıtlar	Amaç fonksiyonu	Çözüm yöntemi
Ceschia vd. (2012)	ITC 2007- kayıt sonrası, K29	A1, A10	tavlama benzetimi
Aziz vd. (2012)	Socha vd. (2002)	A1	değişken komşu arama, değişken komşu rehberli arama
Agahian (2012)	ITC 2007-müfredat temelli	A1	yapay arı kolonisi
Gunawan vd. (2012)	K1, K4, K5, K7, K14, K24, K26	A4	melez yöntem, (tavlama benzetimi, lagrange gevşemesi)
Nguyen vd. (2012)	K1, K2, K3, K4, K7, K9, K12, K16, K18, K25, K27, E1, E11, E19, E21, E22, E23, E24, E25	A1	melez algoritma (harmoni arama, arılar algoritması)
Yapıcı (2012)	K1, K2, K3	A1	genetik algoritma
Al-Betar ve Khader (2012)	Socha vd. (2002)	A1	harmoni arama, değiştirilen harmoni arama
Mansour ve El-Jazzar (2013)	ITC 2007-müfredat temelli	A1	tavlama benzetimi, dağınık arama
Chen ve Shih (2013)	K1, K2, K3, K5, K7, K10, K16, E19, E21, E24, E25	A1, A3, A4	parçaçık sürü optimizasyonu
Badoni vd. (2014)	K2, K3, K11, K12, E14, E15, E16	A1	melez yaklaşım, yerel arama ile genetik algoritma
Bolaji vd. (2014)	Socha vd. (2002)	A1	melez yapay arı kolonisi
Soria-Alcaraz vd. (2014)	ITC 2002-2003, ITC 2007-kayıt sonrası	A21	hiper sezgisel
Babaei vd. (2015)	-	-	literatür taraması, çoklu ajan sistemleri
Uçar (2015)	K1, K2, K3, K4, K7, K8, K11, K12, K15, E10	A15	karmaşık tamsayılı programlama
Lewis ve Thompson (2015)	ITC 2007- kayıt sonrası	A1	iki aşamalı meta-sezgisel, tavlama benzetimi
Çolak (2015)	K1, K2, K3, K14, E17, E18, E19, E22	A1	genetik algoritma
Bellio vd. (2016)	ITC 2007-müfredat temelli	A1	tavlama benzetimi

Çizelge 3.3. Sezgisel-Metasezgisel temelli çözüm yöntemlerinin kullanıldığı çalışmalar (devam)

Çalışma	Kısıtlar	Amaç fonksiyonu	Çözüm yöntemi
Abdelhalim ve El Khayat (2016)	K1, K2, K10, K12, K14, K16, E1, E21, E22	A1	genetik algoritma
Ertuğrul ve Öztaş (2016)	K1, K2, K5, K6, K13, K14	A14	0-1 tamsayılı bulanık hedef programlama
Soria-Alcaraz vd. (2016)	ITC 2007-kayıt sonrası, ITC 2007-müfredat temelli	A1	tekrarlı yerel arama hiper sezgiseli
Goh vd. (2017)	ITC 2002-2003, Socha vd. (2002), ITC 2007-kayıt sonrası,	A1	iki aşamalı melez algoritma (yerel arama, yasaklı arama, tavlama benzetimi)
Borchani vd. (2017)	K1, K2, K3, K12, K14, E22	A1	değişken komşu iniş yaklaşımı
Ertane (2018)	K2, K3, K4, K7, K18, E4, E5, E6, E7, E8	A1	karmaşık tamsayılı programlama
Nagata (2018)	ITC 2002-2003, Socha vd. (2002), ITC 2007-kayıt sonrası	A1	yasaklı arama, rastgele kısmi komşu arama
Song vd. (2018)	K2, K3, K11, K14	A1	tekrarlı yerel arama algoritması
Akkan ve Gülcü (2018)	ITC 2007-müfredat temelli	A1 ve sağlamlık	melez çok amaçlı genetik algoritma
Yasari vd. (2019)	K1, K2, K3, K6, K7, K8, K9, E11, E13, E22, E23, E25	A1, A9, A12	iki aşamalı stokastik programlama
Özkan (2019)	K1, K2, K3, K9, K11, K12, K14, K15, K16, E4, E10, E19	A1	tamsayılı doğrusal programlama, yasaklı arama, tavlama benzetimi
Hossain vd. (2019)	K1, K2, K7, K11, K12, K17, E19, E20	A4	parçaçık sürü optimizasyonu, seçici arama
Mazlan vd. (2019)	K2, K3, K11, K12, E14, E15, E16	A1	karınca kolonisi optimizasyon algoritması
Tez çalışması (2020)	K1, K2, K3, K4, K7, K8, K11, K12, K14, K15, K16, K22, K27, E1, E4, E6, ÇAP ve yandal kısıtları	A1	hedef programlama, tavlama benzetimi

Çalışmalarda kullanılan katı kısıtların özetlendiği Çizelge 3.4'te bir ÜDÇP'nin olmazsa olmaz katı kısıtı K2 ve ardından problemin öğretim üyesini içeriyorsa K1, öğrenci grubu içeriyorsa K3 kısıtlarının yer aldığı görülmektedir. Belirtilen üç kısıtın dışında,



derslerin dersliklere atandığı ÜDÇP'lerinde, derslerin atanacağı dersliklerin teknik özellikleri ve kapasitesiyle ilgili çoğunlukla K11 ve K12 kısıtlarının biri veya her ikisinin yer aldığı görülmektedir. Ayrıca derslerin tek oturumda ders saati kadar atanmasının istendiği problemlerde K7, iki oturumda atanmasının istendiği dersler olduğunda K8 katı kısıtları kullanılmaktadır. Bu belirtilen kısıtlar dışında, diğer katı kısıtlar probleme özgü katı kısıtlardır.

Ele aldığımız ÜDÇP problemi; K1, K2, K3, K4, K7, K8, K11, K12, K14, K15, K16, K22, K27 katı kısıtlarından oluşmaktadır. K27 kısıtı dışındaki diğer katı kısıtlar, çoğunlukla ÜDÇP problemlerinde göz önüne alınan kısıtlardır. K27 kısıtı yani dersliklerin müsait olduğu zaman aralıklarına ders atamasının yapılması, incelenen çalışmalardan sadece bir çalışmada ele alınmıştır. Bu çalışmada, derslikler diğer fakültelerle ortak kullanıldığından, K27 katı kısıtı önem arz etmektedir.

İncelenen bazı çalışmalarda esnek kısıt olmadığı görülmektedir. Esnek kısıt içeren çalışmaların hangi kısıtları içerdiğini gösteren Çizelge 3.5 incelendiğinde, çalışmaların çoğunda E14, E15 ve E16 esnek kısıtları bulunmaktadır. Bu kısıtlar sırasıyla; derslerin mümkün olduğunca günün son zaman dilimine atanmaması, bir öğrenci grubunun bir günde mümkün olduğunca iki dersten fazla dersinin olmaması ve bir öğrenci grubunun mümkün olduğunca günde bir dersinin olmamasıdır.

Ele aldığımız ÜDÇP probleminde; E1, E4 ve E6 kısıtlarının yanı sıra ÇAP ve yandal öğrencilerinin alacağı derslerin mümkün olduğunca çakışmaması da istenmektedir. ÇAP kısıtı, daha önce ilk defa Ertane (2018) tarafından ele alınmıştır. Fakat Ertane (2018), farklı bölümlerin ardışık öğrenci gruplarına ait derslerin mümkün olduğunca çakışmamasını ele alırken, bu çalışmada; fakülte içerisindeki bütün bölümlerin birinci sınıf derslerinin çoğunluğunun ortak olduğu problemler için bölümlerin aynı sınıftaki öğrenci gruplarının mümkün olduğunca zorunlu derslerinin çakışmaması istenmiştir. Örneğin, Bilgisayar Mühendisliği'nde bulunan ikinci sınıf öğrencisi, Endüstri Mühendisliği'nde ÇAP yapmak istemesi sonucunda, Endüstri Mühendisliği ikinci sınıf zorunlu dersleri ile kendi bölümünde alması gereken zorunlu derslerin mümkün olduğunca çakışmaması istenmektedir. Ayrıca E4 kısıtı, hem bölümlerde öğrencilerin alttan ve/veya üstten almak istedikleri zorunlu dersler ile kendi döneminde almaları gereken zorunlu dersleri birlikte almak istemesi sonucu

yaşadıkları çakışma probleminin çözümü için hem de Ertane'nin (2018) ÇAP kısıtını tam olarak karşılayamasa da dolaylı olarak karşıladığının düşünüldüğü bir kısıt olarak ele alınmıştır. Aynı zamanda, bir öğrencinin başka bir bölümde yandal yapabilmesi için alması gereken dersler ile kendi bölümünde alması gereken zorunlu derslerin mümkün olduğunca çakışmaması kısıtı yani yandal kısıtı çalışmada ele alınmıştır.

Çizelge 3.2 ve Çizelge 3.3 incelendiğinde, amaç fonksiyonu olarak elli dokuz çalışmanın kırkında A1'in; on ikisinde ise A4'ün amaçlandığı görülmektedir. Yani çalışmaların çoğunda esnek kısıt ihlallerinin enküçüklenmesi ve öğretim üyelerinin isteklerinin enbüyüklenmesi amaçlanmaktadır. Bu çalışmada da literatürle uyumlu olarak A1 amacı kullanılmıştır. Sonuç olarak çalışmada, fakülte düzeyinde ÜDÇP için göz önüne alınan bütün bu kısıtlar ve amaç ilk defa bir arada ele alınmıştır.

Son olarak Şekil 3.1'e bakıldığında, incelenen çalışmalarda problemin çözümü için kullanılan çözüm yöntemlerinin sayısal analizi sunulmuştur. Şekil 3.1'e bakıldığında en fazla kullanılan çözüm yöntemlerinin başında sezgisel-meta-sezgisel temelli yaklaşımların geldiği görülmektedir. Sezgisel-meta-sezgisel algoritmaların kullanılmasının sebepleri arasında, problemin karmaşıklığından ötürü matematiksel modelin ele alınan problemi çözememesi, problemin çözüm süresini azaltması ve çözüm kalitesini artırması sayılabilir. Bu çalışmada, matematiksel model ve tavlama benzetimi yöntemi kullanılmıştır.

Çizelge 3.4. İncelenen çalışmalardaki katı kısıtlar

	Socha vd. (2003)	Mirra va zi vd. (2003)	Daskala ski vd. (2004)	Kostuc h (2005)	MirHas sian (2006)	Ismayil ova vd. (2007)	Cura (2007)	Abdulla h vd. (2007)	Tuga vd. (2007)	Bakır ve Aksop (2008)	Aycan (2008)	Jat ve Yang (2008)	Shaker ve Abdulla h (2009)	Aycan ve Ayav (2009)	Jat ve Yang (2009)
K1		✓	✓		✓		✓			✓	✓		✓	✓	
K2	✓	✓	✓	✓	✓		✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
K3	✓	✓	✓	✓			✓	✓	✓	✓		✓	✓		✓
K4			✓				✓								
K5			✓		✓	✓									
K6			✓							✓					
K7			✓		✓					✓	✓			✓	
K8			✓		✓					✓					
K9			✓		✓					✓	✓			✓	
K10															
K11	✓			✓				✓	✓			✓			✓
K12	✓	✓		✓				✓	✓			✓			✓
K13															
K14															
K15															
K16		✓									✓			✓	
K17		✓													
K18										✓					
K19										✓					
K20					✓		✓			✓					
K21					✓										
K22													✓		
K23															
K24															
K25															
K26															
K27															
K28															
K29															

Çizelge 3.4. İncelenen çalışmalardaki katı kısıtlar (devam)

	Özyandı (2010)	Lü ve Hao (2010)	Al- Tarawneh ve Ayob (2011)	Shiau (2011)	Kohshori vd. (2011)	Joudaki vd. (2011)	Ceschia vd. (2012)	Aziz vd. (2012)	Agahian (2012)	Gunawan vd. (2012)	Yapıcı (2012)	Al- Betar ve Khader (2012)	Nguyen vd. (2012)	Mansour ve El- Jazzar (2013)	Chen ve Shih (2013)
K1	✓	✓	✓	✓	✓				✓	✓	✓		✓	✓	✓
K2	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓		✓	✓	✓	✓	✓
K3		✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓		✓	✓	✓	✓	✓
K4	✓	✓								✓			✓		
K5										✓					✓
K6															
K7	✓		✓							✓			✓		✓
K8	✓		✓												
K9													✓		
K10				✓											✓
K11				✓	✓	✓	✓	✓				✓			
K12			✓			✓	✓	✓				✓	✓		
K13															
K14										✓					
K15															
K16		✓											✓		✓
K17	✓			✓											
K18													✓		
K19															
K20															
K21															
K22							✓		✓					✓	
K23							✓								
K24					✓					✓					
K25													✓		
K26										✓					
K27													✓		
K28															
K29							✓								

Çizelge 3.4. İncelenen çalışmalardaki katı kısıtlar (devam)

	Kökçen vd. (2014)	Sanchez-Partida vd. (2014)	Badoni vd. (2014)	Bolaji vd. (2014)	Soria-Alcaraz vd. (2014)	Uçar (2015)	Komijan ve Koupaei (2015)	Lewis ve Thompson (2015)	Çolak (2015)	Ertuğrul ve Öztaş (2016)	Kamışlı Öztürk vd. (2016)	Altunay ve Eren (2016)	Demir ve Çelik (2016)	Bellio vd. (2016)	Abdelhalim ve El Khayat (2016)
K1	✓	✓				✓	✓		✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
K2	✓		✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
K3	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓		✓	✓	✓	✓	
K4	✓	✓				✓					✓		✓		
K5	✓						✓			✓					
K6	✓									✓					
K7	✓	✓				✓					✓	✓	✓		
K8	✓					✓					✓	✓	✓		
K9	✓											✓			
K10	✓						✓					✓			✓
K11	✓		✓	✓	✓	✓		✓					✓		
K12		✓	✓	✓	✓	✓		✓					✓		✓
K13										✓					
K14									✓	✓		✓	✓		✓
K15						✓									
K16		✓													✓
K17											✓				
K18															
K19															
K20															
K21	✓										✓				
K22					✓			✓						✓	
K23					✓			✓							
K24															
K25															
K26												✓			
K27															
K28															
K29															

Çizelge 3.4. İncelenen çalışmalardaki katı kısıtlar (devam)

	Vermuyten vd. (2016)	Soria-Alcaraz vd. (2016)	Borchani vd. (2017)	Goh vd. (2017)	Ertane (2018)	Nagata (2018)	Song vd. (2018)	Akkan ve Gülcü (2018)	Özkan (2019)	Hossain vd. (2019)	Lindahi vd. (2019)	Lemos vd. (2019)	Mazlan vd. (2019)	Yasari vd. (2019)	Tez çalışması (2020)
K1	✓	✓	✓	✓		✓		✓	✓	✓	✓			✓	✓
K2	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓		✓	✓	✓
K3	✓	✓	✓		✓		✓	✓	✓		✓	✓	✓	✓	✓
K4	✓				✓										✓
K5	✓														
K6														✓	
K7					✓					✓				✓	✓
K8														✓	✓
K9									✓					✓	
K10															
K11		✓		✓		✓	✓		✓	✓			✓		✓
K12		✓	✓	✓		✓			✓	✓		✓	✓		✓
K13															
K14			✓				✓		✓						✓
K15									✓						✓
K16									✓						✓
K17										✓					
K18					✓										
K19															
K20															
K21															
K22		✓		✓		✓		✓			✓				✓
K23		✓		✓		✓									
K24															
K25															
K26															
K27															✓
K28	✓														
K29															

Çizelge 3.5. İncelenen çalışmalardaki esnek kısıtlar

	Socha vd. (2003)	Kostuch (2005)	Abdullah vd. (2007)	Bakır ve Aksop (2008)	Jat ve Yang (2008)	Shaker ve Abdullah (2009)	Jat ve Yang (2009)	Özyandı (2010)	Lü ve Hao (2010)	Al-Tarawneh ve Ayob (2011)	Shiau (2011)	Kohshori vd. (2011)	Joudaki vd. (2011)	Ceschia vd. (2012)
E1										✓		✓		
E2														
E3														
E4				✓										
E5						✓			✓					
E6														
E7														
E8														
E9														
E10														
E11						✓			✓					
E12									✓					
E13														
E14	✓	✓	✓		✓		✓					✓	✓	✓
E15	✓	✓	✓		✓		✓						✓	✓
E16	✓	✓	✓		✓		✓						✓	✓
E17						✓			✓					
E18						✓								
E19								✓			✓	✓		
E20														
E21										✓				
E22										✓		✓		
E23														
E24											✓			
E25														

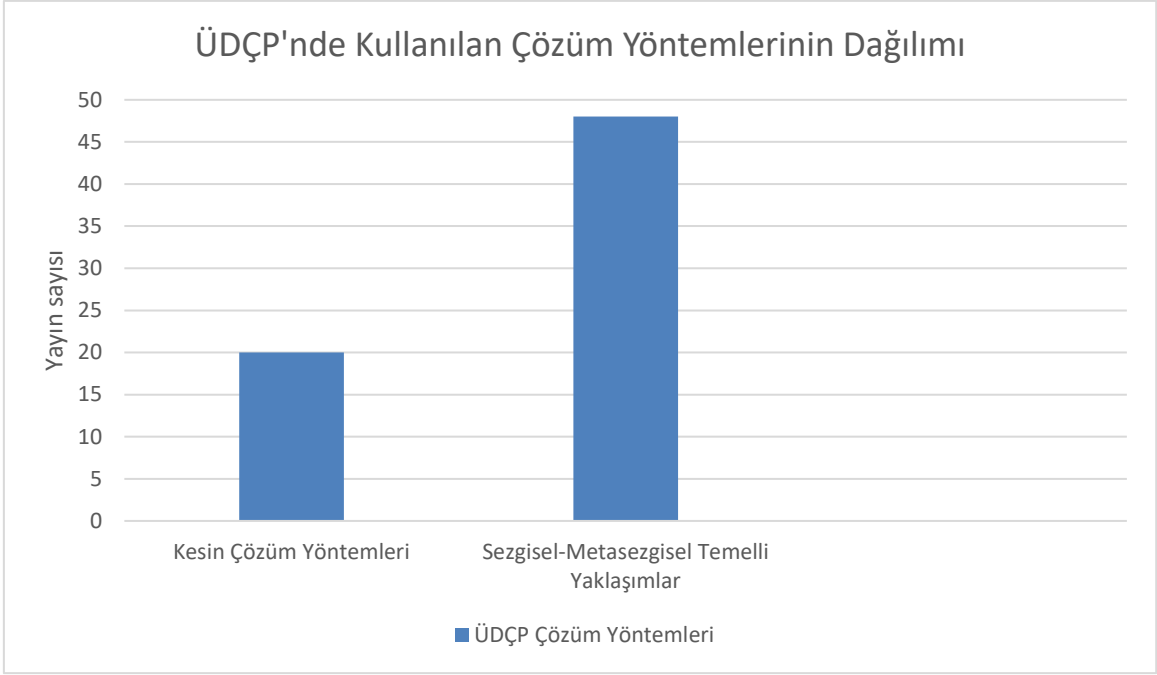
Çizelge 3.5. İncelenen çalışmalardaki esnek kısıtlar (devam)

