



**ÇOK AMAÇLI AKADEMİK ZAMAN
ÇİZELGELEME PROBLEMİ İÇİN ÇÖZÜM
ÖNERİLERİ**

Yunus DEMİR

**Doktora Tezi
Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı
Prof. Dr. Cafer ÇELİK
2018
Her Hakkı Saklıdır**

**ATATÜRK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

DOKTORA TEZİ

**ÇOK AMAÇLI AKADEMİK ZAMAN ÇİZELGELEME PROBLEMİ
İÇİN ÇÖZÜM ÖNERİLERİ**

Yunus DEMİR

ENDÜSTRİ MÜHENDİLİĞİ ANABİLİM DALI

**ERZURUM
2018**

Her hakkı saklıdır



T.C.
ATATÜRK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ



TEZ ONAY FORMU

**ÇOK AMAÇLI AKADEMİK ZAMAN ÇİZELGELEME PROBLEMİ İÇİN
ÇÖZÜM ÖNERİLERİ**

Prof. Dr. Cafer ÇELİK danışmanlığında, **Yunus DEMİR** tarafından hazırlanan bu çalışma **18/01/2018** tarihinde aşağıdaki jüri tarafından. Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı'nda Doktora tezi olarak **oybirliği** ile kabul edilmiştir.

Başkan : Prof. Dr. Mehmet AKTAN

İmza :

Üye : Prof. Dr. İrfan KAYMAZ

İmza :

Üye : Prof. Dr. Cafer ÇELİK

İmza :

Üye : Yrd. Doç. Dr. M. Emre KESKİN

İmza :

Üye : Yrd. Doç. Dr. Kemal ALAYKIRAN

İmza :

Yukarıdaki sonuç;

Enstitü Yönetim Kurulunun 01 / 02 / 2018 tarih ve 5 / 40 nolu kararı ile onaylanmıştır.

Prof. Dr. Cavit KAZAZ
Enstitü Müdürü

Bu çalışma BAP projesi kapsamında desteklenmiştir.
Proje No: 2015/365

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

ÖZET

Doktora Tezi

ÇOK AMAÇLI AKADEMİK ZAMAN ÇİZELGELEME PROBLEMİ İÇİN ÇÖZÜM ÖNERİLERİ

Yunus DEMİR

Atatürk Üniversitesi
Fen Bilimler Enstitüsü
Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Cafer ÇELİK

Akademik zaman çizelgeleme problemi (AZÇP), üniversiteden üniversiteye hatta aynı üniversitenin fakülteleri arasında farklılık gösterdiğinden, 25 yıldır yoğun bir şekilde çalışılmasına rağmen halen popülaritesini korumaktadır. Problemin bu değişken yapısı nedeniyle, literatürde AZÇP için önerilen yaklaşımlar, sadece ilgili fakültenin veya en fazla ilgili üniversitenin ihtiyaçlarını karşılayacak şekilde yerel düzeyde çözümler üretmektedir.

Bu çalışmada, farklı ihtiyaçlara duyarlı, birçok üniversiteye hitap edecek, esnek yapıda bir çözüm yaklaşımı önerilmiştir. Önerilen yaklaşım, tam sayılı programlama temelli olup, ihtiyaçlara göre kısıtların veya amaçların kullanıcı tarafından belirlenebildiği dinamik bir yapıdadır. Kabul edilir zamanda çözüme ulaşmak için problem ders atama ve derslik atama olmak üzere iki alt probleme ayrılarak hiyerarşik bir şekilde ele alınmıştır. Ayrıca bu çalışmada probleme ait verileri girebilmek, zaman çizelgesi için fakülteye özgü kısıt ve amaçları tanımlayabilmek ve sonuçları görüntüleyebilmek için WEB tabanlı bir karar destek sistemi (KDS) hazırlanmıştır. Kullanıcı dostu bir arayüze sahip olan WEB tabanlı KDS, sürükle bırak yapıdaki akıllı planlama ekranı ile kullanıcıya, manuel olarak zaman çizelgesi hazırlama imkânı da vermektedir. Geliştirilen KDS, Atatürk Üniversitesi Mühendislik Fakültesi ders çizelgeleme işlemlerinde denenmiş ve sonuçları raporlanmıştır.