	Aziz vd. (2012)	Agahian (2012)	Al-Betar ve Khader (2012)	Nguyen vd. (2012)	Mansour ve El-Jazzar (2013)	Chen ve Shih (2013)	Kökçen vd. (2014)	Badoni vd. (2014)	Bolaji vd. (2014)	Soria-Alcaraz vd. (2014)	Uçar (2015)	Komijan ve Koupaei (2015)	Lewis ve Thompson (2015)	Çolak (2015)	Kamışlı Öztürk vd. (2016)
E1				✓			✓								
E2							✓								✓
E3							✓								
E4							✓								
E5															
E6															
E7															
E8															
E9															✓
E10											✓	✓			
E11		✓		✓	✓							✓			
E12															
E13															
E14	✓		✓					✓	✓	✓			✓		
E15	✓		✓					✓	✓	✓			✓		
E16	✓		✓					✓	✓	✓			✓		
E17		✓			✓										✓
E18		✓			✓										✓
E19				✓		✓									✓
E20															
E21				✓		✓									
E22				✓											✓
E23				✓											
E24				✓		✓									
E25				✓		✓									



Çizelge 3.5. İncelenen çalışmalardaki esnek kısıtlar (devam)

	Demir ve Çelik (2016)	Bellio vd. (2016)	Abdelhalim ve El Khayat (2016)	Soria-Alcaraz vd. (2016)	Borchani vd. (2017)	Goh vd. (2017)	Ertane (2018)	Nagata (2018)	Akkan ve Gülcü (2018)	Özkan (2019)	Hossain vd. (2019)	Lindahl vd. (2019)	Mazlan vd. (2019)	Yasari vd. (2019)	Tez çalışması (2020)
E1			✓												✓
E2															
E3															
E4	✓						✓			✓					✓
E5							✓								
E6							✓								✓
E7							✓								
E8							✓								
E9															
E10										✓					
E11		✓		✓					✓			✓		✓	
E12															
E13														✓	
E14				✓		✓		✓					✓		
E15				✓		✓		✓					✓		
E16				✓		✓		✓					✓		
E17		✓		✓					✓			✓			
E18		✓		✓					✓			✓			
E19										✓	✓				
E20											✓				
E21			✓												
E22			✓		✓										✓
E23															✓
E24															
E25															✓



Şekil 3.1.Ele alınan ÜDÇP çalışmalarında kullanılan çözüm yöntemlerinin dağılımı

## 4. MATERYAL VE YÖNTEM

### 4.1. Problemin Tanımı

Bu çalışmada, motivasyon kaynağı olarak Antalya Bilim Üniversitesi Mühendislik Fakültesi'nin ders çizelgeleme problemi ele alınmıştır. Antalya Bilim Üniversitesi Mühendislik Fakültesi; Bilgisayar, Endüstri, Elektrik ve Elektronik, İnşaat ve Makine olmak üzere beş bölümden oluşmaktadır. Fakülteye bağlı bölümler tarafından, her dönem başında uyulması gereken müfredata göre tüm öğrenci grupları için açılacak dersler, her dersin haftalık ders saati ve bu dersleri verecek öğretim elemanları belirlenmektedir. Aynı zamanda, farklı bölümlerin aynı öğrenci gruplarında verilecek ortak dersler bulunmaktadır. Bu ortak dersleri alacak öğrenci sayısı fazla olduğu için dersler şubelere ayrılmakta ve hangi şubeye hangi bölüm öğrencilerinin gireceği belirlenmektedir.

Öğrencilerin ilgili ders döneminde seçeceği dersler, zorunlu, alan içi seçmeli, bölüm dışı alan seçmeli ve alan dışı seçmeli dersler olmak üzere dört gruba ayrılmaktadır. Zorunlu dersler, her bölümün ilgili öğrenci grubunda öğrencilerin alması gereken derslerdir. Alan içi seçmeli dersler, öğrencilerin bölümlerinde açılan seçmeli derslerdir. Bölüm dışı alan seçmeli, mühendislik fakültesinde bulunan diğer mühendislik bölümlerinin açmış olduğu normal dersler ya da seçmeli dersler ile öğrencilerin fakülte dışından alabileceği derslerdir. Bu çalışmada, öğrenci gruplarının alması gereken zorunlu dersler ile bölüm seçmeli derslerinin çakışmaması dikkate alınmıştır.

Mühendislik Fakültesiyle beraber beş fakülte ve meslek yüksekokulu aynı eğitim binasında eğitim vermektedir. Laboratuvar ve stüdyo gibi özel olarak bölümleri ya da fakülteleri ilgilendiren derslikler hariç olmak üzere diğer derslikler ortak kullanılmaktadır. Bu sebeple dersler, hafta içi 09:00-20:00 aralığında, dersliklerin müsaitlik durumuna göre atanmaktadır. Dersler, dersin atanabileceği derslik tipine uygun ve dersi alabilecek en fazla öğrenci sayısına eşit veya daha fazla kapasiteye sahip dersliklere atanmaktadır.

Atanacak olan derslerin haftalık ders saati en az bir, en fazla dördttür. Bir ve iki saatlik dersler bir güne atanırken, üç saatlik dersler öğretim elemanının isteği üzerine ya bir oturum iki saat ve diğer oturum bir saat olmak üzere iki farklı güne ya da art arda üç saat olacak şekilde bir güne atanmaktadır. Dört saatlik dersler ise iki saati bir güne, iki saati başka bir güne olmak üzere iki farklı güne atanmaktadır. Ayrıca, derslerin laboratuvar dersleri veya soru çözüm dersleri gibi uygulama dersleri olabilmektedir. Bu uygulama dersleri, dersin normal ders saati ile çakışmayacak şekilde ders programına yerleştirilmektedir.

Açılan bütün dersleri verecek tam zamanlı öğretim üyesi yetersizliğinden dolayı çevre üniversitelerden yarı zamanlı öğretim üyeleri görevlendirilmektedir. Ders programı oluşturulurken dersi verecek yarı zamanlı öğretim üyeleri, başka üniversitelerde tam zamanlı olarak çalıştıkları için müsait oldukları gün/günlere göre ders ataması yapılmaktadır. Tam zamanlı öğretim elemanlarının ise Fen Bilimleri Enstitüsü'nde ders vermeleri ya da akademik araştırmalarını yapmak istedikleri belirli gün kısıtlarının olması sebebiyle müsaitlik durumlarına göre ders atamaları yapılmaktadır.

Üniversitelerde, kendi bölümleri ile çift anadal ya da yandal yapan öğrencilerin toplam ders yüklerinin yanında zorlandıkları bir diğer konu ise alması gereken bölüm dersleri ile çift anadal ya da yandal yapmak istedikleri bölümlerde almaları gereken derslerin çakışmasıdır. Bu çalışmada, kendi bölümlerinin yanında Mühendislik Fakültesi'ndeki diğer bölümlerde çift anadal veya yandal yapmak isteyen öğrencilerin ders çakışmaları mümkün olduğunca en aza indirilmeye çalışılmıştır.

Son olarak, öğrenci gruplarının günlük ders saatinin sekiz saati aşmaması, alttan ve/veya üstten ders alan öğrenciler için mümkün olduğunca ardışık sınıfların zorunlu derslerinin çakışmaması ve öğrenci gruplarının öğle saati aralığında mümkün olduğunca boşluğunun olması dikkate alınan konulardandır.

#### **4.2. Önerilen Matematiksel Model**

Bu çalışmada, fakülte bazında ders çizelgeleme probleminin çözümü için bir hedef programlama modeli geliştirilmiştir. İzleyen bölümlerde önerilen matematiksel model sunulmaktadır.

#### 4.2.1. Karar değişkenlerinin ve parametrelerin tanımlanması

Modelde kullanılan indis, küme, parametre ve karar değişkenlerinin tanımları aşağıda verilmiştir.

##### *İndis kümeleri*

Ders indisleri kümesi	$D = \{i, p \mid i, p = 1, \dots, I\}$
Öğretim üyesi indisleri kümesi	$\ddot{O} = \{j \mid j = 1, \dots, J\}$
Bölüm indisleri kümesi	$B = \{m, m' \mid m, m' = 1, \dots, M\}$
Öğrenci grubu indisleri kümesi	$\ddot{O}G = \{n, u \mid n, u = 1, \dots, N\}$
Gün indisleri kümesi	$G = \{l \mid l = 1, \dots, L\}$
Zaman aralığı indisleri kümesi	$Z = \{k \mid k = 1, \dots, K\}$
Derslik indisleri kümesi	$DE = \{q, o \mid q, o = 1, \dots, Q\}$
Oturum indisleri kümesi	$O = \{w \mid w = 1, \dots, W\}$
Derslik tipi indisleri kümesi	$DT = \{v \mid v = 1, \dots, V\}$

##### *Parametreler*

$a_i$ :  $i$ . dersin haftalık ders saati

$b_i$ :  $i$ . dersi alan tahmini öğrenci sayısı

$h_i$ :  $i$ . dersin oturum sayısı

$g_q$ :  $q$ . dersliğin tipi

$c_q$ :  $q$ . dersliğin kapasitesi

$d_{imn}$ :  $i$ . ders  $m$ . bölümün  $n$ . öğrenci grubuna ait zorunlu ders ise 1, diğer durumda 0.

$as_{im}$ :  $i$ . ders  $m$ . bölümün seçebileceği alan içi seçmeli ders ise 1, diğer durumda 0.

$e_{lkq}$ :  $l$ . gün  $k$ . zaman aralığında  $q$ . derslik müsait ise 1, diğer durumda 0.

$f_{ji}$ :  $j$ . öğretim üyesi  $i$ . dersi veriyor ise 1, diğer durumda 0.

$r_{jl}$ :  $j$ . öğretim üyesi  $l$ . gün ders verebiliyorsa 1, diğer durumda 0.

$s_{iw}$ :  $i$ . dersin  $w$ . oturumunun ders saati

$sa_{im}$ :  $i$ . ders  $m$ . bölümde yandal yapacak öğrencinin alacağı ders ise 1, diğer durumda 0.

$kk_{iv}$ :  $i$ . ders  $v$ . derslik tipinde verilecek ise 1, diğer durumda 0.

$MM$ : Yeterince büyük pozitif bir sayı

### Karar değişkenleri

$X_{ilkq}$  :  $i$ . ders  $l$ . gün  $k$ . zaman aralığında  $q$ . dersliğe atanırsa 1, diğer durumda 0.

$y_{iwlq}$  :  $i$ . dersin  $w$ . oturumu  $l$ . gün  $q$ . derslikte yapılıyor ise 1, diğer durumda 0.

$DA1_{mnl}$  :  $d4_{mnl}^+$  sapma değişkeni değer alıyorsa 1, diğer durumda 0.

$DA2_{mnl}$  :  $d5_{mnl}^+$  sapma değişkeni değer alıyorsa 1, diğer durumda 0.

$d1_{mnqiwlk}^-$  :  $m$ . bölüm  $n$ . öğrenci grubunun  $q$ . dersliğinde bulunan  $i$ . dersin iki veya üç saatlik olan  $w$ . oturumunun  $l$ . günün öğle saati zaman aralığı olan  $k$ . zaman aralıklarında hedeflenen öğle saati boşluğu değerinden negatif yönlü sapma

$d1_{mnqiwlk}^+$  :  $m$ . bölüm  $n$ . öğrenci grubunun  $q$ . dersliğinde bulunan  $i$ . dersin iki veya üç saatlik olan  $w$ . oturumunun  $l$ . günün öğle saati zaman aralığı olan  $k$ . zaman aralıklarında hedeflenen öğle saati boşluğu değerinden pozitif yönlü sapma

$d2_{mnlqipok}^-$  :  $m$ . bölüm  $n$ . öğrenci grubunun  $l$ . gün  $q$ . dersliğinde olan  $i$ . dersi ile  $o$ . dersliğinde olan  $p$ . dersinin öğle saati zaman aralığı olan  $k$ . zaman aralıklarında hedeflenen öğle saati boşluğu değerinden negatif yönlü sapma

$d2_{mnlqipok}^+$  :  $m$ . bölüm  $n$ . öğrenci grubunun  $l$ . gün  $q$ . dersliğinde olan  $i$ . dersi ile  $o$ . dersliğinde olan  $p$ . dersinin öğle saati zaman aralığı olan  $k$ . zaman aralıklarında hedeflenen öğle saati boşluğu değerinden pozitif yönlü sapma

$d3_{mniuplk}^-$  :  $m$ . bölümün ardışık öğrenci grupları olan  $n$ . öğrenci grubunun zorunlu olan  $i$ . ders ile  $u$ . öğrenci grubunun zorunlu olan  $p$ . dersin  $l$ . gün  $k$ . zaman aralığında çakışmaması hedefinden negatif yönlü sapma

$d3_{mniuplk}^+$  :  $m$ . bölümün ardışık öğrenci grupları olan  $n$ . öğrenci grubunun zorunlu olan  $i$ . ders ile  $u$ . öğrenci grubunun zorunlu olan  $p$ . dersin  $l$ . gün  $k$ . zaman aralığında çakışmaması hedefinden pozitif yönlü sapma

$d4_{mnl}^-$  :  $m$ . bölümün  $n$ . öğrenci grubunun  $l$ . günü günlük alabileceği zorunlu ders saati hedefinden negatif yönlü sapma ( $n=1$  veya  $n=2$ )

$d4_{mnl}^+$  :  $m$ . bölümün  $n$ . öğrenci grubunun  $l$ . günü günlük alabileceği zorunlu ders saati hedefinden pozitif yönlü sapma ( $n=1$  veya  $n=2$ )

$d5_{mnl}^-$  :  $m$ . bölümün  $n$ . öğrenci grubunun  $l$ . günü günlük alabileceği zorunlu ders saati hedefinden negatif yönlü sapma ( $n=3$  veya  $n=4$ )

$d5_{mnl}^+$  :  $m$ . bölümün  $n$ . öğrenci grubunun  $l$ . günü günlük alabileceği zorunlu ders saati hedefinden pozitif yönlü sapma ( $n=3$  veya  $n=4$ )

$d6_{mm'nlkqo}^-$ :  $m'$  bölümünde ÇAP yapan  $m$ . bölümün  $n$ . öğrenci grubunun  $l$ . gün  $k$ . zaman aralığı  $q$ . derslikteki zorunlu dersi ile  $m'$ . bölümün aynı  $n$ . öğrenci grubunun  $l$ . gün  $k$ . zaman aralığı  $o$ . derslikteki zorunlu dersinin çakışmaması hedefinden negatif yönlü sapma

$d6_{mm'nlkqo}^+$ :  $m'$  bölümünde ÇAP yapan  $m$ . bölümün  $n$ . öğrenci grubunun  $l$ . gün  $k$ . zaman aralığı  $q$ . derslikteki zorunlu dersi ile  $m'$ . bölümün aynı  $n$ . öğrenci grubunun  $l$ . gün  $k$ . zaman aralığı  $o$ . derslikteki zorunlu dersinin çakışmaması hedefinden pozitif yönlü sapma

$d7_{mm'nlkqo}^-$ :  $m'$  bölümünde yandal yapan  $m$ . bölümün  $n$ . öğrenci grubunun  $l$ . gün  $k$ . zaman aralığı  $q$ . derslikteki zorunlu dersi ile  $m'$ . bölümün aynı  $l$ . gün  $k$ . zaman aralığı  $o$ . derslikteki yandal derslerinin çakışmaması hedefinden negatif yönlü sapma

$d7_{mm'nlkqo}^+$ :  $m'$  bölümünde yandal yapan  $m$ . bölümün  $n$ . öğrenci grubunun  $l$ . gün  $k$ . zaman aralığı  $q$ . derslikteki zorunlu dersi ile  $m'$ . bölümün aynı  $l$ . gün  $k$ . zaman aralığı  $o$ . derslikteki yandal derslerinin çakışmaması hedefinden pozitif yönlü sapma

#### 4.2.2. Kısıtların belirlenmesi ve amaç fonksiyonu

Üniversite ders çizelgeleme probleminde, öğretim üyelerinin, öğrenci gruplarının ve dersliklerin uygunlukları göz önüne alınarak, derslerin uygun gün, zaman aralığı ve dersliğe atanması için kullanılacak katı ve esnek kısıtlar aşağıda verilmiştir. Geliştirilen modelde ele alınan katı kısıtların çoğunluğu literatürde yer alan kısıtlardır. Katı kısıtların, Daskalaski (2004), Kökçen vd. (2014) ve Kamışlı Öztürk vd.'nin (2016) yapmış olduğu çalışmalarda kullanılan katı kısıtlar baz alınarak probleme uyarlanmıştır. Sadece Kısıt (4.6.2) Can'ın (2019) yapmış olduğu tez çalışmasındaki bir kısıttan probleme uyarlanmıştır. Esnek kısıtlarından E1, E4 ve E6, daha önce literatürde kullanılmış olmasına rağmen bu kısıtlar ile ÇAP ve yandal kısıtları probleme göre tasarlanmıştır.

$$\sum_{l=1}^L \sum_{k=1}^K \sum_{q=1}^Q X_{ilkq} = a_i \quad \forall i \quad (4.1)$$

$$\sum_{i=1}^I \sum_{q=1}^Q d_{imn} \times X_{ilkq} \leq 1 \quad \forall m, n, l, k \quad (4.2.1)$$

$$\sum_{i=1}^I \sum_{q=1}^Q as_{im} \times X_{ilkq} \leq 1 \quad \forall m, n, l, k \quad (4.2.2)$$

$$\sum_{i=1}^I \sum_{q=1}^Q f_{ji} \times X_{ilkq} \leq 1 \quad \forall j, l, k \quad (4.3)$$

$$\sum_{i=1}^I X_{ilkq} \times e_{lkq} \leq 1 \quad \forall l, k, q \quad (4.4)$$

$$\sum_{i=1}^I X_{ilkq} = 0 \quad \forall l, k, q \mid e_{lkq} = 0 \quad (4.5)$$

$$X_{il(k+1)q} - X_{ilkq} - X_{il(k+2)q} \leq 0 \quad \forall i, l, k, q, w \mid s_{iw} = 2, (k+2) \leq K \quad (4.6.1)$$

$$-X_{il(k-1)q} + X_{ilkq} - X_{il(k+1)q} \leq 0 \quad \forall i, l, k, q, w \mid s_{iw} = 3 \quad (4.6.2)$$

$$\sum_{k=1}^K X_{ilkq} = y_{i1lq} \times s_{i1} \quad \forall i, l, q \mid h_i = 1 \quad (4.7.1)$$

$$\sum_{l=1}^L \sum_{q=1}^Q y_{i1lq} = 1 \quad \forall i \mid h_i = 1 \quad (4.7.2)$$

$$\sum_{k=1}^K X_{ilkq} = \sum_{w=1}^W y_{iwlq} \times s_{iw} \quad \forall i, l, q \mid h_i = 2 \quad (4.8.1)$$

$$\sum_{w=1}^W \sum_{l=1}^L \sum_{q=1}^Q y_{iwlq} = 2 \quad \forall i \mid h_i = 2 \quad (4.8.2)$$

$$\sum_{w=1}^W \sum_{q=1}^Q y_{iwlq} \leq 1 \quad \forall i, l \mid h_i = 2 \quad (4.8.3)$$

$$\sum_{i=1}^I \sum_{k=1}^K \sum_{q=1}^Q f_{ji} \times X_{ilkq} \leq MM \times r_{jl} \quad \forall j, l \quad (4.9)$$

$$b_i \times X_{ilkq} \leq c_q \quad \forall i, l, k, q \quad (4.10)$$

$$\sum_{l=1}^L \sum_{k=1}^K X_{ilkq} = 0 \quad \forall i, q, v \mid kk_{iv} = 1, g_q \neq v \quad (4.11)$$

$$\left( \sum_{i=1}^I d_{imn} \times X_{ilkq} + \sum_{p=1}^I a_{spm} \times X_{plko} \right) \leq 1 \quad \forall m, n, l, k, q, o \mid n \in \{3,4\}, q \neq o \quad (4.12)$$

$$X_{il4q} + X_{il5q} + d1_{mnqiwk}^- - d1_{mnqiwk}^+ = 1 \quad (4.13.1)$$

$$\forall m, n, q, i, w, l, k \mid s_{iw} > 1$$



$$\begin{aligned}
& X_{il4q} + X_{il5q} + d2_{mnlqipok}^- - d2_{mnlqipok}^+ = 1 \\
& \forall m, n, i, p, l, k, q, o \mid i \neq p, (q = o \text{ veya } q \neq o), \\
& (d_{imn} = 1 \text{ veya } as_{im} = 1), (d_{pmn} = 1 \text{ veya } as_{pm} = 1)
\end{aligned} \tag{4.13.2}$$

$$\begin{aligned}
& \left( \sum_{q=1}^Q d_{imn} \times X_{ilkq} + \sum_{q=1}^Q d_{pmu} \times X_{plkq} \right) + d3_{mniuplk}^- - d3_{mniuplk}^+ = 1 \\
& \forall m, n, i, u, p, l, k \mid i \neq p, u = (n + 1), d_{imn} = 1, d_{pmu} = 1
\end{aligned} \tag{4.14}$$

$$\left( \sum_{i=1}^I \sum_{k=1}^K \sum_{q=1}^Q d_{imn} \times X_{ilkq} \right) + d4_{mnl}^- - d4_{mnl}^+ = 8 \quad \forall m, n, l \mid n \in \{1,2\} \tag{4.15.1}$$

$$\begin{aligned}
& \left( \sum_{i=1}^I \sum_{k=1}^K \sum_{q=1}^Q d_{imn} \times X_{ilkq} \right) + \left( \sum_{p=1}^I \sum_{k=1}^K \sum_{o=1}^Q as_{pm} \times X_{plko} \right) + d5_{mnl}^- - d5_{mnl}^+ = 8 \\
& \forall m, n, l \mid n \in \{3,4\}
\end{aligned} \tag{4.15.2}$$

$$d4_{mnl}^+ \leq MM \times DA1 \quad \forall m, n, l \mid n \in \{1,2\} \tag{4.15.3}$$

$$d5_{mnl}^+ \leq MM \times DA2 \quad \forall m, n, l \mid n \in \{3,4\} \tag{4.15.4}$$

$$\begin{aligned}
& \left( \sum_{i=1}^I d_{imn} \times X_{ilkq} + \sum_{p=1}^I d_{pm'n} \times X_{plko} \right) + d6_{mm'nlkqo}^- - d6_{mm'nlkqo}^+ = 1 \\
& \forall m, m', n, l, k, q, o \mid m \neq m', q \neq o, n > 1
\end{aligned} \tag{4.16}$$

$$\begin{aligned}
& \left( \sum_{i=1}^I d_{imn} \times X_{ilkq} + \sum_{p=1}^I sa_{pm'} \times X_{plko} \right) + d7_{mm'nlkqo}^- - d7_{mm'nlkqo}^+ = 1 \\
& \forall m, m', n, l, k, q, o \mid m \neq m', q \neq o, n > 1
\end{aligned} \tag{4.17}$$

$$X_{ilkq} \in [0,1] \quad \forall i, l, k, q$$

$$y_{iwlq} \in [0,1] \quad \forall i, w, l, q$$

$$\begin{aligned}
& d1_{mnqiwlk}^-, d1_{mnqiwlk}^+, d2_{mnlqipok}^-, d2_{mnlqipok}^+, d3_{mniuplk}^-, d3_{mniuplk}^+, d4_{mnl}^-, \\
& d4_{mnl}^+, d5_{mnl}^-, d5_{mnl}^+, d6_{mm'nlkqo}^-, d6_{mm'nlkqo}^+, d7_{mm'nlkqo}^-, d7_{mm'nlkqo}^+ \geq 0
\end{aligned} \tag{4.18}$$

Kısıtları altında

$$Enk f = \frac{\sum_{m=1}^M \sum_{n=1}^N \sum_{q=1}^Q \sum_{i=1}^I \sum_{w=1, s_{iw} > 1}^W \sum_{l=1}^L \sum_{k=1}^K d1_{mnqiwlk}^+}{M \times N \times L} +$$

$$\frac{\sum_{m=1}^M \sum_{n=1}^N \sum_{l=1}^L \sum_{q=1}^Q \sum_{i=1, d_{imn}=1 \text{ or } a_{sim}=1}^I \sum_{p=1, p \neq i, d_{pmn}=1 \text{ or } a_{spm}=1}^I \sum_{o=1, q=o \text{ v or } q \neq o}^Q \sum_{k=1}^K d2_{mnlqipok}^+}{M \times N \times L}$$

$$+ \frac{\sum_{m=1}^M \sum_{n=1}^N \sum_{i=1}^I \sum_{u=1, u=n+1}^N \sum_{p=1, p \neq i}^I \sum_{l=1}^L \sum_{k=1}^K d3_{mniuplk}^+}{M \times (N-1) \times L \times K} +$$

$$\frac{\sum_{m=1}^M \sum_{n=1}^2 \sum_{l=1}^L DA1_{mnl} + \sum_{m=1}^M \sum_{n=3}^4 \sum_{l=1}^L DA2_{mnl}}{M \times N \times L} +$$

$$\frac{\sum_{l=1}^L \sum_{k=1}^K \sum_{n=1}^N \sum_{m=1}^M \sum_{q=1}^Q \sum_{m'=1 \text{ ve } m' \neq m}^M \sum_{o=1, o \neq q}^Q d6_{mm'nlkqo}^+}{\binom{M}{2} \times (N-1) \times L \times K} +$$

$$\frac{\sum_{l=1}^L \sum_{k=1}^K \sum_{n=1}^N \sum_{m=1}^M \sum_{q=1}^Q \sum_{m'=1 \text{ ve } m' \neq m}^M \sum_{o=1, o \neq q}^Q d7_{mm'nlkqo}^+}{M \times (N-1) \times L \times K}$$

Kısıt (4.1) (**K1-K14**), tüm derslerin müfredatta belirtilen haftalık ders saati kadar atanmasını sağlar. Herhangi bir bölümün herhangi bir öğrenci grubunun zorunlu derslerinin, aynı günün aynı zaman diliminde birden fazla ders ve dersliğe atanmaması Kısıt (4.2.1) (**K2**) ve aynı şekilde bir bölüme ait seçmeli derslerin, aynı günün aynı zaman diliminde birden fazla ders ve dersliğe atanmaması Kısıt (4.2.2) (**K2**) ile sağlanmaktadır. Kısıt (4.3) (**K1**), herhangi bir öğretim üyesinin aynı günün aynı zaman diliminde birden fazla ders ve dersliğe atanmamasını garanti eder. Kısıt (4.4) (**K3**), bir dersliğe müsait olduğu gün ve zaman diliminde birden fazla ders atanmasına izin vermez. Kısıt (4.5) (**K27**), bir dersliğe müsait olmadığı gün ve zaman diliminde ders atanmamasını garanti eder. Kısıt (4.6.1) (**K7-K8**), oturum süresi iki saatlik olan dersin iki saat art arda atanmasını sağlamakta ve Kısıt (4.6.2) (**K7-K8**) ise oturum süresi üç saatlik olan derslerde zaman atlamayı engellemektedir. Kısıt (4.7.1) ve Kısıt (4.7.2) (**K7**), tek oturuma atanacak olan derslerin bir günde istenilen sürede atanmasını sağlar. İki oturuma atanacak derslerin farklı iki günde belirtilen oturum süresi kadar atanacağı Kısıt (4.8.1), Kısıt (4.8.2) ve Kısıt (4.8.3) (**K8**) ile gösterilir. Kısıt (4.9) (**K16**), bir öğretim üyesinin verdiği derslerin, öğretim üyesinin istediği günler dışında başka bir güne atanmasına izin vermez. Dersliğin kapasitesinin, atanacak olan herhangi bir dersin

tahmini öğrenci sayısına eşit veya büyük olması Kısıt (4.10) (**K12**) ile kontrol edilir. Kısıt (4.11) (**K11**), derslerin atanabileceği derslik tipi dışında bir dersliğe atanmamasını sağlar. Kısıt (4.12) (**K15**), herhangi bir bölümün üçüncü ve dördüncü sınıf öğrenci grubunun zorunlu dersleri ile alan içi seçmeli derslerinin çakışmamasını sağlar. Kısıt (4.13.1) (**E6**), öğrenci gruplarının art arda atanacak iki veya üç saatlik derslerinin, Kısıt (4.13.2) (**E6**) ise öğrenci gruplarının farklı derslerinin mümkün olduğunca öğle saati aralığında (12:00-14:00) en az bir saat boşluk olacak şekilde atanmasını sağlar. Kısıt (4.13.3), Kısıt (4.13.1)'in istenmeyen yöndeki yani pozitif yönlü sapmanın değer alması durumunda DA1 ikili değişkeni, Kısıt (4.13.4) ise aynı şekilde Kısıt (4.13.2)'in istenmeyen yöndeki yani pozitif yönlü sapmanın değer alması durumunda DA2 ikili değişkenin değer almasını sağlamaktadır. Ardışık sınıflardaki öğrenci gruplarının zorunlu derslerinin mümkün olduğunca çakışmaması Kısıt (4.14) (**E4**) ile kontrol edilir. Kısıt (4.15.1) (**E1**), herhangi bir bölümün birinci ve ikinci sınıf öğrenci grubunun bir günde alacağı toplam zorunlu ders saatinin mümkün olduğunca sekiz saati geçmemesini sağlar. Kısıt (4.15.2) (**E1**), herhangi bir bölümün üçüncü ve dördüncü sınıf öğrenci grubunun bir günde alacağı zorunlu ve alabileceği seçmeli ders saati toplamının mümkün olduğunca sekiz saati geçmemesini sağlar. Kısıt (4.16), fakültesi içerisindeki bir bölümde ÇAP yapmak isteyen mühendislik öğrencileri, kendi dönemlerinde alacağı zorunlu dersler ile ÇAP yapmak istediği bölümün aynı sınıftaki öğrenci grubunun zorunlu derslerinin mümkün olduğunca çakışmaması sağlamaktadır. Herhangi bir bölümün herhangi bir öğrenci grubundan bir öğrencinin alması gereken zorunlu dersleri ile fakülte içindeki başka bir bölümde yandal yapabilmesi için alması gereken derslerin mümkün olduğunca çakışmaması Kısıt (4.17) ile sağlanır. Karar değişkenlerine ait işaret kısıtları Kısıt (4.18) ile gösterilmiştir. Modelin amaç fonksiyonu, dikkate alınan (4.13.1), (4.13.2), (4.14), (4.16), (4.17) hedeflerinden istenmeyen yöndeki toplam sapmaların en küçüklenmesidir. Bir diğer hedef olan Kısıt (4.15.1) ve Kısıt (4.15.2) için istenmeyen yönde yani pozitif yönlü sapma değişkeni değer aldığı anda tariflenen ikili değişkenler değer almaktadır. Kısıt (4.15.1) için Kısıt (4.15.3)'te ve Kısıt (4.15.2) için Kısıt (4.15.4)'te yer alan ikili değişkenler değer almaktadır. Amaç fonksiyonunda, bu ikili değerler de toplamının en küçüklenmesi istenmektedir. Tüm hedeflere ait sapmaların  $[0,1]$  aralığında değer alabilmesi için, her bir hedefe ait sapma değerlerinin toplamı, ele alınan hedefin ulaşabileceği üst sınır değerine bölünmüştür. Üst sınır değerlerinde belirtilen M; bölüm sayısı, N; bir bölümdeki sınıf yani öğrenci grubu sayısını, L; gün sayısını ve K; Bir günde ayrılan zaman aralığı sayısını temsil etmektedir.

### 4.3. Tavlama Benzetimi Hakkında Genel Bilgiler

Son yıllarda, karmaşık problemleri çözmek amacıyla birçok meta-sezgisel algoritma kullanılmaktadır. Meta-sezgisel algoritmaların kullanılmasının sebebi, çok kısa sürede çok büyük problem boyutları için bile eniyi/en uygun çözümleri elde etmeleridir. (Dökeroğlu vd., 2019)

İlgili çalışmada, problemin çözümü için bir meta-sezgisel yöntem olan tavlama benzetimi (TB) yöntemi kullanılmıştır.

TB yönteminin mantığı bir metalin fiziksel tavlama sürecinde olan benzerliklerine dayanmaktadır. Fiziksel olarak tavlama katı bir maddenin erime noktasına kadar ısısının artırılması ve ısıtılmış olan bu maddenin en düşük enerji seviyesine yani katı haline tekrar gelene kadar yavaş yavaş soğutulması işlemidir (Cura, 2008).

TB yönteminin temeli Metropolis vd.'nin (1953) çalışmasına dayanmaktadır. Bu çalışmada belirli bir ısı seviyesinde, bir katının ısı dengeye ulaşmasını taklit eden bir algoritma geliştirilmiştir. Daha sonra Kirkpatrick vd. (1983) tarafından Metropolis vd.'nin (1953) geliştirmiş olduğu algoritmayı temel alarak kombinatoriyel eniyileme problemlerinde kullanabilecek bir algoritma önerilmiştir.

Güner ve Altıparmak (2003), fiziksel tavlama ile kombinatoriyel eniyileme arasındaki ilişkiyi Çizelge 4.1'deki gibi ifade etmiştir.

Çizelge 4.1.Fiziksel tavlama ile kombinatoriyel eniyileme arasındaki ilişki

Termodinamik Simülasyon	Kombinatoriyel Eniyileme Problemi
Sistem Durumları	Uygun Çözümler
Enerji	Amaç Fonksiyonu
Durumun Değişimi	Komşu Çözüm
Sıcaklık	Kontrol Parametresi
Donma Durumu	Sezgisel Çözüm

Kesikli bir eniyileme problemini TB algoritması ile çözebilmek için bazı tanımlamalara ihtiyaç vardır. Bunları şu şekilde sıralayabiliriz:

- S: tüm olası çözümler için uygun çözüm kümesi
- $f$ : amaç fonksiyonu
- $\zeta$ : uygun çözüm kümesi içerisindeki herhangi bir çözüm
- $k\zeta$ : komşu çözüm

TB algoritması, rastgele uygun başlangıç çözümü ve başlangıç sıcaklığı ile başlar. Başlangıç olarak seçilen noktanın komşu kümesi arasından yeni bir çözüm belirlenir. Mevcut çözüm  $\zeta$ 'nin komşusunun  $k\zeta$  olup olamayacağı aşağıdaki komşuluk olasılık fonksiyonu ile belirlenmektedir (Nikolaev ve Jacobson, 2010):

$$P_{T_{sd}}\{k\zeta'yi\ kabul\ et\} = \begin{cases} \exp\left[-\frac{(f(k\zeta)-f(\zeta))}{T_{sd}}\right] & \text{eğer } f(k\zeta) > f(\zeta), \\ 1 & \text{değilse} \end{cases} \quad (4.20)$$

$$ras < P_{T_{sd}}\{k\zeta'yi\ kabul\ et\} \quad (4.21)$$

Denklem (4.20)'de yer alan  $sd$ ; sıcaklık değişim sayısını,  $T_{sd}$ ;  $sd$ . adımdaki sıcaklık değerini,  $f(\zeta)$ ; mevcut çözümün amaç fonksiyonu değerini ve  $f(k\zeta)$ ; yeni komşu çözümün amaç fonksiyonu değerini temsil etmektedir.

TB algoritmasının yerel aramadan farkı, tepe tırmanma hareketleri ile yerel eniyilere takılmadan bütünsel eniyiyi bulabilmesidir. Yerel eniyilerden kaçma ümidiyle kötü çözümlerin bir kısmı kabul edilir. Denklem (4.20)'de bu durum açıkça görülmektedir. Denklem göre  $k\zeta$ 'nin komşu olarak kabul edilebilmesi için  $f(k\zeta)$  değerinin,  $f(\zeta)$  değerinden küçük olması istenmektedir. Fakat tam tersi bir durum olduğunda algoritma durmamaktadır. Kötü çözümün kabul edilip edilmeyeceği, Denklem (4.20)'de  $f(k\zeta) > f(\zeta)$  olması durumunda hesaplanması gereken komşu kabul olasılığından sonra Denklem (4.21)'de belirtilen denklemin sağlanıp sağlanmadığı ile kontrol edilir. Denklem (4.21) sağlanıyorsa  $j$  komşu kabul edilir, aksi takdirde kabul edilmez. Denklem (4.21)'de kullanılan  $ras \in [0,1]$  olan bir rassal sayıdır.

Şekil 4.1’de tavlama benzetiminin genel işleyişinin sözde algoritması verilmiştir (Eglese,1990):

---

```

Başlangıç çözümü seç;
Başlangıç sıcaklığı seç ( $T_0$  ve  $T_0 > 0$ );
Sıcaklık değişim sayacını ayarla  $sd=0$ ;
Tekrarla
Tekrarlama sayısını belirle  $ts=0$ ;
  Tekrarla
  Yeni bir komşu çözümü üret (Komşu arama algoritması)
  Amaç fonksiyonu değişimi hesapla ( $\Delta = f(kç) - f(ç)$ )
  Eğer ( $\Delta < 0$ ) ise yeni çözümü seç
    Eğer  $ras[0,1] < \exp(-\frac{\Delta}{T_0})$  ise yeni çözümü seç;
   $ts=ts+1$ ;
   $ts=N(sd)$  şartını sağlayana kadar devam et;
 $sd=sd+1$ ;
 $T=T(sd)$ ;
Durdurma koşulunu sağlayana kadar devam et.

```

---

Şekil 4.1. Genel tavlama benzetimi sözde kodu

Şekil 4.1’de  $T_0$  başlangıç sıcaklığını,  $sd$  sıcaklık değişim sayısını,  $ts$  tekrarlama sayısını,  $N(sd)$   $sd$ .sıcaklıkta toplam tekrarlama sayısı ve  $T(sd)$   $sd$ .sıcaklıktaki soğutma planı temsil etmektedir.

Bir problemin çözümü için TB algoritmasının kullanılması durumunda verilmesi gereken kararlar iki grupta toplanabilir. Bunlar, başlangıç sıcaklığı ( $T_0$ ), soğutma planı (tekrar sayısı ve sıcaklık düşürme oranı) ve durdurma koşulu olmak üzere genel kararlar ile çözüm uzayı, enküçüklenecek amaç fonksiyonu, komşuluk üretim mekanizması tanımlama ve başlangıç çözümü belirlenmesi olmak üzere probleme özgü kararlardır (Kutucu ve Durgut, 2018). Geliştirilen tavlama benzetimi yaklaşımında sözü edilen kararlar, Bölüm 4.4’te açıklanmıştır.

#### 4.4. Geliştirilen Tavlama Benzetimi Yaklaşımı

Ele alınan fakülte düzeyinde ÜDÇP’ni çözebilmek için JetBrains PyCharm Community Edition 2019.2.3 programında bir TB algoritması geliştirilmiştir. Geliştirilen TB algoritmasında kullanılmak üzere probleme ait çözüm gösterimi, başlangıç çözümü, komşuluk yapısı ve parametre değerleri izleyen bölümlerde açıklanmıştır.