2018, 111 sayfa

Anahtar Kelimeler: Akademik zaman çizelgeleme, ders çizelgeleme, çok amaçlı optimizasyon, tam sayılı programlama

ABSTRACT

Ph.-D. Thesis

SOLUTION PROPOSALS FOR MULTI-OBJECTIVE ACADEMIC TIMETABLING PROBLEM

Yunus DEMİR

Atatürk University
Faculty of Engineering
Department of Industrial Engineering

Supervisor: Prof. Dr. Cafer ÇELİK

Academic timetabling problem (ATP) can be different from university to university even in faculties at the same university due to the diversity in academic systems. For this reason, ATP has been studied for 25 years in operations research literature and it is still maintaining its popularity. Because of the alternating structure of this problem, approaches proposed in the literature for ATP can only find solution in local level to meet only the need of related faculty or at most, related university.

In this study an approach is proposed which is in a flexible structure, sensitive to different requirements and applicable in many universities. The proposed approach, based on integer programming has a dynamic structure as so users can define constraints and objectives according to their own needs. To reach a solution in polynomial time, the main problem is handled by separating two sub problems, namely lecture assignment and classroom assignment. Additionally, a WEB based decision support system (DSS) is prepared to enter problem data, define constraints and objectives specific to faculty, and display the results. WEB based DSS which has a user-friendly interface also enables users to prepare timetables manually with drag & drop structured smart screen. Developed DSS was tested at Faculty of Engineering at Atatürk University and the results were reported in this thesis.

2018, 111 pages

Keywords: Academic timetabling problem, lecture scheduling, multi-objective optimization, integer programming

TEŞEKKÜR

Çalışmalarım boyunca değerli yardım ve katkılarıyla beni yönlendiren hocam Sayın Prof. Dr. Cafer ÇELİK'e, geliştirilen sistemin fakültemizde denenmesine izin vererek sistemin olgunlaşmasına büyük katkılar sağlayan Sayın Dekanımız Prof. Dr. Hikmet Altun'a, değerli zamanlarını ayırarak tezi inceleyen tez izleme komitesindeki hocalarım Sayın Prof. Dr. İrfan Kaymaz'a ve Sayın Yrd. Doç. Dr. M. Emre Keskin'e ve manevi desteğiyle beni hiçbir zaman yalnız bırakmayan eşime teşekkürü bir borç bilirim.

Yunus DEMİR

Ocak, 2018

İÇİNDEKİLER

ÖZET.....	i
ABSTRACT	ii
TEŞEKKÜR	iii
İÇİNDEKİLER	iv
SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ	vi
ŞEKİLLER DİZİNİ	vii
ÇİZELGELER DİZİNİ	viii
1. GİRİŞ.....	1
2. KAYNAK ÖZETLERİ	5
2.1. Tez içerisinde Kullanılan Temel Kavramlar	5
2.2. Zaman Çizelgeleme Problemi	8
2.3 Udine Zaman Çizelgeleme Problemi	11
2.4. MBZÇP için Literatür Taraması.....	12
2.4.1. Tam sayılı programlama temelli çalışmalar	12
2.4.2. MBZÇP için geliştirilen KDS'ler.....	22
3. MATERYAL ve YÖNTEM.....	27
3.1. Notasyonlar	27
3.1.1. İndis ve setler.....	27
3.1.2. Parametreler.....	29
3.1.3. Karar değişkenleri	30
3.2. Test İçin Ele Alınan Problemin Tanımı	32
3.2.1. Varsayımlar	32
3.2.2. Kısıtlar	33
3.2.2.a Derslere ilişkin kısıtlar.....	33
3.2.2.b Öğrencilere ilişkin kısıtlar	34
3.2.2.c Öğretim üyelerine ilişkin kısıtlar	34
3.2.2.d Dersliklere ilişkin kısıtlar	35
3.3. Ön Çalışma: Zaman Eksenlerine Göre Matematiksel Modelleme Yaklaşımları	35
3.3.1. Kesikli zamanlı gösterime dayalı matematiksel model	38
3.3.2. Sürekli zamanlı gösterime dayalı matematiksel model	39
3.3.3. Her iki yaklaşımın karşılaştırılması ve değerlendirme.....	41