#### 4.4.1. Çözüm gösterimi

Problemin çözüm gösterimi, her dersliğin, gün ve zaman aralığı bilgilerinden oluşmaktadır. Çizelgede yer alan her saat aralığı (Örneğin, 09:00-10:00) bir zaman aralığı olarak kabul edilmekte ve bir gün on bir zaman aralığına ayrılmaktadır. Şekil 4.2’de çözüm gösterimi gösterilmektedir. Burada satırlar derslikleri, sütunlar ise gün ve zaman aralığını temsil etmektedir. Derslik-gün-zaman aralığının kesiştiği hücreler, başlangıçta derslik dolu ise “0”, boş ise “1” değerindedir. Ders atamaları gerçekleştirildikten sonra ilgili hücreye atama yapıldıysa “ders kodu” bilgisi gelmektedir. Çizelgenin son halinde hücreler “1”, “0” ve “ders kodu” bilgilerine sahip olmaktadır.

	PAZARTESİ			SALI			ÇARŞAMBA			PERŞEMBE			CUMA		
	1		11	12		22	23		33	34		44	45		55
Derslik1															
Derslik2															
.															
.															
DerslikQ-1															
DerslikQ															

Şekil 4.2. Çözüm gösterimi

#### 4.4.2. Başlangıç çözümü oluşturulması

Başlangıç çözümü için ilk önce Ek Açıklama-A’da yer alan tüm ders bilgileri Python programında *course* adında bir sınıfta tanımlanmıştır. *course* sınıfı her dersin, ders kodu, öğretim elemanı kodu, ders saati, dersi alabilecek en fazla öğrenci sayısı, öğrenci grubu, zorunlu/seçmeli bilgisi ve dersin atanabileceği derslik türü bilgisini içermektedir. Şekil 4.3’de *course* sınıfına ait bilgiler yer almaktadır.

```

class course():
    def __init__(self, name, instructor, course_hour, max_student,
studentGroup, c_e, roomType):
        self.name = name
        self.instructor = instructor
        self.course_hour = course_hour
        self.max_student = max_student
        self.studentGroup = studentGroup
        self.c_e = c_e
        self.roomType = roomType
c1 = course("MATH 101-1", "0", [2, 2], 110, [SG1,SG5,SG17], "C", 1)
c2 = course("MATH 101-2", "0", [2, 2], 110, [SG9,SG13], "C", 1)

```

Şekil 4.3.Ders (*course*) sınıfı bilgileri

Derslik, öğretim üyesi ve öğrenci gruplarının bilgileri ayrı sınıflarda (*room*, *instructor*, *studentGroup*) gösterilmiştir.

Her dersliğin, öğretim üyesinin ve öğrenci grubunun uygunluğunu gösteren listeler programa tanımlanmıştır. Uygunluk listesi adı verilen bu listeler, haftanın beş gününü ve her günün on bir zaman dilimini temsil etmektedir. Şekil 4.4’de *room* sınıfının özelliklerini yani her bir dersliğin adını, türünü, kapasitesini ve uygunluk listesini içermektedir. Bu listede, “0” değeri dersliğin dolu olduğunu ve “1” değeri ise dersliğin müsait olduğunu göstermektedir.

```

class room():
    def __init__(self, name, roomType, capacity, suitability):
        self.name = name
        self.roomType = roomType
        self.capacity = capacity
        self.suitability = suitability
# 1: normal 2:physic 3: computer 4: electric and electronics
R1 = room("A1-01", 1, 40,
[1,1,1,1,0,0,0,1,1,1,1,0,0,0,1,1,0,0,1,1,1,1,0,0,0,1,1,1,1,0,0,0,1,1,0,0,0,0,1,1,1,1,1,1,1,
0,0,0,0,1,1,0,0,0,1,1,0,0,0,0,1,1])
R2 = room("A1-03", 1, 40,
[0,0,1,1,1,1,1,0,1,1,1,0,0,0,1,1,1,1,1,1,1,1,0,0,0,1,0,0,0,1,1,1,1,1,1,0,0,0,
0,0,1,1,1,1,0,0,0,1,1,1,1,1,1,1])

```

Şekil 4.4.Derslik (*room*) sınıfı bilgileri





boşaltmak yani uygunluk listelerinde ilgili zamanları uygun değil olarak değiştirmek mümkündür.

Bütün bu sınıf tanımlamalarından sonra başlangıç çözümü oluşturulurken, dersi alabilecek en fazla öğrenci sayısına sahip dersten başlayarak, en küçük kapasiteli derslikleri deneyen ve uygun gördüğü derslik ve zaman aralığına dersin atandığı bir başlangıç çözümü oluşturulmuştur.

#### 4.4.3. Komşuluk yapısı

TB algoritmasında kullanılan komşuluk yapısını tanımlamak için ilk önce dersin zamanını ve yerini değiştirme komşuluk yapısı ve iki dersin yer değiştirmesi komşuluk yapısı tanımlanmıştır. Bu çalışmada kullanılan komşuluk yapısı, bu iki komşuluk yapısının birleştirilmiş hali olan karma komşuluk olarak tanımlanan komşuluk yapısıdır. İzleyen alt bölümlerde bu komşuluk yapıları açıklanmıştır.

##### 4.4.3.1. Dersin zamanını ve yerini değiştirme

Literatürde basit hareket, ders hareketi şeklinde tabir edilen bu komşuluk yapısında bir dersin, uygunluğu bozmadan uygun olan derslik ve zaman aralığına alınmasıdır. Bu komşuluk yapısının TB algoritmasında kullanıldığı haliyle sözde kodu Şekil 4.7'de verilmiştir.

---

*res*=[] \*\* Bir dersin komşu çözümlerinin toplandığı liste \*\*

Rastgele herhangi bir zaman aralığındaki dersi seç. (ders= $i$ ,  $w=1$ , zaman= $t_{i1}$ , derslik= $d_{i1}$ )

Dersin ( $i$ ) bölünüp bölünmediği kontrol et.

Eğer ders ( $i$ ) bölünüyorsa yani  $h_i = 2$  ise;

Seçilen dersin diğer oturumunun zamanını ve dersliğini bul. (ders= $i$ ,  $w=2$ , zaman= $t_{i2}$ , derslik= $d_{i2}$ )

$i$  dersi için derslik tipinin uygun ve kapasitesinin yeterli olduğu dersliklerde, dersin saati kadar  $t_{i2}$

zaman aralığının olduğu gün dışındaki başka günlerdeki zaman aralıklarını bul.

Eğer uygun bir derslik ( $d_{iyeni}$ ) ve zaman ( $t_{iyeni}$ ) bulunursa;

Uygun olan derslik ( $d_{iyeni}$ ) ve zaman aralığını ( $t_{iyeni}$ ) liste (*res*) içerisine at.

---

Şekil 4.7. Dersin zamanını ve yerini değiştirme komşuluk yapısının sözde kodu

---

Eğer uygun bir derslik ( $d_{iyeni}$ ) ve zaman ( $t_{iyeni}$ ) bulunamazsa;

İşlemi durdur.

Eğer ders ( $i$ ) bölünmüyorsa yani  $h_i = 1$  ise;

$i$  dersi için derslik tipinin uygun ve kapasitesinin yeterli olduğu dersliklerde, dersin saati kadar uygun zaman aralıklarını bul.

Eğer uygun bir derslik ( $d_{iyeni}$ ) ve zaman ( $t_{iyeni}$ ) bulunursa;

Uygun olan derslik ( $d_{iyeni}$ ) ve zaman aralıkları ( $t_{iyeni}$ ) liste ( $res$ ) içerisine at.

Eğer uygun bir derslik ( $d_{iyeni}$ ) ve zaman ( $t_{iyeni}$ ) bulunamazsa;

İşlemi durdur.

---

Şekil 4.7. Dersin zamanını ve yerini değiştirme komşuluk yapısının sözde kodu (devam)

#### **4.4.3.2. İki dersin yer değiştirmesi**

Basit değişim, derslerin değişimi olarak da bilinen bu komşuluk yaklaşımı uygunluğu bozmayacak şekilde iki dersin karşılıklı yerlerinin değiştirilmesidir. TB algoritmasında kullanılan haliyle iki dersin yer değiştirmesi komşuluk yapısının sözde kodu Şekil 4.8'de verilmiştir.

---

$res=[]$  \*\* Bir dersin komşu çözümlerinin toplandığı liste \*\*

Rastgele herhangi bir zamandaki dersi seç. (ders= $i$ ,  $w=1$ , zaman= $t_{i1}$ , derslik= $d_{i1}$ )

Dersin bölünüp bölünmediğini kontrol et.

Eğer  $i$  bölünüyorsa yani  $h_i = 2$  ise;

$i$  dersinin diğer oturumunun zamanını ve dersliğini bul. (ders= $i$ ,  $w=2$ , zaman= $t_{i2}$ , derslik= $d_{i2}$ )

$i$  dersi için derslik tipinin uygun ve kapasitesinin yeterli olduğu dersliklerde,  $t_{i2}$  zaman aralığının olduğu gün dışındaki günlerde aynı ders saati uzunluğunda olan yeni bir ders ( $p$ ,  $t_{p1}$ ,  $d_{p1}$ ) bul.

Yeni ders bulunduysa;

Yeni dersin ( $p$ ) bölünüp bölünmediğini kontrol et.

Yeni bulunan ders ( $p$ ) bölünüyorsa yani  $h_p = 2$  ise;

Yeni dersin ( $p$ ) diğer oturumunun zamanını ve dersliğini ( $t_{p2}$ ,  $d_{p2}$ ) bul.

$t_{p2}$  ile  $t_{i1}$  aynı gün ise;

İşlemi durdur.

---

Şekil 4.8. İki dersin yer değiştirmesi sözde kodu

---

$t_{p2}$  ile  $t_{i1}$  aynı gün değilse;

Önce yeni dersin ( $p$ )  $d_{i1}$  dersliğine atanabilmesi için derslik tipi ve kapasitesinin uygunluğuna, ardından yeni dersin ( $p$ ) öğretim üyesinin ve öğrenci grubu/gruplarının  $t_{i1}$  zamanındaki müsaitliğine ve yer değiştirilmek istenen  $i$  dersinin öğretim üyesinin ve öğrenci grubu/gruplarının  $t_{p1}$  zamanındaki müsaitliğine bak.

Derslerin yerinin değişmesi mümkün ise;

$i$  ile  $p$  yer değiştirebilir ve liste ( $res$ ) içine at.

Derslerin yerinin değişmesi mümkün değil ise;

İşlemi durdur.

Yeni bulunan ders ( $p$ ) bölünmüyorsa yani  $h_p = 1$  ise;

Önce yeni dersin ( $p$ )  $d_{i1}$  dersliğine atanabilmesi için derslik tipi ve kapasitesinin uygunluğuna, ardından yeni dersin ( $p$ ) öğretim üyesinin ve öğrenci grubu/gruplarının  $t_{i1}$  zamanındaki müsaitliğine ve yer değiştirilmek istenen  $i$  dersinin öğretim üyesinin ve öğrenci grubu/gruplarının  $t_{p1}$  zamanındaki müsaitliğine bak.

Derslerin yerinin değişmesi mümkün ise;

$i$  ile  $p$  yer değiştirebilir ve liste ( $res$ ) içine at.

Derslerin yerinin değişmesi mümkün değil ise;

İşlemi durdur.

Yeni ders bulunmadıysa;

İşlemi durdur.

Eğer ders ( $i$ ) bölünmüyorsa yani  $h_i = 1$  ise;

$i$  dersi için derslik tipinin uygun ve kapasitesinin yeterli olduğu dersliklerde, aynı ders saati uzunluğunda olan yeni bir ders ( $p, t_{p1}, d_{p1}$ ) bul.

Yeni ders bulunduysa;

Yeni dersin ( $p$ ) bölünüp bölünmediğini kontrol et.

Yeni bulunan ders ( $p$ ) bölünüyorsa yani  $h_p = 2$  ise;

Yeni dersin ( $p$ ) diğer oturumunun zamanını ve dersliğini ( $t_{p2}, d_{p2}$ ) bul.

$t_{p2}$  ile  $t_{i1}$  aynı gün ise;

İşlemi durdur.

$t_{p2}$  ile  $t_{i1}$  aynı gün değilse;

Önce yeni dersin ( $p$ )  $d_{i1}$  dersliğine atanabilmesi için derslik tipi ve kapasitesinin uygunluğuna, ardından yeni dersin ( $p$ ) öğretim üyesinin ve öğrenci grubu/gruplarının  $t_{i1}$  zamanındaki müsaitliğine ve yer değiştirilmek istenen  $i$  dersinin öğretim üyesinin ve öğrenci grubu/gruplarının  $t_{p1}$  zamanındaki müsaitliğine bak.

Derslerin yerinin değişmesi mümkün ise;

$i$  ile  $p$  yer değiştirebilir ve liste ( $res$ ) içine at.

---

Şekil 4.8. İki dersin yer değiştirmesi sözde kodu (devam)

---

Derslerin yerinin değişmesi mümkün değil ise;

İşlemi durdur.

Yeni bulunan ders ( $p$ ) bölünmüyorsa yani  $h_p = 1$  ise;

Önce yeni dersin ( $p$ )  $d_{i1}$  dersliğine atanabilmesi için derslik tipi ve kapasitesinin uygunluğuna, ardından yeni dersin ( $p$ ) öğretim üyesinin ve öğrenci grubu/gruplarının  $t_{i1}$  zamanındaki müsaitliğine ve yer değiştirilmek istenen  $i$  dersinin öğretim üyesinin ve öğrenci grubu/gruplarının  $t_{p1}$  zamanındaki müsaitliğine bak.

Derslerin yerinin değişmesi mümkün ise;

$i$  ile  $p$  yer değiştirebilir ve liste ( $res$ ) içine at.

Derslerin yerinin değişmesi mümkün değil ise;

İşlemi durdur.

Yeni ders bulunmadıysa;

İşlemi durdur.

---

Şekil 4.8.İki dersin yer değiştirmesi sözde kodu (devam)

#### **4.4.3.3. Karma komşuluk**

Karma komşuluk yapısı ise dersin zamanını ve yerini değiştirme ile iki dersin yer değiştirmesi komşuluk yapılarının birleşimi şeklindedir.

Dersin zamanını ve yerini değiştirme ve iki dersin yer değiştirmesi komşuluk yapılarının her ikisi de çalıştırılarak uygun olan durumlar bir liste içerisine atılır. En son bu sonuçlar içerisinden rastgele bir tanesi seçilerek değişim gerçekleşir.

#### **4.4.4. Başlangıç sıcaklığı, durdurma koşulu ve soğutma planı**

Çalışmada kullanılan soğutma planı Denklem (4.22)'te verilmiştir.

$$T_{sd+1} = \alpha \times T_{sd} \quad (4.22)$$

Geliştirilen tavlama benzetimi algoritmasının işlerliği, tanımlanan problemler üzerinde gösterilmiştir. Bu problemlerde kullanılan başlangıç sıcaklıkları ( $T_0$ ), son

sıcaklık ( $T_{son}$ ), soğutma oranı ( $\alpha$ ), her sıcaklıktaki adım sayısı ( $ts$ ), toplam adım sayısı ( $sd$ ) sırasıyla Çizelge 4.2.'de verilmiştir.

Yapılan deneyler sonucunda soğutma oranı 1'e yakın olduğunda başarılı sonuç vermediği görülmüştür. Bu sebeple "0" değerine yakın bir oran belirlenmiştir. Soğutma oranı ve her sıcaklıktaki adım sayısı sabit tutularak farklı başlangıç sıcaklığı ve toplam adım sayılarında çözüm değeri kullanılarak çözüm değeri ve çözüm süresi açısından algoritmanın işlerliği gösterilmek istenmiştir. Verilen bu parametre değerleri bütün problemlerde denenmiş ve deneylerin sonuçları ile parametre değerleriyle ilgili yorumlar Bulgular ve Tartışma bölümde verilmiştir.

Çizelge 4.2.Tavlama benzetimi algoritmasında kullanılan parametre değerleri

Başlangıç sıcaklığı ( $T_0$ )	$T_{son}$	$\alpha$	$ts = N(sd)$	$sd = N$
10	0	0.05	10	100
10	0	0.05	10	150
10	0	0.05	10	200
10	0	0.05	10	250
50	0	0.05	10	100
50	0	0.05	10	150
50	0	0.05	10	200
50	0	0.05	10	250
100	0	0.05	10	100
100	0	0.05	10	150
100	0	0.05	10	200
100	0	0.05	10	250

#### 4.4.5. Geliştirilen tavlama benzetimi algoritmasının sözde kodu

Geliştirilen tavlama benzetimi sözde kodu Şekil 4.9.'da verilmiştir.  $f_{önceki}$ , komşu çözüm seçilmeden önceki yani en son geçerli olan amaç fonksiyonu değeridir.

---

Başlangıç çözümünü oluştur ve amaç fonksiyonunu ( $f_{baş}$ ) hesapla.

$T_0, T_{son}, \alpha, sd, ts$  parametre değerlerini belirle.

Eğer  $T_{sd} > 0, sd < N$  ve  $f > 0$  ise;

Eğer  $ts < N(sd)$  ise;

Rastgele bir ders ( $i, t_{i1}, d_{i1}$ ) seç.

Dersin komşularını, belirtilen komşuluk yapılarını kullanarak bul ve  $res$  listesini oluştur.

Eğer  $res > 0$  ise;

---

Şekil 4.9.Geliştirilen tavlama benzetimi sözde kodu

---

*res* listesi içerisinde bir tanesi seçilir.

Eğer seçilen ders için dersin zamanını ve yerini değiştirme komşuluk yapısı kullanıldıysa;

*i* dersi,  $t_{iyeni}$  zamanına ve  $d_{iyeni}$  dersliğine atanır.

$f_i$  amaç fonksiyonunu hesapla

$f_i < f_{önceki}$  ise;

$f_i$  yeni amaç fonksiyonu olur.

$ts = ts + 1$

$f_i > f_{önceki}$  ise;

Komşu olasılık kabul fonksiyonunu hesapla.

Eğer koşul sağlanıyor ise;

$f_i$  yeni amaç fonksiyonu olur.

$ts = ts + 1$

Koşul sağlanmıyorsa;

*i* dersi,  $t_{i1}$  zamanına ve  $d_{i1}$  dersliğine geri atanır.

$f_{önceki}$  amaç fonksiyonu olarak kalır.

$ts = ts + 1$

Eğer seçilen ders için iki dersin yer değiştirmesi komşuluk yapısı kullanıldıysa;

*i* dersi  $t_{p1}$  zamanına  $d_{p1}$  dersliğine, *p* dersi  $t_{i1}$  zamanına  $d_{i1}$  dersliğine atanır.

$f_i$  amaç fonksiyonunu hesapla.

$f_i < f_{önceki}$  ise;

$f_i$  yeni amaç fonksiyonu olur.

$ts = ts + 1$

$f_i > f_{önceki}$  ise;

Komşu olasılık kabul fonksiyonunu hesapla.

Eğer koşul sağlanıyor ise;

$f_i$  yeni amaç fonksiyonu olur.

$ts = ts + 1$

Koşul sağlanmıyorsa;

*i* dersi,  $t_{i1}$  zamanına ve  $d_{i1}$  dersliğine, *p* dersi  $t_{p1}$  zamanına  $d_{p1}$  dersliğine geri atanır.

$f_{önceki}$  amaç fonksiyonu olarak kalır.

$ts = ts + 1$

Eğer  $res = 0$  ise;

$ts = ts + 1$

Eğer  $ts = N(sd)$  ise;

$sd = sd + 1$

$T_{sd+1} = \alpha \times T_{sd}$

Eğer  $T_{sd} = 0$  veya  $sd = N$  veya  $f=0$  ise;

İşlemi durdur.

---

Şekil 4.9. Geliştirilen tavlama benzetimi sözde kodu (devam)

## 5.BULGULAR VE TARTIŞMA

### 5.1. Kullanılan Gerçek Hayat Verileri

Bu çalışmada, Antalya Bilim Üniversitesi'nin 2017-2018 güz dönemine ait gerçek veriler kullanılmıştır. İlgili döneme ait 5 mühendislik bölümünün toplam 107 dersi, araştırma görevlileri de dahil olmak üzere dersi veren 53 öğretim üyesi, ortak kullanılan derslikler ve laboratuvarlar olmak üzere 31 derslik bulunmaktadır. Dönemde atanacak zorunlu ve seçmeli derslere ait bölüm, ders saati, dersin oturum sayısı, dersi veren öğretim üyesi, dersi alabilecek öğrenci sayısı, dersin atanabileceği derslik tipi bilgileri Ek Açıklama-A'da yer almaktadır. Ayrıca zorunlu derslere ait öğrenci grubu bilgisi de bulunmaktadır. Ek Açıklama-A'da dersler iki ayrı güne atanacak ise "2", atanmayacaksa "1" olarak gösterilmiştir.

Derslerin atanacağı dersliklerin kapasite ve derslik tipleri bilgisi Ek Açıklama-B'de verilmiştir. Ek Açıklama-B'de, normal sınıflar; "1", fizik laboratuvarı; "2", bilgisayar laboratuvarları; "3" ve elektrik ve elektronik laboratuvarı; "4" ile temsil edilmiştir. Aynı şekilde Ek Açıklama-A'da yer alan dersin atanabileceği derslik tipi bilgisi de bu derslik tipi numaralandırmasına göre oluşturulmuştur.

Geliştirilen TB algoritmasının işlerliğini gösterebilmek için ele alınan dönem bilgileri kullanılarak örnek problem, küçük, orta ve büyük boyutlu (gerçek) problem şeklinde problemler türetilmiştir. Örnek problem verileri Bölüm 5.2.'de, küçük boyutlu problem Ek Açıklama-C'de ve orta boyutlu problem Ek Açıklama-D'de verilmiştir.

### 5.2. Örnek Problem

Geliştirilen matematiksel modelin işlerliğini gösterebilmek için bir örnek problem oluşturulmuştur. Bu örnek problemde, iki bölüm ve her bölümün dörder öğrenci grubu bulunmaktadır. Öğrenci gruplarının alması gereken zorunlu dersler ve bölümlerin alan içi seçmeli dersleriyle beraber toplamda otuz beş dersin ataması yapılmıştır.



Çizelge 5.1’de görüleceği gibi zorunlu derslere ait bölüm, öğrenci grubu, haftalık ders saati, oturum sayısı, öğretim üyesi, dersi alabilecek öğrenci sayısı ve derslik tipi bilgisi bulunmaktadır. Seçmeli derslere ait bu bilgiler, Çizelge 5.2’de, derslerin atanabileceği dersliklerin bilgileri Çizelge 5.3’te, dersliklerin uygunluk durumu Çizelge 5.4’te, öğretim üyelerinin gün bazında uygunluk durumu Çizelge 5.5’te ve herhangi bir bölümde yandal yapabilmeleri için alınması gereken derslerinin bilgisi Çizelge 5.6’da gösterilmiştir. Uygunluk durumunu gösteren çizelgelerde “1” uygun, “0” uygun olmadı durumu temsil etmektedir.

Çizelge 5.1.Zorunlu dersler

Bölüm	Öğrenci grubu	Ders kodu	Ders saati	Oturum sayısı	Öğretim üyesi	Dersi alabilecek öğrenci sayısı	Derslik tipi
Bölüm 1	1	MATH 101	4	2	Ö1	80	1
		MATH 101R	2	1	Ö12	80	1
		PHYS 101	3	2	Ö2	80	1
		PHYS 101L1	3	1	Ö13	25	2
		PHYS 101L2	3	1	Ö13	25	2
		CS 101	3	2	Ö3	80	1
	2	CS 101L1	2	1	Ö14	35	3
		MATH 201	3	2	Ö1	85	1
		IE 201	3	2	Ö4	40	1
		MATH 211	3	2	Ö5	85	1
		MATH 211R	1	1	Ö12	50	1
		IE 341	3	2	Ö6	40	1
	3	IE 351	3	2	Ö4	40	1
		IE 361	3	1	Ö5	40	1
		IE 371	3	1	Ö7	40	1
	4	IE 403	3	2	Ö6	40	1
		IE 491	2	1	Ö4	40	1
	Bölüm 2	1	MATH 101	4	2	Ö1	80
MATH 101R			2	1	Ö12	80	1
PHYS 101			3	2	Ö2	80	1
PHYS 101L3			3	1	Ö13	25	2
CS 101			3	2	Ö3	80	1
CS 101L2			2	1	Ö14	35	3
2		CS101L3	2	1	Ö14	35	3
		CS 201	3	2	Ö8	35	1
		CS 201L	2	1	Ö15	35	1
		MATH 201	3	2	Ö1	85	1
		MATH 211	3	2	Ö5	85	1
		MATH 211R	1	1	Ö12	50	1
3		CS 303	3	1	Ö9	40	1
		CS 311	3	2	Ö10	40	1
		CS 361	3	2	Ö11	40	1
4		CS 491	2	1	Ö10	40	1
		CS 492	1	1	Ö10	40	1

Çizelge 5.2.Seçmeli dersler

Bölüm	Ders kodu	Ders saati	Oturum sayısı	Öğretim üyesi	Dersi alabilecek öğrenci sayısı	Derslik tipi
Bölüm 1	IE 405	3	1	Ö16	45	1
	IE 407	3	1	Ö16	45	1
	IE 433	3	1	Ö16	50	1
	IE 401	3	1	Ö7	80	1
	CS 431	3	2	Ö10	50	1
Bölüm 2	CS 472	3	1	Ö17	50	1
	CS 441	3	1	Ö9	50	1
	CS 415	3	2	Ö5	50	1

Çizelge 5.3.Derslikler

Derslik adı	Derslik tipi	Derslik kapasitesi
D1	Normal (1)	40
D2	Normal (1)	52
D3	Normal (1)	64
D4	Normal (1)	68
D5	Amfi (1)	144
D6	Bilgisayar Laboratuvarı (3)	44
D7	Fizik Laboratuvarı (2)	28

Çizelge 5.4.Dersliklerin gün ve zaman aralığı bazında uygunluk durumları

Gün.Zaman Aralığı/ Derslik	D1	D2	D3	D4	D5	D6	D7
1.1	1	0	1	1	0	1	1
1.2	1	0	1	1	0	1	1
1.3	1	0	1	1	0	1	1
1.4	1	0	1	1	0	1	1
1.5	1	1	1	1	1	1	1
1.6	1	1	1	0	1	1	1
1.7	1	1	1	0	1	1	1
1.8	0	1	1	1	1	1	1
1.9	0	1	1	1	1	1	1
1.10	0	1	1	1	1	1	1
1.11	0	1	1	1	1	1	1
2.1	0	1	1	0	1	1	1
2.2	0	1	1	0	1	1	1
2.3	0	1	1	0	1	1	1
2.4	1	0	1	0	1	1	1
2.5	1	0	1	1	0	1	1
2.6	1	1	1	1	0	1	1
2.7	1	1	1	1	0	1	1
2.8	1	1	1	1	0	1	1
2.9	1	1	1	1	1	1	1

\* 1:uygun 0:uygun değil

Çizelge 5.4.Dersliklerin gün ve zaman aralığı bazında uygunluk durumları (devam)

Gün.Zaman Aralığı/ Derslik	D1	D2	D3	D4	D5	D6	D7
2.10	1	1	1	1	1	1	1
2.11	1	1	1	1	1	1	1
3.1	1	1	1	1	1	1	1
3.2	1	1	1	1	1	1	1
3.3	1	1	1	1	1	1	1
3.4	1	1	1	1	0	1	1
3.5	1	1	1	0	0	1	1
3.6	1	1	1	0	0	1	1
3.7	1	1	1	0	0	1	1
3.8	1	0	1	0	1	1	1
3.9	0	0	1	0	1	1	1
3.10	0	0	1	0	1	1	1
3.11	0	0	1	0	1	1	1
4.1	1	1	0	1	1	1	1
4.2	1	1	0	1	1	1	1
4.3	1	1	0	1	1	1	1
4.4	1	1	0	1	1	1	1
4.5	1	1	0	1	1	1	1
4.6	1	1	0	1	1	1	1
4.7	0	1	0	1	1	1	1
4.8	0	1	0	1	1	1	1
4.9	0	1	0	1	1	1	1
4.10	0	1	0	1	1	1	1
4.11	0	1	0	1	1	1	1
5.1	1	0	1	1	1	1	1
5.2	1	0	1	1	1	1	1
5.3	1	0	1	1	1	1	1
5.4	1	0	1	1	1	1	1
5.5	1	0	1	1	1	0	1
5.6	1	1	1	0	1	0	1
5.7	0	1	1	0	1	0	1
5.8	0	1	1	0	1	0	1
5.9	1	1	1	0	0	0	1
5.10	1	1	1	0	0	0	1
5.11	1	1	1	0	0	0	1

\* 1:uygun 0:uygun değil

Çizelge 5.5.Öğretim üyelerinin gün bazında uygunluk durumları

Öğretim üyesi / gün	Pazartesi(1)	Salı(2)	Çarşamba(3)	Perşembe(4)	Cuma(5)
Ö1	1	1	1	0	0
Ö2	1	1	1	1	0
Ö3	0	1	1	1	1
Ö4	0	1	1	1	1
Ö5	1	1	1	0	1

Çizelge 5.5.Öğretim üyelerinin gün bazında uygunluk durumları (devam)

Öğretim üyesi / gün	Pazartesi(1)	Salı(2)	Çarşamba(3)	Perşembe(4)	Cuma(5)
Ö6	1	1	1	1	0
Ö7	1	1	0	0	1
Ö8	0	1	1	1	0
Ö9	1	1	1	0	1
Ö10	0	1	1	1	1
Ö11	0	1	1	0	1
Ö12	1	1	0	1	1
Ö13	0	1	1	1	1
Ö14	1	1	1	1	0
Ö15	1	1	1	1	1
Ö16	0	1	0	0	1
Ö17	1	0	1	1	0

\* 1:uygun 0:uygun değil

Çizelge 5.6.Öğrencinin yandal yapmak istediği bölümde alması gereken dersler

Bölüm	Yandal dersleri
Bölüm 1	IE 201, IE 341, IE 351
Bölüm 2	CS 201, CS 303, CS 311

### 5.2.1. Matematiksel model ile çözüm

Tüm testler Intel (R) Core (TM) i7- 2600 CPU @3.40 GHz işlemcisi, 4 GB belleği olan bilgisayarlarda yapılmıştır.

Matematiksel model, GAMS 24.0.2 ile kodlanmış, çözücü olarak Cplex kullanılmıştır.

Örnek problem, önerilen model kullanılarak 75.19 saniyede çözülmüştür. Bölüm 1 ve Bölüm 2'ye ait elde edilen sonuçlar sırasıyla Çizelge 5.7 ve Çizelge 5.8'de gösterilmiştir.

Çizelge 5.7.Bölüm 1'e ait ders çizelgesi

Zaman Aralığı \ Gün	Pazartesi		Salı		Çarşamba		Perşembe		Cuma	
09:00-10:00	IE 341/ Ö6/ D1		MATH 201/ Ö1/ D5	IE 407/ Ö16/ D2	CS 101/ Ö3/ D5	IE 351/ Ö4/ D4				IE 433/ Ö16/ D3
10:00-11:00	IE 403/ Ö6/ D3		MATH 201/ Ö1/ D5	IE 407/ Ö16/ D2	MATH 101/ Ö1/ D5				MATH 211R/ Ö12/ D4	IE 433/ Ö16/ D3
11:00-12:00	IE 403/ Ö6/ D3			IE 407/ Ö16/ D2	MATH 101/ Ö1/ D5		IE 201/ Ö4/ D4		MATH 211/ Ö5/ D5	IE 433/ Ö16/ D3
12:00-13:00							IE 201/ Ö4/ D4		MATH 211/ Ö5/ D5	
13:00-14:00		IE 361/ Ö5/ D3				CS 415/ Ö5/ D3	IE 341/ Ö6/ D2		IE 351/ Ö4/ D1	
14:00-15:00	MATH 101/ Ö1/ D5	IE 361/ Ö5/ D3			CS 101L1/ Ö14/ D6	CS 415/ Ö5/ D3	IE 341/ Ö6/ D2		IE 351/ Ö4/ D1	
15:00-16:00	MATH 101/ Ö1/ D5	IE 361/ Ö5/ D3	IE 371/ Ö7/ D1	PHYS 101L2/ Ö13/ D7	CS 101L1/ Ö14/ D6	IE 491/ Ö4/ D1	CS 101/ Ö3/ D5		MATH 101R/ Ö12/ D5	
16:00-17:00	IE 401/ Ö7/ D5		IE 371/ Ö7/ D1	PHYS 101L2/ Ö13/ D7	PHYS 101/ Ö2/ D5	IE 491/ Ö4/ D1	CS 101/ Ö3/ D5		MATH 101R/ Ö12/ D5	
17:00-18:00	IE 401/ Ö7/ D5		IE 371/ Ö7/ D1	PHYS 101L2/ Ö13/ D7	PHYS 101/ Ö2/ D5		PHYS 101L1/ Ö13/ D7			IE 405/ Ö16/ D3
18:00-19:00	IE 401/ Ö7/ D5						PHYS 101L1/ Ö13/ D7			IE 405/ Ö16/ D3
19:00-20:00	MATH 201/ Ö1/ D5	CS 415/ Ö5/ D2	PHYS 101/ Ö2/ D5		MATH 211/ Ö5/ D5	IE 403/ Ö6/ D3	PHYS 101L1/ Ö13/ D7		IE 201/ Ö4/ D2	IE 405/ Ö16/ D3

Çizelge 5.8.Bölüm 2'ye ait ders çizelgesi

Zaman Aralığı \ Gün	Pazartesi		Salı		Çarşamba		Perşembe		Cuma	
09:00-10:00	CS 472/ Ö17/ D4		MATH 201/ Ö1/ D5		CS 101/ Ö3/ D5		CS 201/ Ö8/ D5	CS 431/ Ö10/ D4	CS 311/ Ö10/ D5	
10:00-11:00	CS 472/ Ö17/ D4		MATH 201/ Ö1/ D5		MATH 101/ Ö1/ D5	CS 361/ Ö11/ D4			MATH 211R/ Ö12/ D4	
11:00-12:00	CS 472/ Ö17/ D4				MATH 101/ Ö1/ D5	CS 361/ Ö11/ D4			MATH 211/ Ö5/ D5	CS 431/ Ö10/ D4
12:00-13:00									MATH 211/ Ö5/ D5	CS 431/ Ö10/ D4
13:00-14:00			CS 201/ Ö8/ D4	CS 491/ Ö10/ D3	CS 415/ Ö5/ D3					
14:00-15:00	MATH 101/ Ö1/ D5	CS 441/ Ö9/ D2	CS 201/ Ö8/ D4	CS 491/ Ö10/ D3	CS 415/ Ö5/ D3					
15:00-16:00	MATH 101/ Ö1/ D5	CS 441/ Ö9/ D2	CS 101 L2 /Ö14 /D6				CS 101/ Ö3/ D5		MATH 101R/ Ö12/ D5	CS 303/ Ö9/ D2
16:00-17:00	CS 201L / Ö15 / D6	CS 441/ Ö9/ D2	CS 101 L2 /Ö14 /D6		PHYS 101/ Ö2/ D5		CS 101/ Ö3/ D5		MATH 101R/ Ö12/ D5	CS 303/ Ö9/ D2
17:00-18:00	CS 201L / Ö15 / D6				PHYS 101/ Ö2/ D5	CS 492/ Ö10/ D3		CS 101 L3/Ö 14/D6	PHYS 101L3/ Ö13/ D7	CS 303/ Ö9/ D2
18:00-19:00							CS 311/ Ö10/ D2	CS 101 L3/ Ö14/ D6	PHYS 101L3/ Ö13/ D7	
19:00-20:00	MATH 201/ Ö1/ D5	CS 415/ Ö5/ D2	PHYS 101/ Ö2/ D5	CS 361/ Ö11/ D2	MATH 211/ Ö5/ D5		CS 311/ Ö10/ D2		PHYS 101L3/ Ö13/ D7	

Çizelge 5.9.Dersliklerin çizelgesi

Gün.Zaman Aralığı/ Derslik	D1	D2	D3	D4	D5	D6	D7
P-09:00-10:00	IE 341			CS 472			
P-10:00-11:00			IE 403	CS 472			
P-11:00-12:00			IE 403	CS 472			
P-12:00-13:00							
P-13:00-14:00			IE 361				
P-14:00-15:00		CS 441	IE 361		MATH 101		
P-15:00-16:00		CS 441	IE 361		MATH 101		
P-16:00-17:00		CS 441			IE 401	CS 201L	
P-17:00-18:00					IE 401	CS 201L	
P-18:00-19:00					IE 401		
P-19:00-20:00		CS 415			MATH 201		
S-09:00-10:00		IE 407			MATH 201		
S-10:00-11:00		IE 407			MATH 201		
S-11:00-12:00		IE 407					
S-12:00-13:00							
S-13:00-14:00			CS 491	CS 201			
S-14:00-15:00			CS 491	CS 201			
S-15:00-16:00	IE 371					CS 101 L2	PHYS 101L2
S-16:00-17:00	IE 371					CS 101 L2	PHYS 101L2
S-17:00-18:00	IE 371						PHYS 101L2
S-18:00-19:00							
S-19:00-20:00		CS 361			PHYS 101		
Ç-09:00-10:00				IE 351	CS 101		
Ç-10:00-11:00				CS 361	MATH 101		
Ç-11:00-12:00				CS 361	MATH 101		
Ç-12:00-13:00							

Çizelge 5.9.Dersliklerin çizelgesi (devam)

Gün.Zaman Aralığı/ Derslik	D1	D2	D3	D4	D5	D6	D7
Ç-13:00-14:00			CS 415				
Ç-14:00-15:00			CS 415			CS 101L1	
Ç-15:00-16:00	IE 491					CS 101L1	
Ç-16:00-17:00	IE 491				PHYS 101		
Ç-17:00-18:00			CS 492		PHYS 101		
Ç-18:00-19:00							
Ç-19:00-20:00			IE 403		MATH 211		
PŞ-09:00-10:00				CS 431	CS 201		
PŞ-10:00-11:00							
PŞ-11:00-12:00				IE 201			
PŞ-12:00-13:00				IE 201			
PŞ-13:00-14:00		IE 341					
PŞ-14:00-15:00		IE 341					
PŞ-15:00-16:00					CS 101		
PŞ-16:00-17:00					CS 101		
PŞ-17:00-18:00						CS 101 L3/	PHYS 101L1
PŞ-18:00-19:00		CS 311				CS 101 L3/	PHYS 101L1
PŞ-19:00-20:00		CS 311					PHYS 101L1
C-09:00-10:00			IE 433		CS 311		
C-10:00-11:00			IE 433	MATH 211R			
C-11:00-12:00			IE 433	CS 431	MATH 211		
C-12:00-13:00				CS 431	MATH 211		
C-13:00-14:00	IE 351						
C-14:00-15:00	IE 351						
C-15:00-16:00		CS 303			MATH 101R		
C-16:00-17:00		CS 303			MATH 101R		