3.4. Hiyerarşik Tam Sayılı Programlama Yaklaşımı	43
3.5. Geliştirilen Tam Sayılı Modeller.....	47
3.5.1. Ders atama modeli (Model 1).....	47
3.5.2. Derslik atama modeli (Model 2)	54
3.6. Çok Amaçlı MBZÇP İçin KDS Tasarımı.....	55
3.6.1. KDS'ler ve Temel Bileşenleri	56
3.6.2. MBZÇP için WEB tabanlı KDS: acadeMix.....	58
3.6.2.a acadeMix KDS'ne genel bakış	59
3.6.2.b acadeMix KDS'nin diyalog yönetimi.....	63
3.6.2.c acadeMix KDS'nin veri yönetimi.....	68
3.6.2.d acadeMix KDS'nin model yönetimi.....	69
4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA.....	71
4.1. OZÇ'nin Performans Analizi	71
4.2. Farklı Amaç Ağırlıkları ile OZÇ'nin Koşumu ve Sonuçların Değerlendirilmesi.....	76
4.3. Farklı Sürelerde OZÇ'nin Koşumu ve Sonuçların Değerlendirilmesi	78
4.4. Koşum Sonucu Oluşturulan Ders Çizelgesi ile Koordinatörlerin Manuel Hazırladığı Ders Çizelgesinin, Derslik Kullanımı Açısından Karşılaştırılması.....	79
5. SONUÇ	82
KAYNAKLAR	87
EKLER.....	92
EK 1	101
EK 2	93
EK 3	97
ÖZGEÇMİŞ.....	101

SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

AZÇP	Akademik zaman çizelgeleme problemi
BHW	Bonczek, Holsapple, Whinston
DS	Diyalog sistem
GDS	Grup destek sistemi
GKDS	Grup karar destek sistemi
ITC	International timetabling conference
	Uluslararası zaman çizelgeleme konferansı
KBZÇP	Kayıt bazlı zaman çizelgeleme problemi
KDS	Karar destek sistemi
MBZÇP	Müfredat bazlı zaman çizelgeleme problemi
MYS	Model yönetim sistemi
MZÇ	Manuel zaman çizelgeleme
OZÇ	Otomatik zaman çizelgeleme
VTYS	Veri tabanı yönetim sistemi
VYS	Veri yönetim sistemi
YDS	Yönetici destek sistemleri

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 2.1. Zaman çizelgeleme probleminin (ZÇP) sınıflandırılması.....	10
Şekil 3.1. Kesikli planlama ekseninde ders çizelgelenmesi.....	36
Şekil 3.2. Sürekli planlama ekseninde ders çizelgelenmesi.....	37
Şekil 3.3. Sistemin bileşenleri ve işleyişi.....	45
Şekil 3.4. Denklem 3.31'in işleyişi	49
Şekil 3.5. Denklem 3.37'nin işleyişi	51
Şekil 3.6. KDS bileşenleri.....	56
Şekil 3.7. acadeMix modülleri	58
Şekil 3.8. acadeMix genel yapısı.....	59
Şekil 3.9. Derslik bilgilerinin girildiği ekran	63
Şekil 3.10. Dönemlik ders bilgilerinin girildiği ekran	64
Şekil 3.11. Manuel ders çizelgeleme için tasarlanan akıllı ekran	66
Şekil 3.12. Manuel sınav çizelgeleme için tasarlanan akıllı ekran	67
Şekil 3.13. Model yönetim bileşeninin işleyişi	68
Şekil 3.14. Kısıt seçim ekranı	69

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 2.1. Matematiksel modelleme temelli çalışmaların öne çıkan bazı ayırt edici kısıtlara göre sınıflandırılması.....	19
Çizelge 2.2. Matematiksel modelleme temelli çalışmaların eniyilemeye çalıştıkları amaçlara göre sınıflandırılması.....	20
Çizelge 2.3. “ <i>Derslerin haftalık ders çizelgesine dağılımının belirlenen tercihler doğrultusunda yapılması</i> ” amacına yönelik detaylar.....	21
Çizelge 2.4. MBZÇP için geliştirilen KDS’ler	24
Çizelge 3.1. Üretilen test problemlerine ait bilgiler.....	40
Çizelge 3.2. Model boyutu ve CPU kullanımı açısından kesikli/sürekli zamanlı yaklaşımların karşılaştırılması	41
Çizelge 4.1. Farklı performans kriterleri açısından OZÇ ile MZÇ sonuçlarının karşılaştırılması	71
Çizelge 4.2. OZÇ ile elde edilen çizelgelemede detaylı sonuçlar.....	73
Çizelge 4.3. MZÇ ile elde edilen detaylı sonuçlar	74
Çizelge 4.4. Performans kriterlerine göre amaç fonksiyonu ağırlıkları	75
Çizelge 4.5. Farklı ağırlık kombinasyonları için karşılaştırılmalı sonuçlar	76
Çizelge 4.6. Farklı koşum süreleri için performans kriterlerinde gözlenen değişim miktarı	77
Çizelge 4.7. Bölüm ders programları için kapasite üstü derslik kullanımına ait veriler (MZÇ)	78
Çizelge 4.8. Bölümlerin ders programları için derslik doluluk oranları (MZÇ).....	79
Çizelge 4.9. Farklı ağırlık katsayıları için manuel çizelgeleme ve optimizasyon modeli ile çizelgelemede elde edilen derslik kullanım oranları.....	80

1. GİRİŞ

Akademik zaman çizelgeleme problemi (AZÇP), hem araştırmacılar hem de uygulayıcılar tarafından yoğun bir şekilde çalışılmakta olan bir çalışma alanıdır. AZÇP genel manada; belirli özelliklere sahip derslerin önceden belirlenmiş kısıtlar çerçevesinde, zaman dilimlerine ve dersliklere atanması şeklinde tanımlanabilir. Üniversite yönetimleri, her dönem çözülmesi gereken bu problem için uzun zaman ve büyük insan kaynağı harcamaktadır. Problem, belirli amaçlar ve durumlarla ilişkili çok sayıda öğrenci, eğitmen, ders ve derslik gibi bileşenleri içerdiğinden, çözümü için geliştirilen süreçler çok sayıda kısıt ve değişkeni dikkate almak zorundadır. Genel olarak NP (Non-polinomial)-Zor olduğu ispatlanan (Cooper and Kingston 1996) bu problemin yapısı akademik sistemlerdeki çeşitlilikten dolayı her ülkede, hatta aynı ülkenin yükseköğrenim sistemi içerisindeki üniversitelerde bile farklılık göstermektedir. Bu sebeplerden dolayı AZÇP, son 25 yıldır yöneylem araştırması literatüründe en çok çalışılan konulardan olup günümüzde de popüleritesini korumaktadır (Alvarez-Valdes *et al.* 2002).

Literatürde genel olarak AZÇP'ler iki ana başlık altında incelenmektedir. ITC 2002 ve ITC 2007* uluslararası zaman çizelgeleme yarışmalarına konu olan problem tiplerinden birincisi, kayıt bazlı zaman çizelgeleme problemi (KBZÇP), diğeri ise müfredat bazlı zaman çizelgeleme problemidir (MBZÇP). KBZÇP'de öğrencilerin dersleri tercih etme hakkı vardır. Bir nevi öğrenci müfredatı kendi belirler ve zaman çizelgeleme, öğrencilerin ders tercihleri yapıldıktan sonra yapılır. MBZÇP'de ise zaman çizelgeleme, önceden belirlenmiş zaman dilimi ve derslik bilgisine ve yine önceden planlanmış müfredata göre yapılır. Bu iki problem tipi arasındaki en önemli farklılık; kısıtlar ve amaç fonksiyonunun MBZÇP'de müfredata göre, KBZÇP'de kayıt olan öğrencilere göre şekillendirilmesidir (Ceschia *et al.* 2012).

* http://www.cs.qub.ac.uk/itc2007/index_files/competitiontracks.htm

Bu doktora tezi kapsamında MBZÇP'ye odaklanılmıştır. Bu problem üniversiteden üniversiteye, hatta her fakülte için farklılık arz ettiğinden genel bir çözüm sunmak pek de mümkün değildir. Bir amaca tamamen ulaşamazsa, bütünüyle terkedilmez yaklaşımı ile bu tez kapsamında MBZÇP'ye mümkün olduğunca (en azından ülkemiz üniversitelerini kapsayacak şekilde) çözüm olacak bir çalışma yapılmıştır.