Çizelge 5.9.Dersliklerin çizelgesi (devam)

Gün.Zaman Aralığı/ Derslik	D1	D2	D3	D4	D5	D6	D7
C-17:00-18:00			IE 405				PHYS 101L3
C-18:00-19:00			IE 405				PHYS 101L3
C-19:00-20:00		IE 201	IE 405				PHYS 101L3

Çizelge 5.10.Öğretim görevlilerinin çizelgesi

Öğretim Üyesi /Gün	Pazartesi	Salı	Çarşamba	Perşembe	Cuma
Ö1	MATH 101(2) MATH 201(1)	MATH 201(2)	MATH 101(2)		
Ö2		PYHS(1)	PYHS(2)		
Ö3			CS 101(1)	CS 101(2)	
Ö4			IE 351(1) IE 491(2)	IE 201(2)	IE 351(2) IE 201(1)
Ö5	CS 415(1) IE 361(3)		MATH 211(1) CS 415(2)		MATH 211(2)
Ö6	IE 403(2) IE 341(1)		IE 403(1)	IE 341(2)	
Ö7	IE 401(3)	IE 371(3)			
Ö8		CS 201(2)		CS 201(1)	
Ö9	CS 441(3)				CS 303(3)
Ö10		CS 491(2)	CS 492(1)	CS 311(2) CS 431(1)	CS 311(1) CS 431(2)
Ö11		CS 361(1)	CS 361(2)		
Ö12					MATH 211R (1) MATH 101R (2)
Ö13		PHYS101L2(3)		PHYS101L1(3)	PHYS101L3(3)

Çizelge 5.10.Öğretim görevlilerinin çizelgesi (devam)

Öğretim üyesi /Gün	Pazartesi	Salı	Çarşamba	Perşembe	Cuma
Ö14		CS 101L2(2)	CS 101L1(2)	CS 101L3(2)	
Ö15	CS 201L(2)				
Ö16		IE 407(3)			IE 405(3) IE 433(3)
Ö17	CS 472(3)				

Çizelge 5.7 Bölüm 1'e, Çizelge 5.8 ise Bölüm 2'ye ait derslerin gün-zaman aralığı ve dersliklere atanmış halini göstermektedir. Çizelge 5.9 ve Çizelge 5.10'da müsait olunmayan zaman aralıkları gri renk ile gösterilmiştir. Derslerin, dersliklerin müsait olduğu gün ve zaman aralıklarına atandığı Çizelge 5.9'da ve öğretim üyelerinin müsait olduğu günlere atandığı ise Çizelge 5.10'da görülmektedir. Ayrıca dersler, uygun derslik tipine göre atanmıştır. Sonuç olarak, çalışmada ele alınan bütün katı kısıtlar sağlanmıştır.

Öğle yemeği saatleri olan 12:00-14:00 zaman aralıklığına bakıldığında, öğrenci gruplarının derslerinin bu zaman aralıklarından en fazla bir saatine atandığı ve bu durumda en az bir saatlik öğle aralarının olduğu görülmektedir. Böylece, Kısıt 4.13.1 ve Kısıt 4.13.2 sağlanmıştır.

Bölümlerin ardışık yıllarına ait öğrenci gruplarının yani birinci ile ikinci sınıf, ikinci ile üçüncü sınıf ve üçüncü ile dördüncü sınıf öğrenci gruplarının almış olduğu zorunlu derslerin aynı gün ve zaman aralığına atanmadığı görülmektedir. Bu durumda, Kısıt 4.14 sağlanmıştır.

Bölümlerin ders programlarına bakıldığında, birinci ve ikinci sınıf öğrenci grubu zorunlu derslerinin, üçüncü ve dördüncü sınıf öğrenci gruplarının ise zorunlu dersleri ile alabileceği seçmeli derslerin gün içerisinde en fazla sekiz saat olduğu görülmektedir. Bu durumda, Kısıt 4.15.1 ve Kısıt 4.15.2 sağlanmıştır.

Bölüm 1 ve Bölüm 2'nin ders programları incelendiğinde esnek kısıtlar arasında var olan ÇAP yapmak isteyen herhangi bir bölümün herhangi bir sınıfındaki öğrencinin alacağı zorunlu dersler ile ÇAP yapmak istediği bölümün aynı sınıfında alacağı zorunlu derslerin çakışmadığı görülmektedir. Örneğin Bölüm 1 ikinci sınıf zorunlu dersleri ile Bölüm 2 ikinci sınıf zorunlu dersleri, ortak aldığı dersler dışında çakışmamaktadır. Yani, Kısıt 4.16 sağlanmıştır.

Herhangi bir bölümün herhangi bir sınıfındayken başka bir bölümde yandal yapmak isteyen öğrencinin, kendi döneminde alması gereken zorunlu dersleri ile yandal yapmak istediği bölümde alacağı dersler çakışmamıştır. Örneğin, Bölüm 2 üçüncü sınıf öğrencisinin Bölüm 1'de yandal yapabilmesi için alması gereken IE 201, IE 341 ve IE 351 dersleriyle zorunlu olarak alması gereken CS 303, CS311 ve CS 361 dersleri çakışmamaktadır. Böylece, Kısıt 4.17 sağlanmıştır.

ÇAP ya da yandal yapmak isteyen öğrenci, bu programlara en erken üçüncü yarıyılıda başlayabildiği için birinci sınıf derslerindeki çakışmalar dikkate alınmamıştır.

Amaç fonksiyonunun normalleştirilmesi aşaması örnek problem üzerinde şu şekilde hesaplanmıştır. Öğle aralığı saatlerinde mümkün olduğunca öğrencilerin en az bir saat boşluğunun olmasının istediği Kısıt 13.1 ve Kısıt 13.2 için en fazla her gün her öğrenci grubu için en fazla "1" değerini alabilecektir. Örnek problemde iki bölüm ve her bölümün dörder öğrenci grubunun haftanın beş günü dersi olabileceğinden her iki kısıt için de alabileceği en fazla değer,  $M \times N \times L$  yani  $2 \times 4 \times 5 = 40$  değerini alabilir. Ardışık sınıflardaki öğrencilerin mümkün olduğunca zorunlu derslerinin çakışmaması kısıtında ise bu kısıtın sağlanamadığı en fazla durum sayısı  $M \times (N - 1) \times L \times K$  yani  $2 \times 3 \times 5 \times 11 = 330$ 'dur. Öğrenci gruplarının günlük alabileceği ders saati sayısının mümkün olduğunca sekiz saati geçmemesi kısıtları olan Kısıt 4.15.1 ve Kısıt 4.15.2'in sağlanamaması durumunda toplam alabileceği en fazla değer,  $M \times N \times L$  yani  $2 \times 4 \times 5 = 40$  değerini alabilir. ÇAP yapan öğrencilerin mümkün olduğunca derslerinin çakışmaması kısıtı olan Kısıt 4.16'nın sağlanamaması durumunda toplam alabileceği en fazla değer ise  $\binom{M}{2} \times (N - 1) \times L \times K$  yani  $1 \times 3 \times 5 \times 11 = 165$ 'tir. Son olarak yandal yapan öğrencilerin mümkün olduğunca derslerinin çakışmaması kısıtı olan Kısıt 4.16'nın alabileceği en fazla değer ise  $M \times N \times L \times K$  yani  $2 \times (N - 1) \times 5 \times 11 = 330$ 'dur. Bahsedilen her bir kısıt için

normalleştirme işlemi ise ilgili kısıtın sağlanamaması durumunda toplam aldığı değerin kısıtın sağlanamaması durumunda alabileceği en fazla değere bölümü şeklinde hesaplanmaktadır. Her bir kısıt için yapılan normalleştirme işlemi sonucunda elde edilen sonuçların toplamı amaç fonksiyonunu vermektedir.

### 5.2.2. Geliştirilen tavlama benzetimi algoritmasıyla çözüm

Tanımlanan örnek problem, küçük, orta ve büyük boyutlu problemlerde, Çizelge 4.2’de belirtilen parametre değerleri kullanılarak en uygun çözüm elde edilmeye çalışılmıştır. Her parametre değerinde problem beş kez çalıştırılmış ve çözüm değeri ile çözüm süresi en küçük olan sonuç alınmıştır. Örnek problemin sonucu Çizelge 5.11’de, küçük boyutlu problemin sonucu Çizelge 5.12’de, orta boyutlu problemin sonucu Çizelge 5.13’te, büyük boyutlu problemin sonucu Çizelge 5.14’te ve büyük boyutlu problemin mevcut durumu ve önerilen TB algoritmasıyla çözümünün sonucu Çizelge 5.15’te verilmiştir.

Çizelge 5.11. Örnek problemin TB algoritmasıyla çözümünün sonucu

$T_0$	$T_{son}$	$f_{baş}$	$\alpha$	$ts = N(sd)$	$sd = N$	Amaç fonksiyonu değeri	Çözüm süresi (sn.)
10	0	0.3196	0.05	10	100	0	25.15
10	0	0.3196	0.05	10	150	0	27.12
10	0	0.3196	0.05	10	200	0	26.54
10	0	0.3196	0.05	10	250	0	18.99
50	0	0.3196	0.05	10	100	0	21.18
50	0	0.3196	0.05	10	150	0	29.65
50	0	0.3196	0.05	10	200	0	32.87
50	0	0.3196	0.05	10	250	0	21.39
100	0	0.3196	0.05	10	100	0	18.17
100	0	0.3196	0.05	10	150	0	16.37
100	0	0.3196	0.05	10	200	0	15.95
100	0	0.3196	0.05	10	250	0	28.30

Çizelge 5.12. Küçük boyutlu problemin TB algoritmasıyla çözümünün sonucu

$T_0$	$T_{son}$	$f_{baş}$	$\alpha$	$ts = N(sd)$	$sd = N$	Amaç fonksiyonu değeri	Çözüm süresi (sn.)
10	0	0.6186	0.05	10	100	0.0095	463.38
10	0	0.6186	0.05	10	150	0.0075	682.05
10	0	0.6186	0.05	10	200	0.0126	827.23
10	0	0.6186	0.05	10	250	0.0055	1086.65

Çizelge 5.12.Küçük boyutlu problemin TB algoritmasıyla çözümünün sonucu (devam)

$T_0$	$T_{son}$	$f_{baş}$	$\alpha$	$ts = N(sd)$	$sd = N$	Amaç fonksiyonu değeri	Çözüm süresi (sn.)
50	0	0.6186	0.05	10	100	0.0075	412.57
50	0	0.6186	0.05	10	150	0.0075	607.14
50	0	0.6186	0.05	10	200	0.0136	825.98
50	0	0.6186	0.05	10	250	0.0015	1016.09
100	0	0.6186	0.05	10	100	0.0116	448.72
100	0	0.6186	0.05	10	150	0.010	664.88
100	0	0.6186	0.05	10	200	0.010	847.92
100	0	0.6186	0.05	10	250	0.0075	1046.98

Çizelge 5.13.Orta boyutlu problemin TB algoritmasıyla çözümünün sonucu

$T_0$	$T_{son}$	$f_{baş}$	$\alpha$	$ts = N(sd)$	$sd = N$	Amaç fonksiyonu değeri	Çözüm süresi (sn.)
10	0	0.6601	0.05	10	100	0.1055	528.07
10	0	0.6601	0.05	10	150	0.0838	865.18
10	0	0.6601	0.05	10	200	0.0878	1066.92
10	0	0.6601	0.05	10	250	0.1035	1409.15
50	0	0.6601	0.05	10	100	0.1136	614.22
50	0	0.6601	0.05	10	150	0.1151	889.78
50	0	0.6601	0.05	10	200	0.1256	1153.09
50	0	0.6601	0.05	10	250	0.1126	1372.97
100	0	0.6601	0.05	10	100	0.1055	556.38
100	0	0.6601	0.05	10	150	0.0914	791.99
100	0	0.6601	0.05	10	200	0.0984	1060.40
100	0	0.6601	0.05	10	250	0.0959	1368.57

Çizelge 5.14. Büyük boyutlu problemin TB algoritmasıyla çözümünün sonucu

$T_0$	$T_{son}$	$f_{baş}$	$\alpha$	$ts = N(sd)$	$sd = N$	Amaç fonksiyonu değeri	Çözüm süresi (sn.)
10	0	0.6924	0.05	10	100	0.2080	397.84
10	0	0.6924	0.05	10	150	0.1887	592.55
10	0	0.6924	0.05	10	200	0.1534	899.05
10	0	0.6924	0.05	10	250	0.1332	913.09
50	0	0.6924	0.05	10	100	0.2044	385.24
50	0	0.6924	0.05	10	150	0.1501	673.91
50	0	0.6924	0.05	10	200	0.1820	711.00
50	0	0.6924	0.05	10	250	0.1540	1010.10
100	0	0.6924	0.05	10	100	0.1762	405.41
100	0	0.6924	0.05	10	150	0.1701	565.40
100	0	0.6924	0.05	10	200	0.1831	747.77
100	0	0.6924	0.05	10	250	0.1506	1062.14

Çizelge 5.15. Büyük boyutlu problemin mevcut durumu ve önerilen TB algoritmasıyla çözümünün sonucu

	E1	E4	E6	ÇAP	Yandal	Amaç fonksiyonu değeri	Çözüm süresi
Mevcut durum	0.090	0.082	0.30	0.051	0.2181	0.7521	Yaklaşık 3-4 hafta
Önerilen TB algoritması (en başarılı sonuç)	0	0.05090	0	0.0202	0.0621	0.1332	913.09 sn.

Yapılan testler sonucunda, örnek problem GAMS 24.0.2 programı ile çözüldüğünde eniyi sonuca 75.19 saniyede ulaşılmıştır. Geliştirilen tavlama benzetimi algoritmasıyla başlangıç amaç fonksiyonu değeri 0.3196 olan örnek problem, yapılan denemeler arasında eniyi çözüm değeri ve çözüm süresine sahip parametre değerinde, eniyi çözüme ulaşma süresi 16.37 saniyedir.

Üç bölüm, elli yedi dersli küçük boyutlu problem için GAMS ile uygun çözüm bulunamamıştır. Çizelge 5.12’de görüleceği üzere küçük boyutlu problem TB algoritmasıyla çözüldüğünde yapılan testler arasında en başarılı sonuç olan 0.0055 amaç fonksiyonu değerine 1086.65 saniyede ulaşılmıştır.

Orta boyutlu ve büyük problem GAMS programında çözülemediği için geliştirilen TB algoritmasıyla çözülmüştür. Çizelge 5.13 incelendiğinde, dört bölüm yetmiş yedi dersten oluşan orta boyutlu problem, en başarılı sonuç olan 0.0838 amaç fonksiyonu değerine 865.18 saniyede ulaşılmıştır.

Beş bölüm yüz yedi dersten oluşan büyük boyutlu yani gerçek problemin TB algoritması sonuçlarının sunulduğu Çizelge 5.14’e bakıldığında, en başarılı sonuç olan 0.1332 amaç fonksiyonu değerine 913.09 saniyede ulaşılmıştır.

Yapılan testler sonucunda, örnek problem için her iki yöntemle de eniyi çözüme ulaşılmış fakat TB algoritmasının, çözüm süresi açısından daha avantajlı olduğu görülmüştür. Matematiksel modelin çözemediği problemler ise TB algoritması kullanılarak başarılı çözümler elde edilmiştir.

Gerçek hayat problemi olan büyük boyutlu problem, mevcut durumda sistematik bir çözüm yaklaşımı kullanılmadan oluşturulan çizelgede, bazı derslerin, dersi alabilecek öğrenci sayısından daha az kapasiteli sınıflara atandığı görülmektedir. Derslerin uygun kapasiteli dersliklere atandığı varsayıldığında mevcut durum amaç fonksiyonu değeri 0.7521'tür. Mevcut durum ve önerilen TB algoritmasının Çizelge 5.14'teki en başarılı çözüm değeri göz önüne alınarak hedeflerden sapma değerleri, çözüm değerleri ve çözüm süreleri Çizelge 5.15'te verilmiştir. Çizelge 5.15 incelendiğinde, mevcut durumda özellikle ÇAP ve yandal yapacak öğrencilerin ders çakışma sayısı fazla iken, TB algoritmasıyla çözüldüğünde mevcut duruma göre daha az çakışmanın olduğu görülmektedir. Başka bir hedef olan ardışık öğrenci gruplarının zorunlu derslerinin mümkün olduğunca çakışmaması hedefi yani E4 ise mevcut duruma göre TB algoritmasıyla yine daha az ders çakışmasının olduğu görülmektedir. Geliştirilen TB algoritmasıyla E1 ve E6 hedefleri sağlanmıştır. Sonuç olarak geliştirilen TB algoritmasıyla, bütün katı kısıtlar sağlanmış ve bütün esnek kısıtlar ise mümkün olduğunca sağlanmaya çalışılmıştır. Ayrıca, elle hazırlanan çizelgeye göre TB algoritmasıyla daha kısa sürede daha başarılı sonuçlar elde edilmiştir.

Bütün problemlerden elde edilen sonuçlara bakıldığında, örnek problem haricinde en başarılı sonuçlar başlangıç sıcaklığı ( $T_0$ ) "10" olduğu parametre kümelerinde elde edilmiştir. Örnek problemde atanacak ders sayısı az olduğundan geliştirilen TB algoritmasında hangi parametre kümesi kullanıldığında daha iyi sonuç vereceği tam olarak tahmin edilemediği görülmüştür. Ayrıca, elde edilen sonuçlara göre sıcaklık değişim sayısı yüksek olduğunda daha başarılı sonuçlar elde edildiği görülmüştür. Sonuç olarak, algoritma başlangıçta düşük bir sıcaklıkta başladığında ve yüksek sıcaklık değişim sayısında daha iyi çözüm değerine ulaşılmaktadır.

## 6.SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada, fakülte düzeyinde ders çizelgeleme problemi ele alınmıştır. Öğrencilerin ve öğretim üyelerinin isteklerinin karşılanması için öğle saati aralığında mümkün olduğunca öğrencilerin en az bir saat boşluğunun olması, ardışık öğrenci gruplarının zorunlu derslerinin mümkün olduğunca çakışmaması, öğrencilerin günlük alabileceği ders saati sayısının mümkün olduğunca sekiz saati geçmemesi ve son olarak ÇAP ve yandal yapan öğrencilerin ders çakışmalarının mümkün olduğunca en aza indirilmesi hedeflenen bu problem için bir hedef programlama modeli geliştirilmiştir. Geliştirilen matematiksel modelin işlerliği, oluşturulan örnek problem üzerinde sınanmıştır.

Ders atamasının yapılacağı bölüm ve ders sayısı arttığında yani problemin boyutu büyüdüğünde, geliştirilen matematiksel modelin problemi çözemediği görülmüştür. Bu sebeple büyük boyutlu problemlerin çözümü için bir tavlama benzetimi algoritması geliştirilmiştir. Oluşturulan örnek problem, küçük, orta ve büyük boyutlu problemler, geliştirilen tavlama benzetimi algoritması ile farklı parametre değerleri kullanılarak çözülmüştür.