Bu tarzda genele hitap edecek bir yaklaşım geliştirmek için kullanılan arayüz ve çözüm yönteminin oldukça esnek bir yapıda olması gerekmektedir. Aynı zamanda geliştirilecek yaklaşımın, NP-Zor yapıda olan ve genelde çok büyük boyuttaki MBZÇP'ye kabul edilebilir zamanda çözüm üretmesi gerekmektedir.

Literatürde MBZÇP için, ağırlıklı olarak meta-sezgisel veya tam sayılı modelleme yaklaşımları önerildiği görülmektedir. Meta-sezgisel yaklaşımlar NP-Zor yapıdaki optimizasyon problemlerinin çözümü için sıklıkla başvurulanan bir yöntemdir. Kesin çözümü garanti etmezler, ancak kabul edilebilir zamanda kaliteli çözümler verebilirler. Meta-sezgisel yaklaşımlar, problemdeki değişimlerden doğrudan etkilenir. Başka bir deyişle problemde meydana gelebilecek değişikliklere duyarlılığı oldukça sınırlıdır. Bu durum MBZÇP'nin çözümü için meta-sezgisellerin olumsuz bir yönü olarak karşımıza çıkmaktadır.

MBZÇP'nin çözümü için literatürde sıklıkla başvurulanan bir diğer yaklaşım, tam sayılı programlama temelli tekniklerdir. Tam sayılı programlama, meta-sezgisellere göre çok daha esnektir. Bu yaklaşım, modele kısıt ekleyip çıkartılarak veya mevcut kısıtlar üzerinde ağırlıklandırma gibi düzenlemeler yapılarak, problemde meydana gelebilecek değişikliklere çok rahat uyum sağlayabilir. Kesin çözüm veren bu yaklaşım NP-Zor problemlerde sadece çok küçük boyutlar için çözüm verebilmektedir. Literatürde büyük boyutlu problemlerin çözümü için; lagrangian, benders, kolon türetme gibi ayrıştırma metotlarına başvurulduğu görülmektedir. Ancak bu tekniklerin işleyişi modelin yapısı ile doğrudan bağlantılıdır ve problemde meydana gelebilecek değişikliklere duyarlılıkları oldukça sınırlıdır.

Bu tez kapsamında MBZÇP'nin çözümü için, hem içerdiği çözüm yaklaşımı hem de arayüzüyle oldukça esnek WEB tabanlı bir karar destek sistemi (KDS) geliştirilmiştir. *acadeMix* ismi verilen KDS, fakültelerin sisteme değil, sistemin fakültelere rahatlıkla uyarlanabildiği bir çözüm olarak tasarlanmıştır. Üstün teknik alt yapısı ve açık platformu sayesinde üzerinde kolaylıkla geliştirme yapabilme imkânı sunmaktadır. Bu sayede hem kullanan fakülte yönetimi hem de sistemi sürdürmekle görevli uzmanlar var olan çözüm yaklaşımını ve arayüzü, süreçlere uygun hale getirmek, gerekirse ek fonksiyonlar geliştirmek için sınırsız imkâna kavuşmaktadırlar. Sistem; veri girişi için kullanıcı dostu WEB arayüzü, kısıt kütüphanesi, optimizasyon alt sistemi, manuel ders çizelgesi hazırlama alt sistemi ve raporlama alt sistemi olmak üzere beş bileşenden oluşmaktadır.

Tezin ana unsuru olan optimizasyon alt sisteminde hiyerarşik tam sayılı programlama yaklaşımı kullanılmıştır. Bu yaklaşım ile meta-sezgisellerin çözüm hızı ve tam sayılı programlama yaklaşımının esnekliğinden faydalanılarak mümkün olduğunca genele hitap edecek ve kabul edilebilir zamanda çözüm üretebilecek bir çözüm ortaya konulmaya çalışılmıştır. Geliştirilen yaklaşımda problem oturum atama ve derslik atama olmak üzere iki alt parçaya ayrılarak ele alınmıştır. İki alt parça arası iletişim geliştirilen yazılım ile sağlanmıştır.

Ders çizelgeleme, sınav çizelgeleme ve gözetmen atama işlemlerini etkin bir şekilde yürütmek için hazırlanan ve *acadeMix* ismi verilen sistem www.acade-mix.com adresinden hizmet vermektedir. Bu tez kapsamında sadece ders çizelgeleme modülünden bahsedilecektir.

Çalışma 5 bölüm halinde organize edilmiştir. İkinci bölümde konunun anlaşılabilirliğini artırmak üzere önce konu ile ilgili kavramlara açıklık getirilmiştir. Daha sonra zaman çizelgeleme problemleri sınıflandırılarak ele alınmış ve literatürde sıklıkla çalışılan Udine zaman çizelgeleme problemine değinilmiştir. Daha sonra MBZÇP ile ilgili literatüre yer verilmiştir. Öncelikle tam sayılı programlama temelli yaklaşımları içeren çalışmalar taranmış, içerdikleri kısıtlar ve amaç fonksiyonlarına göre sınıflandırılarak

izelgeler halinde sunulmuştur. Daha sonra MBZÇP'nin çözümünde KDS kullanan çalışmalar taranmış; geliştirildikleri üniversite, ülke, geliştirilme yılı ve çözüm için kullandıkları tekniklere göre sınıflandırılarak izelge halinde sunulmuştur.

Tezin omurgasını oluşturan üçüncü bölümde alt başlıklar halinde sırasıyla; test için ele alınan problem açıklanmış, uygun modelleme tekniğini belirlemek üzere bir ön çalışma yapılmış, MBZÇP için önerilen hiyerarşik tam sayılı programlama yaklaşımının işleyişinden bahsedilmiş, oturum ve derslik atama alt problemleri için geliştirilmiş tam sayılı modeller sunulmuş ve son olarak tasarlanan KDS detaylı bir şekilde açıklanmıştır.

Dördüncü bölümde MBZÇP'nin çözümü için önerilen hiyerarşik tam sayılı programlama yaklaşımının Atatürk Üniversitesi Mühendislik Fakültesi ders çizelgeleme işlerinde denenmesi ile elde edilen sonuçlar tartışılmıştır.

Beşinci bölümde ise yapılan çalışma ve elde edilen sonuçlar ile ilgili değerlendirmelere yer verilmiştir. Ulaşılan bilgi ve deneyimler esas alınarak gelecekte yapılabilecek çalışmalardan bahsedilmiş ve öneriler yapılmıştır.

2. KAYNAK ÖZETLERİ

Bu bölümde öncelikle üç alt başlık altında, zaman çizelgeleme probleminin kuramsal temelleri oluşturulmuştur. İlk alt başlıkta, tez içerisinde zaman çizelgeleme problemi ile ilgili sıkça kullanılan kavramlar açıklanmıştır. İkinci alt başlıkta zaman çizelgeleme problemi sınıflandırılarak tanıtılmıştır. Üçüncü alt başlıkta zaman çizelgeleme literatüründe en çok karşılaşılan problem tipi olan Udine zaman çizelgeleme problemine yer verilmiştir. Daha sonra, tez ile ilişkili olarak tam sayılı programlama temelli çalışmalar ve içeriğinde KDS barındıran çalışmalar taranmış ve çeşitli sınıflandırmalar yapılarak detaylı bilgi verilmiştir.

2.1. Tez içerisinde Kullanılan Temel Kavramlar

Bu bölümde, anlaşılabilirliği artırmak üzere çalışma içerisinde kullanılan bazı kavramlara açıklık getirilmiştir.

Müfredat grubu:

Aynı müfredatı (zorunlu veya seçmeli derslerden oluşan ders paketini) almak zorunda olan öğrenci grubudur. Örneğin makine mühendisliği bölümü ikinci sınıf öğrencileri bir müfredat grubudur.

Oturum:

Bir dersin kesintisiz bir şekilde bir veya birden fazla ders süresi boyunca devam eden kısmıdır. Dersler tek oturumda veya birden fazla oturumda yapılabilir. Örneğin 4 saatlik bir ders tek oturumda, yani 4 saati kesintisiz bir şekilde aynı gün verilebilirken, farklı günlerde olmak üzere ikişer saatlik parçalar halinde de verilebilir.

Fakülte dersleri:

Fakülte bünyesindeki tüm bölümlerden öğrencilerin alabileceği seçmeli derslerdir. Teknik veya sosyal seçmeli olmak üzere ikiye ayrılır.