Geliştirilen her iki çözüm yöntemiyle de eniyi çözümün elde edebildiği örnek problem için tavlama benzetimi algoritmasının çözüm süresinin daha kısa olduğu görülmüştür. Matematiksel modelin çözemediği büyüklükteki problemleri ise geliştirilen TB algoritması çözebilmiştir. Ayrıca gerçek hayat problemi olan büyük boyutlu problemin mevcut durumu ile geliştirilen TB algoritmasıyla çözümleri karşılaştırıldığında, geliştirilen TB algoritması çok kısa sürede daha başarılı sonuçlar vermiştir.

İlerleyen çalışmalarda, fakülte bazındaki ders çizelgeleme problemi için günün son zamanına ders atanmaması, öğrenci gruplarının günlük alacağı ders saati sayısının en az belirli bir saat kadar olması gibi yeni kısıtlar eklenebilir. Ele alınan problemin çözümü için farklı sezgisel, meta-sezgisel ya da melez algoritmalar kullanılabilir. Özellikle daha önce ÜDÇP çözümünde kullanılmamış bir meta-sezgisel ya da melez algoritma ÜDÇP problemin



özümü için kullanılabilir ve aynı zamanda geliştirilen TB algoritmasıyla da kıyaslanabilir. Son olarak, geliştirilen TB algoritması için farklı komşuluk yapıları geliştirilebilir.

## KAYNAKLAR DİZİNİ

- Abdelhalim E.A., El Khayat G.A., 2016, A utilization-based genetic algorithm for solving the university timetabling problem (UGA), Alexandria Engineering Journal, 55, 1395-1409.
- Abdullah S., Burke E.K., McCollum B., 2007, Using a randomised iterative improvement algorithm with composite neighbourhood structures for the university course timetabling problem, Metaheuristics Book, 153-169.
- Agahian S., 2012, Müfredat tabanlı üniversite ders çizelgeleme problemi için bir sürü zekâsı yaklaşımı, Yüksek lisans tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 102 s.
- Al-Betar M.A., Khader A.T., 2012, A harmony search algorithm for university course timetabling, Annals of Operations Research, 194, 3-31.
- Al-Tarawneh H.Y., Ayob M., 2011, Using tabu search with multi-neighborhood structures to solve university course timetable UKM case study (faculty of engineering), Third Conference on Data Mining and Optimization, 208-212.
- Altunay H., Eren T., 2016, Ders programı çizelgeleme problemi için 0-1 tamsayılı programlama modeli ve bir örnek uygulama, Uludağ Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi, 21, 2, 473-488.
- Altunay H., Eren, T., 2017, Ders programı çizelgeleme problemi için bir literatür taraması, Pamukkale Üniversitesi Mühendisliği Bilim Dergisi, 23, 1, 55-70.
- Akkan C., Gülcü A., 2018, A bi-criteria hybrid genetic algorithm with robustness objective for the course timetabling problem, Computers and Operations Research, 90, 22-32.
- Aycan E., 2008, Solving the course scheduling problem by constraint programming and simulated annealing, Yüksek lisans tezi, Mühendislik ve Fen Bilimleri Enstitüsü, 81 s.
- Aycan E., Ayav T., 2009, Solving the course scheduling problem using simulated annealing, 2009 IEEE International Advance Computing Conference, 462-466.
- Aziz R.A., Ayob M., Othman Z., 2012, The effect of learning mechanism in variables neighborhood search, Fourth Conference on Data Mining and Optimization, 109-113.
- Babaei H., Karimpour J., Hadidi A., 2015, A survey of approaches for university course timetabling problem, Computers and Industrial Engineering, 86, 43-59.

### KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Badoni R.P., Gupta D.K., Mishra P., 2014, A new hybrid algorithm for university course timetabling problem using events based on groupings of students, *Computers and Operations Research*, 78, 12–25.
- Bakır M.A., Aksop C., 2008, A 0-1 integer programming approach to a university timetabling problem, *Hacettepe Journal of Mathematics and Statistics*, 3, 1, 41–55.
- Bellio R., Ceschia S., Gaspero L.D., Schaerf A., Urli T., 2016, Feature-based tuning of simulated annealing applied to the curriculum-based course timetabling problem, *Computers and Operations Research*, 65, 83–92.
- Blöchliger I., Zufferey N., 2008, A graph coloring heuristic using partial solutions and a reactive tabu scheme. *Computers and Operations Research*, 35, 960–975.
- Bolaji A.L., Khader A.T., Al-Betar M.A., Awadallah M.A., 2014, University course timetabling using hybridized artificial bee colony with hill climbing optimizer, *Journal of Computational Science*, 5, 809-818.
- Borchani R., Elloumi A., Masmoudi M., 2017, Variable neighborhood descent search based algorithms for course timetabling problem: Application to a Tunisian University, *Electronic Notes in Discrete Mathematics*, 58, 119-126.
- Burke E.K., Petrovic S., Qu R., 2006, Case-based heuristic selection for timetabling problems, *Journal of Scheduling*, 9, 115-132.
- Burke E.K., Marecek J., Parkes A.J., Rudova H., 2008, Penalising patterns in timetables: Novel integer programming formulations, In J. Kalcsics, & S. Nickel (Eds.), *Operations research proceedings 2007*, 409-414. Springer Berlin Heidelberg. doi: 10.1007/ 978- 3- 540- 77903- 2 \_ 63.
- Can E., 2019, Çok amaçlı ders çizelgeleme probleminin çözümü için metasezgisel yaklaşım önerisi, Yüksek lisans tezi, Kütahya Dumlupınar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 87 s.
- Cambazard H., Hebrard E., O’Sullivan B., Papadopoulos A., 2012, Local search and constraint programming for the post enrolment-based timetabling problem. *Annals of Operational Research*, 194, 111-135.
- Ceschia S., Gaspero L.D., Schaerf A., 2012, Design, engineering, and experimental analysis of a simulated annealing approach to the post-enrolment course timetabling problem, *Computers and Operations Research*, 39, 1615–1624.
- Chen R.M., Shih H.F., 2013, Solving university course timetabling problems using constriction particle swarm optimization with local search, *Algorithms*, 6, 227-244.

### KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Cura T., 2007, Timetabling of faculty lectures using simulated annealing algorithm, İstanbul Ticaret Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi, 6, 12, 1-20.
- Cura T., 2008, Modern sezgisel teknikler ve uygulamaları, Papatya Yayıncılık, s.43.
- Çolak R., 2015, Sezgisel algoritmalarla ders programı çizelgeleme problemi çözümü, Yüksek lisans tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi, 96 s.
- Daskalaki S., Birbas T., Housos E., 2004, An integer programming formulation for a case study in university timetabling, European Journal of Operational Research, 153, 117–135.
- Demir Y., Çelik C., 2016, Müfredat bazlı akademik zaman çizelgeleme probleminin çözümüne tam sayılı doğrusal programlama yaklaşımı, Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi, 31, 1, 145-159.
- Dökeroğlu T., Sevinç E., Küçükyılmaz T., Coşar A., 2019, A survey on new generation metaheuristic algorithms, Computers and Industrial Engineering, 137, 106040.
- Eglese R.W., 1990, Simulated Annealing: A tool for Operational Research, European Journal of Operational Research, 46, 271-281.
- Ertane E., 2018, Çift anadal kısıtları altında ders çizelgeleme, Yüksek lisans tezi, Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 72 s.
- Ertuğrul İ., Öztaş G.Z., 2016, Ders programı oluşturulmasında 0-1 tam sayılı bulanık hedef programlama yaklaşımı, Niğde Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi, 9, 1, 159-177.
- Gunawan A., Ng K. M., Poh K. L., 2012, A hybridized Lagrangian relaxation and simulated annealing method for the course timetabling problem, Computers and Operations Research, 39, 3074-3088.
- Güner E., Altıparmak F., 2003, İki ölçütlü tek makinalı çizelgeleme problemi için sezgisel bir yaklaşım, Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi, 18, 3, 27-42.
- Goh S. L., Kendall G., Sabar N. R., 2017, Improved local search approaches to solve the post enrolment course timetabling problem, European Journal of Operational Research, 261, 17-29.
- Hossain, S.I., Akhand, M.A.H., Shuvo, M.I.R., Siddique, N., Adeli, H., 2019, Optimization of university course scheduling problem using particle swarm optimization with selective search, Expert Systems with Applications, 127, 9-24.

### KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Ismayilova N.A., Sağır M., Gasimov R. N., 2007, A multiobjective faculty–course–time slot assignment problem with preferences, *Mathematical and Computer Modelling*, 46, 7-8, 1017-1029.
- Jat S.N., Yang S., 2008, A memetic algorithm for the university course timetabling problem, *20th IEEE International Conference on Tools with Artificial Intelligence*, 1, 427-433, DOI: 10.1109/ICTAI.2008.126.
- Jat S.N., Yang S., 2009, A guided search genetic algorithm for the university course timetabling problem, *Multidisciplinary International Conference on Scheduling: Theory and Applications (MISTA 2009)*, 180-191.
- Joudaki M., Imani M., Mazhari N., 2011, Using improved memetic algorithm and local search to solve university course timetabling problem (UCTP), *Proceedings of the 2011 International Conference on Artificial Intelligence, ICAI 2011*.
- Kamışlı Öztürk Z., Kasımbeyli N., Sağır Özdemir M., Soyuöz Acar M., Özçetin E. vd., 2016, Kullanıcı tercihlerinin dikkate alınması durumunda üniversite ders çizelgeleme problemi, *Endüstri Mühendisliği Dergisi*, 27, 1, 2-16.
- Kirkpatrick S., Gelatt C. D., Vecchi M. P., 1983, Optimization by simulated annealing, *Science*, 220, 4598, 671-680.
- Kohshori M.S., Abadeh M.S., Sajedi H., 2011, A fuzzy genetic algorithm with local search for university course timetabling, *3rd International Conference on Data Mining and Intelligent Information Technology Applications, Coloane, Macao*.
- Komijan A.R., Koupaei M.N., 2015, A mathematical model for university course scheduling: a case study, *International Journal of Technical Research and Applications*, 19, 20-25.
- Kostuch P., 2005, The university course timetabling problem with a three-phase approach, *Practice and Theory of Automated Timetabling V-PATAT 2004, Lecture Notes in Computer Science*, 3616, 109-125.
- Kutucu H., Durgut R., 2018, Silah hedef atama problemi için tavlama benzetimli bir hibrit yapay arı kolonisi algoritması, *Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 22, Özel Sayı, 263-269.
- Kökçen H.G., Özdemir R., Ahlatcıoğlu M., 2014, Üniversite ders zaman çizelgeleme problemi için ikili tamsayılı bir model ve bir uygulama, *İstanbul Üniversitesi İşletme Fakültesi Dergisi*, 43, 1, 28-54.
- Lemos A., Melo F.S., Monteiro P.T., Lynce I., 2019, Room usage optimization in timetabling: A case study at Universidade de Lisboa, *Operations Research Perspectives*, 6, 100092.

### KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Lewis R., Paechter B., 2007, Finding feasible timetables using group-based operators, *IEEE Transactions on Evolutionary Computation*, 11, 3, 397-413.
- Lewis R., Thompson J., 2015, Analysing the effects of solution space connectivity with an effective metaheuristic for the course timetabling problem, *European Journal of Operational Research*, 240, 637-648.
- Lindahl M., Stidsen T., Sorensen M., 2019, Quality recovering of university timetables, *European Journal of Operational Research*, 276, 422-435.
- Lü Z., Hao J. K., 2010, Adaptive tabu search for course timetabling, *European Journal of Operational Research*, 200, 1, 235-244.
- Mansour N., El-Jazzar H., 2013, Curriculum Based Course Timetabling, *Ninth International Conference on Natural Computation*, 787-892.
- Mazlan M., Makhtar M., Khairi A.F.K.A., Mohamed M.A., 2019, University course timetabling model using ant colony optimization algorithm approach, *Indonesian Journal of Electrical Engineering and Computer Science*, 13, 1, 72-76.
- Metropolis N., Rosenbluth A.W., Rosenbluth M.N., Teller A.H., Teller E., 1953, Equation of state calculations by fast computing machines, *Journal of Chemical Physics*, 21, 6, 1087-1092.
- MirHassani S.A., 2006, A computational approach to enhancing course timetabling with integer programming, *Applied Mathematics and Computation*, 175, 814-822.
- Mirravazi S.K., Mardle S.J., Tamiz M., 2003, A two-phase multiple objective approach to university timetabling utilising optimisation and evolutionary solution methodologies, *Journal of the Operational Research Society*, 54, 1155-1166.
- Nagata Y., 2018, Random partial neighborhood search for the post-enrollment course timetabling problem, *Computers and Operations Research*, 90, 84-96.
- Nguyen K., Nguyen P., Tran N., 2012, A hybrid algorithm of harmony search and bees algorithm for a university course timetabling problem, *IJCSI International Journal of Computer Science Issues*, 9, 1, 12-17.
- Nikolaev A.G., Jacobson S.H., 2010, Simulated Annealing, *Handbook of Metaheuristic*, 1-39.
- Özkan A., 2019, Üniversite ders çizelgeleme probleminin tamsayı doğrusal programlama ve sezgisel yaklaşımlar ile çözümü, *Doktora tezi, Hacettepe Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü*, 119 s.

**KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)**

- Özyandı G., 2010, Ders çizelgeleme probleminin 0-1 tamsayı programlama tabanlı uygulaması, Yüksek lisans tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 74 s.
- Petrovic S., Burke E.K., 2004, University timetabling, *Handbook of Scheduling: Algorithms, Models and Performance Analysis*, 45.
- Pongcharoen P., Promtet W., Yenradee P., Hicks C., 2008, Stochastic optimisation timetabling tool for university course scheduling. *International Journal of Production Economics*, 112, 2, 903-918.
- Rossi-Doria O., Sampels M., Birattari M., Chiarandini M., Dorigo M., Gambardella L. M., Knowles J., Manfrin M., Mastrolilli M., Paechter B., Paechter L., Stützle T, 2003, A comparison of the performance of different metaheuristics on the timetabling problem, *Practice and theory of automated timetabling IV (PATAT 2002)*, Lecture Notes in Computer Science, 2740, 329-351.
- Sanchez-Partida D., Flores J. L. M., Olivares-Benitez E., 2014, An integer linear programming model for a university timetabling problem considering time windows and consecutive periods, *Journal of Applied Operational Research*, 6, 3, 158–173.
- Schaerf A., 1999, A survey of automated timetabling, *Artificial Intelligence Review*, 13, 87-127.
- Shaker K., Abdullah S., 2009, Incorporating great deluge approach with kempe chain neighbourhood structure for curriculum-based course timetabling problems, *Second Conference on Data Mining and Optimization*, 149-152.
- Shiau D. F., 2011, A hybrid particle swarm optimization for a university course scheduling problem with flexible preferences, *Expert Systems with Applications*, 38, 235-248.
- Socha K., Sampels M, Manfrin M., 2003, Ant algorithms for the university course timetabling problem with regard to the state-of-the-art, *Workshops on Applications of Evolutionary Computation, EvoWorkshops 2003: Applications of Evolutionary Computing*, 334-345.
- Song T., Liu S., Tang X., Peng X., Chen M., 2018, An iterated local search algorithm for the university course timetabling problem, *Applied Soft Computing* 68, 597-608.
- Soria-Alcaraz J.A., Ochoa G., Swan J., Carpio M, Puga H., Burke E.K., 2014, Effective learning hyper-heuristics for the course timetabling problem, *European Journal of Operational Research*, 238, 77-86.
- Soria-Alcaraz J.A., Özcan E., Swan J., Kendall G., Carpio M, 2016, Iterated local search using an add and delete hyper-heuristic for university course timetabling, *Applied Soft Computing*, 40, 581-593.

**KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)**

- Tuga M., Berretta R., Mendes A., 2007, A hybrid simulated annealing with kempe chain neighborhood for the university timetabling problem, 6th IEEE/ACIS International Conference on Computer and Information Science (ICIS 2007), 400–405, doi: 10.1109/ICIS.2007.25.
- Uçar U.Ü., 2015, Belirsizlik altında dinamik ders programı çizelgeleme: gerçek bir uygulama, Yüksek lisans tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 59 s.
- Vermuyten H., Lemmens S., Marques I., Belien J., 2016, Developing compact course timetables with optimized student flows, European Journal of Operational Research, 251, 651-661.
- Wren A., 1996, Scheduling, timetabling and rostering-a special relationship?, Practice and Theory of Automated Timetabling-PATAT 1995, Lecture Notes in Computer Science, 1153, 46-75.
- Yapıcı M.M., 2012, Genetik algoritma kullanılarak ders çizelgeleme yazılımının geliştirilmesi, Yüksek lisans tezi, Gazi Üniversitesi Bilişim Enstitüsü, 89 s.
- Yasari P., Ranjbar M., Jamili N., Shaelaie M.H., 2019, A two-stage stochastic programming approach for a multi-objective course timetabling problem with courses cancelation risk, Computers and Industrial Engineering, 130, 650-660.



**EK AÇIKLAMALAR**

Ek Açıklama-A: Antalya Bilim Üniversitesi Mühendislik Fakültesi 2018-2019 Güz

Dönemi Dersleri (Büyük Boyutlu Problemin Verileri)

Ek Açıklama-B: Derslik Bilgileri

Ek Açıklama-C: Küçük Boyutlu Problemin Verileri

Ek Açıklama-D: Orta Boyutlu Problemin Verileri

**Ek Açıklama-A: Antalya Bilim Üniversitesi Mühendislik Fakültesi 2018-2019 Güz Dönemi Dersleri (Büyük Boyutlu Problemin Verileri)**

**ZORUNLU DERSLER**

Bölüm	Öğrenci grubu	Ders kodu	Ders saati	Oturum sayısı	Öğretim üyesi	Dersi alabilecek öğrenci sayısı	Derslik tipi	
Bölüm 1: Endüstri Mühendisliği	1	MATH 101-1	4	2	Ö1	110	1	
		MATH 101 R1	1	1	Ö9	90	1	
		PHYS 101-1	3	2	Ö2	110	1	
		PHYS 101L1	3	1	Ö47	30	2	
		CS 101-1	3	2	Ö4	85	1	
		CS 101L1	2	1	Ö39	30	3	
		CHEM 101-1	3	2	Ö6	110	1	
		CHEM 101 R1	1	1	Ö6	100	1	
		GEN 100	1	1	Ö6	220	1	
		ENEN 101-1	4	2	Ö7	40	1	
	2	MATH 201	3	2	Ö1	160	1	
		MATH 211	3	2	Ö10	160	1	
		MATH 211R	1	1	Ö45	160	1	
		IE 201	3	2	Ö11	35	1	
		IE 201R	1	1	Ö46	35	1	
	3	IE 341	3	2	Ö12	40	1	
		IE 351	3	2	Ö11	40	1	
		IE 361	3	2	Ö10	40	1	
		IE 371	3	1	Ö13	45	1	
	4	IE 403	3	2	Ö12	40	1	
		IE 491	2	1	Ö11	40	1	
	Bölüm 2: Bilgisayar Mühendisliği	1	MATH 101-1	4	2	Ö1	110	1
			MATH 101 R1	1	1	Ö9	90	1
			PHYS 101-1	3	2	Ö2	110	1
PHYS 101L2			3	1	Ö48	30	2	
PHYS 101L3			3	1	Ö49	30	2	
CS 101-2			3	2	Ö4	85	1	
CS 101L2			2	1	Ö40	30	3	
CS 101L3			2	1	Ö41	30	3	
CHEM 101-1			3	2	Ö6	110	1	
GEN 100			1	1	Ö6	220	1	

Ek Açıklama-A: Antalya Bilim Üniversitesi Mühendislik Fakültesi 2018-2019 Güz Dönemi Dersleri (Büyük Boyutlu Problemin Verileri) (devam)

Bölüm	Öğrenci grubu	Ders kodu	Ders saati	Oturum sayısı	Öğretim üyesi	Dersi alabilecek öğrenci sayısı	Derslik tipi	
Bölüm 2: Bilgisayar Mühendisliği	1	CHEM 101 R1	1	1	Ö6	100	1	
		ENEN 101-2	4	2	Ö7	40	1	
		ENEN 101-3	4	2	Ö7	40	1	
	2	CS 201	3	2	Ö14	60	1	
		CS 201L1	2	1	Ö39	30	3	
		CS 201L2	2	1	Ö40	30	3	
		CS 102	3	2	Ö14	30	1	
		CS 102L	2	1	Ö40	30	3	
		MATH 201	3	2	Ö1	160	1	
		MATH 211	3	2	Ö10	160	1	
		MATH 211R	1	1	Ö45	160	1	
		CS 213	3	2	Ö15	40	1	
		EE 221-2	3	2	Ö32	50	4	
		EE 223-2	2	1	Ö51	30	4	
	3	CS 303	3	2	Ö16	40	1	
		CS 311	3	2	Ö17	40	1	
		CS 361	3	2	Ö5	40	1	
	4	CS 491	2	1	Ö17	30	1	
	Bölüm 3: İnşaat Mühendisliği	1	MATH 101-2	4	2	Ö1	110	1
			MATH 101 R2	1	1	Ö9	90	1
PHYS 101-2			3	2	Ö3	110	1	
PHYS 101L4			3	1	Ö50	30	2	
PHYS 101L5			3	1	Ö51	30	2	
CS 101-3			3	2	Ö5	85	3	
CS 101L4			2	1	Ö42	30	3	
CS 101L5			2	1	Ö43	30	3	
CHEM 101-2			3	2	Ö6	110	1	
CHEM 101 R2			1	1	Ö6	100	1	
GEN 100			1	1	Ö6	220	1	
ENEN 101-4			4	2	Ö8	40	1	
ENEN 101-5			4	2	Ö8	40	1	
2		MATH 201	3	2	Ö1	160	1	
		MATH 211	3	2	Ö10	160	1	
		MATH 211R	1	1	Ö45	160	1	
		CIVE 201	3	1	Ö18	90	1	
		CIVE 211	2	1	Ö19	90	1	
		CIVE 241	3	1	Ö20	80	1	
		CIVE 242	3	1	Ö20	80	1	
3		CIVE 321	3	2	Ö18	85	1	
		CIVE 331	3	2	Ö21	80	1	

Ek Açıklama-A: Antalya Bilim Üniversitesi Mühendislik Fakültesi 2018-2019 Güz Dönemi Dersleri (Büyük Boyutlu Problemin Verileri) (devam)

Bölüm	Öğrenci grubu	Ders kodu	Ders saati	Oturum sayısı	Öğretim üyesi	Dersi alabilecek öğrenci sayısı	Derslik tipi	
Bölüm 3: İnşaat Mühendisliği	3	CIVE 332	3	1	Ö22	70	1	
		CIVE 341	3	1	Ö23	75	1	
		CIVE 343	3	1	Ö24	65	1	
		CIVE 351	3	1	Ö25	65	1	
	4	CIVE 453	3	2	Ö26	55	1	
		CIVE 461	3	1	Ö27	55	1	
CIVE 492		3	1	Ö28	35	1		
Bölüm 4: Elektrik ve Elektronik Mühendisliği	1	MATH 101-2	4	2	Ö1	110	1	
		MATH 101 R2	1	1	Ö9	90	1	
		PHYS 101-2	3	2	Ö3	110	1	
		PHYS 101L6	3	1	Ö52	30	2	
		CS 101-1	3	2	Ö4	85	1	
		CS 101L6	2	1	Ö44	30	3	
		CHEM 101-2	3	2	Ö6	110	1	
		CHEM 101 R2	1	1	Ö6	100	1	
		GEN 100	1	1	Ö6	220	1	
	ENEN 101-6	4	2	Ö8	40	1		
	2	MATH 201	3	2	Ö1	160	1	
		MATH 211	3	2	Ö10	160	1	
		MATH 211R	1	1	Ö45	160	1	
		EE 211	4	2	Ö29	50	1	
		EE 201	4	2	Ö30	50	1	
		EE 203-1	2	1	Ö47	25	4	
		EE 203-2	2	1	Ö47	25	4	
		GEN 200	3	1	Ö31	90	1	
		EE 221-1	3	2	Ö32	60	1	
		EE 223-1	2	1	Ö50	30	4	
		EE 223-3	2	1	Ö51	30	4	
	3	MATH 311	3	2	Ö3	40	1	
		EE 301	4	2	Ö32	45	1	
		EE 341	3	2	Ö30	45	1	
	4	IE 491	2	1	Ö2	35	1	
		ENEN 401	3	1	Ö2	35	1	
	Bölüm 5: Makine Mühendisliği	1	MATH 101-1	4	2	Ö1	110	1
			MATH 101 R1	1	1	Ö9	90	1
			PHYS 101-1	3	2	Ö2	110	1
			PHYS 101L7	3	1	Ö53	30	2
CS 101-3			3	2	Ö5	85	1	
CS 101L7			2	1	Ö45	30	3	

Ek Açıklama-A: Antalya Bilim Üniversitesi Mühendislik Fakültesi 2018-2019 Güz Dönemi Dersleri (Büyük Boyutlu Problemin Verileri) (devam)

Bölüm	Öğrenci grubu	Ders kodu	Ders saati	Oturum sayısı	Öğretim üyesi	Dersi alabilecek öğrenci sayısı	Derslik tipi
Bölüm 5: Makine Mühendisliği	1	CHEM 101-1	3	2	Ö6	110	1
		CHEM 101 R1	1	1	Ö6	100	1
		GEN 100	1	1	Ö6	220	1
		ENEN 101-7	4	2	Ö8	40	1

SEÇMELİ DERSLER

Bölüm	Ders kodu	Ders saati	Oturum sayısı	Öğretim üyesi	Dersi alabilecek öğrenci sayısı	Derslik tipi
Endüstri Mühendisliği	IE 405	3	1	Ö33	35	1
	IE 407	3	1	Ö33	35	1
	IE 433	3	1	Ö33	35	1
	IE 401	3	1	Ö13	80	1
	IE 409	3	1	Ö11	35	1
Bilgisayar Mühendisliği	CS 431	3	2	Ö17	45	1
	CS 472	3	2	Ö15	45	1
	CS 441	3	2	Ö16	45	1
	CS 415	3	2	Ö10	44	1
İnşaat Mühendisliği	CIVE 411	3	1	Ö19	50	1
	CIVE 423	3	2	Ö28	50	1
	CIVE 433	3	1	Ö22	50	1
	CIVE 456	3	1	Ö24	50	1
	CIVE 465	3	1	Ö27	50	1
	CIVE 490	3	1	Ö34	50	1
	CIVE 471	3	1	Ö26	40	1
Elektrik ve Elektronik Mühendisliği	EE 361	3	1	Ö35	45	1
	EE 401	4	2	Ö36	45	1
	EE 401L	2	1	Ö36	45	4
	EE 411	4	2	Ö29	45	1
	EE 474	3	1	Ö37	45	1
	EE 476	3	1	Ö37	45	1
	EE 432	3	1	Ö38	45	1

**Ek Açıklama-B: Derslik Bilgileri**

Derslik adı	Derslik tipi	Derslik kapasitesi
A1-01	Normal (1)	40
A1-03	Normal (1)	40
A1-04	Normal (1)	64
A1-06	Normal (1)	68
A1-09	Elektrik Elektronik Laboratuvarı (4)	30
A1-11	Bilgisayar Laboratuvarı (3)	44
A1-12	Bilgisayar Laboratuvarı (3)	44
A1-14	Normal (1)	48
A1-76	Amfi (1)	234
A1-90	Amfi (1)	144
A1-92	Amfi (1)	99
A1-95	Normal (1)	40
A2-01	Normal (1)	40
A2-03	Normal (1)	40
A2-04	Normal (1)	52
A2-06	Normal (1)	52
A2-09	Normal (1)	52
A2-11	Normal (1)	52
A2-13	Normal (1)	52
A2-16	Normal (1)	40
A2-76	Amfi (1)	234
A2-89	Amfi (1)	112
A2-91	Amfi (1)	84
A2-93	Normal (1)	40
A2-94	Normal (1)	64
AG-52	Normal (1)	30
AG-09	Normal (1)	40
AG-10	Normal (1)	40
AG-12	Normal (1)	40
AG-13	Normal (1)	40
AG-16	Fizik Laboratuvarı (2)	28

**Ek Açıklama-C: Küçük Boyutlu Problemin Verileri**  
**ZORUNLU DERSLER**

Bölüm	Öğrenci grubu	Ders kodu	Ders saati	Oturum sayısı	Öğretim üyesi	Dersi alabilecek öğrenci sayısı	Derslik tipi
Bölüm 1: Endüstri Mühendisliği	1	MATH 101-1	4	2	Ö1	95	1
		PHYS 101-1	3	2	Ö2	95	1
		PHYS 101L1	3	1	Ö47	28	2
		CS 101-1	3	2	Ö4	40	1
		CS 101L1	2	1	Ö39	30	3
		CHEM 101-1	3	2	Ö6	95	1
		GEN 100	1	1	Ö6	120	1
	ENEN 101-1	4	2	Ö7	40	1	
	2	MATH 201	3	2	Ö1	130	1
		MATH 211	3	2	Ö10	130	1
		IE 201	3	2	Ö11	35	1
		IE 201 R	1	1	Ö46	30	1
	3	IE 341	3	2	Ö12	40	1
		IE 351	3	2	Ö11	40	1
		IE 361	3	2	Ö10	40	1
	4	IE 403	3	2	Ö12	40	1
		IE 491	2	1	Ö11	30	1
Bölüm 2: Bilgisayar Mühendisliği	1	MATH 101-1	4	2	Ö1	95	1
		PHYS 101-1	3	2	Ö2	95	1
		PHYS 101L2	3	1	Ö48	28	2
		CS 101-2	3	2	Ö4	40	1
		CS 101L2	2	1	Ö40	30	3
		CHEM 101-1	3	2	Ö6	95	1
		GEN 100	1	1	Ö6	120	1
	ENEN 101-2	4	2	Ö7	40	1	
	2	CS 201	3	2	Ö14	30	1
		CS 201L1	2	1	Ö39	30	3
		MATH 201	3	2	Ö1	130	1
		MATH 211	3	2	Ö10	130	1
		EE 221-2	3	2	Ö32	35	1
		EE 223-2	2	1	Ö51	30	4
	3	CS 303	3	2	Ö16	40	1
		CS 311	3	2	Ö17	40	1
		CS 361	3	2	Ö5	40	1
	4	CS 491	2	1	Ö17	30	1
	Bölüm 3: İnşaat Mühendisliği	1	MATH 101-2	4	2	Ö1	50
PHYS 101-2			3	2	Ö3	50	1
PHYS 101L4			3	1	Ö50	28	2
CS 101-3			3	2	Ö5	40	1
CS 101L4			2	1	Ö42	30	3

## Ek Açıklama-C: Küçük Boyutlu Problemin Verileri (devam)

Bölüm	Öğrenci grubu	Ders kodu	Ders saati	Oturum sayısı	Öğretim üyesi	Dersi alabilecek öğrenci sayısı	Derslik tipi
Bölüm 3: İnşaat Mühendisliği	1	CHEM 101-2	3	2	Ö6	50	1
		GEN 100	1	1	Ö6	120	1
		ENEN 101-4	4	2	Ö8	40	1
	2	MATH 201	3	2	Ö1	130	1
		MATH 211	3	2	Ö10	130	1
		CIVE 201	3	1	Ö18	80	1
		CIVE 211	2	1	Ö19	80	1
	3	CIVE 241	3	1	Ö20	70	1
		CIVE 321	3	2	Ö18	70	1
		CIVE 331	3	2	Ö21	70	1
		CIVE 341	3	1	Ö23	70	1
	4	CIVE 351	3	1	Ö25	60	1
		CIVE 453	3	2	Ö26	55	1
		CIVE 461	3	1	Ö27	55	1
		CIVE 492	3	1	Ö28	35	1

## SEÇMELİ DERSLER

Bölüm	Ders kodu	Ders saati	Oturum sayısı	Öğretim üyesi	Dersi alabilecek öğrenci sayısı	Derslik tipi
Endüstri Mühendisliği	IE 405	3	1	Ö33	35	1
	IE 401	3	1	Ö13	80	1
	IE 409	3	1	Ö11	35	1
Bilgisayar Mühendisliği	CS 431	3	2	Ö17	45	1
	CS 472	3	2	Ö15	45	1
	CS 441	3	2	Ö16	45	1
	CS 415	3	2	Ö10	45	1
İnşaat Mühendisliği	CIVE 411	3	1	Ö19	50	1
	CIVE 456	3	1	Ö24	50	1
	CIVE 465	3	1	Ö27	50	1
	CIVE 490	3	1	Ö34	50	1



**Ek Açıklama-D: Orta Boyutlu Problemin Verileri**  
**ZORUNLU DERSLER**

Bölüm	Öğrenci grubu	Ders kodu	Ders saati	Oturum sayısı		Öğretim üyesi	Dersi alabilecek öğrenci sayısı	Derslik tipi
Bölüm 1:Endüstri Mühendisliği	1	MATH 101-1	4	2	2	Ö1	90	1
		MATH 101 R1	1	1	0	Ö9	90	1
		PHYS 101-1	3	2	1	Ö2	90	1
		PHYS 101L1	0	3	0	Ö47	28	2
		CS 101-1	3	2	1	Ö4	90	1
		CS 101L1	2	2	0	Ö39	30	3
		CHEM 101-1	3	2	1	Ö6	90	1
		GEN 100	1	1	0	Ö6	150	1
	ENEN 101-1	4	2	2	Ö7	40	1	
	2	MATH 201	3	2	1	Ö1	150	1
		MATH 211	3	2	1	Ö10	150	1
		IE 201	3	2	1	Ö11	35	1
	3	IE 341	3	2	1	Ö12	40	1
		IE 351	3	2	1	Ö11	40	1
		IE 371	3	3	0	Ö13	45	1
	4	IE 403	3	2	1	Ö12	40	1
		IE 491	2	2	0	Ö11	30	1
	Bölüm 2: Bilgisayar Mühendisliği	1	MATH 101-1	4	2	2	Ö1	90
MATH 101 R1			1	1	0	Ö9	90	1
PHYS 101-1			3	2	1	Ö2	90	1
PHYS 101L3			3	3	0	Ö49	28	2
CS 101-2			3	2	1	Ö4	90	1
CS 101L2			2	2	0	Ö40	30	3
CHEM 101-1			3	2	1	Ö6	90	1
GEN 100			1	1	0	Ö6	150	1
ENEN 101-2			4	2	2	Ö7	40	1
2		CS 201	3	2	1	Ö14	30	1
		CS 201L1	2	2	0	Ö39	30	3
		CS 102	3	2	1	Ö14	30	1
		CS 102L	2	2	0	Ö40	30	3
		MATH 201	3	2	1	Ö1	150	1
		MATH 211	3	2	1	Ö10	150	1
		CS 213	3	2	1	Ö15	40	1
		EE 221-2	3	2	1	Ö32	35	1
		EE 223-2	2	2	0	Ö51	30	4
3		CS 303	3	2	1	Ö16	40	1
		CS 311	3	2	1	Ö17	40	1
		CS 361	3	2	1	Ö5	40	1
4		CS 491	2	2	0	Ö17	30	1

## Ek Açıklama-D: Orta Boyutlu Problemin Verileri (devam)

Bölüm	Öğrenci grubu	Ders kodu	Ders saati	Oturum sayısı	Öğretim üyesi	Dersi alabilecek öğrenci sayısı	Derslik tipi
Bölüm 3: İnşaat Mühendisliği	1	MATH 101-2	4	2	Ö1	90	1
		MATH 101 R2	1	1	Ö9	90	1
		PHYS 101-2	3	2	Ö3	90	1
		PHYS 101L5	3	1	Ö51	28	2
		CS 101-2	3	2	Ö5	90	1
		CS 101L5	2	1	Ö43	30	3
		CHEM 101-2	3	2	Ö6	90	1
		GEN 100	1	1	Ö6	150	1
	ENEN 101-4	4	2	Ö8	40	1	
	2	MATH 201	3	2	Ö1	150	1
		MATH 211	3	2	Ö10	150	1
		CIVE 201	3	1	Ö18	75	1
		CIVE 241	3	1	Ö20	75	1
		CIVE 242	3	1	Ö20	75	1
	3	CIVE 321	3	2	Ö18	70	1
		CIVE 331	3	2	Ö21	70	1
		CIVE 332	3	1	Ö22	70	1
	4	CIVE 351	3	1	Ö25	70	1
		CIVE 453	3	2	Ö26	55	1
		CIVE 461	3	1	Ö27	55	1
		CIVE 492	3	1	Ö28	35	1
Bölüm 4: Elektrik ve Elektronik Mühendisliği	1	MATH 101-2	4	2	Ö1	90	1
		MATH 101 R2	1	1	Ö9	90	1
		PHYS 101-2	3	2	Ö3	90	1
		PHYS 101L6	3	1	Ö52	28	2
		CS 101-1	3	2	Ö4	90	1
		CS 101L6	2	1	Ö44	30	3
		CHEM 101-2	3	2	Ö6	90	1
		GEN 100	1	1	Ö6	150	1
		ENEN 101-6	4	2	Ö8	40	1

## Ek Açıklama-D: Orta Boyutlu Problemin Verileri (devam)

Bölüm	Öğrenci grubu	Ders kodu	Ders saati	Oturum sayısı	Öğretim üyesi	Dersi alabilecek öğrenci sayısı	Derslik tipi
Bölüm 4:Elektrik ve Elektronik Mühendisliği	2	MATH 201	3	2	Ö1	150	1
		MATH 211	3	2	Ö10	150	1
		EE 211	4	2	Ö29	40	1
		EE 201	4	2	Ö30	40	1
		EE 203-1	2	1	Ö47	30	4
		GEN 200	3	1	Ö31	70	1
		EE 221-1	3	2	Ö32	35	1
		EE 223-1	2	1	Ö50	35	4
	3	MATH 311	3	2	Ö3	40	1
		EE 301	4	2	Ö32	40	1
		EE 341	3	2	Ö30	40	1
	4	IE 491	2	1	Ö2	30	1
		ENEN 401	3	1	Ö2	30	1

## SEÇMELİ DERSLER

Bölüm	Ders kodu	Ders saati	Oturum sayısı	Öğretim üyesi	Dersi alabilecek öğrenci sayısı	Derslik tipi
Bölüm 1	IE 405	3	1	Ö33	35	1
	IE 407	3	1	Ö33	35	1
	IE 433	3	1	Ö33	35	1
Bölüm 2	CS 431	3	2	Ö17	45	1
	CS 472	3	2	Ö15	45	1
	CS 441	3	2	Ö16	45	1
	CS 415	3	2	Ö10	44	1
Bölüm 3	CIVE 411	3	1	Ö19	50	1
	CIVE 423	3	2	Ö28	50	1
	CIVE 433	3	1	Ö22	50	1
	CIVE 456	3	1	Ö24	50	1
Bölüm 4	EE 361	3	1	Ö35	45	1
	EE 474	3	1	Ö37	45	1
	EE 476	3	1	Ö37	45	1