Ön atanmış dersler:

Hangi saatlerde ve hangi derslikte yapılacağı önceden belirlenen derslerdir. Bu derslere ait atanma bilgileri, ders çizelgeleme için hazırlanmış modele parametre olarak girilir. Fakülte yöneticileri veya fakülte dışından gelen öğretim üyelerine ait dersler bu ders tipine örnek olarak verilebilir.

Çok gruplu ders:

Kayıtlı öğrenci sayısı çok fazla olduğunda birden fazla grup halinde (Fizik-A, Fizik-B gibi) verilen derstir.

Esnek kısıtlar (soft constraints):

Gerçekleşmesinden kaçınılan durumların ifadesinde kullanılan kısıtlardır. Bu kısıtların ihlali çözümü olursuz yapmaz. Belirlenen kriterler çerçevesinde daha kaliteli çizelgeler üretmek için kullanılırlar. Bir öğretim üyesine art arda üç saatten fazla ders atanmaması, bu kısıt tipine örnek verilebilir.

Zorunlu kısıtlar (hard constraints):

İhlali durumunda çözümü olursuz hale getiren kısıtlardır. Aynı anda bir dersliğe iki ayrı dersin atanması, bu kısıt tipine örnek verilebilir.

Çakışma:

Aynı gün aynı periyota atanan oturumları ifade eder. Bu çalışmada çakışma, yönetsel çakışma, derslik çakışması ve öğretim üyesi çakışması olmak üzere üçe ayrılmıştır.

Yönetsel çakışma:

Fakülte yönetimince belirlenen kuralların ihlalinden kaynaklanan çakışmadır. Bunlardan ilki, aynı müfredat grubunun zorunlu derslerine ait oturumların çakışmasıdır. Olursuz bir çözüm oluşturduğundan dolayı zaman çizelgeleme sürecinde bu tip çakışmaya kesinlikle izin verilmemektedir. Bu durumu ifade etmek için, çalışmanın devam eden kısımlarında “*yasak çakışma*” ifadesi kullanılacaktır.

Diğeri, aynı müfredat grubundaki seçmeli veya çok gruplu derslere ait oturumların çakışması veya ardışık müfredat gruplarındaki derslere ait oturumların çakışmasıdır. Çakışması mümkün olduğunca engellenmek istenen bu gibi durumları ifade etmek için, çalışmanın devam eden kısımlarında “*esnek çakışma*” ifadesi kullanılacaktır. Öğrenci, aynı müfredattaki seçmeli derslerden sadece birine ve çok gruplu derslerden bir gruba kayıt olabilmektedir. Dolayısıyla bu derslerin çakışması pratik olarak bir problem teşkil etmemektedir. Ancak hem kendi hem de alt müfredat grubundan ders alan öğrenciler dikkate alındığında, bu derslere ait oturumların çakışması, öğrenci için ders seçeneklerini azalttığından istenmeyen bir durumdur. Benzer durum, aynı bölüm, ardışık müfredat gruplarına ait oturumların çakışması için de geçerlidir. Özetle bu çakışma tipinin önlenmesi ile öğrencilerin hem kendi, hem de alt veya üst müfredat gruplarından dersler alabilmeleri sağlanmış olacaktır.

Derslik çakışması:

Bir dersliğe aynı anda birden fazla oturumun atanmasıdır. Farklı iki oturum, aynı anda bir derslikte işlenemeyeceğinden bu çakışma bir yasak çakışmadır.

Öğretim üyesi çakışması:

Bir öğretim üyesi tarafından verilen derslere ait oturumların, aynı gün aynı zaman dilimine atanması ile oluşan çakışmadır. Aynı anda bir öğretim üyesi farklı oturumlarda olamayacağından öğretim üyesi çakışması yasak çakışmadır.

Manuel zaman çizelgeleme (MZÇ):

Zaman çizelgelerinin, koordinatörler tarafından el ile hazırlandığı süreçtir.

Otomatik zaman çizelgeleme (OZÇ):

Hazırlanan optimizasyon modeli ile zaman çizelgelerinin oluşturulduğu süreçtir.

2.2. Zaman Çizelgeleme Problemi

Bu bölümde ilk olarak, çizelgeleme literatüründe sıklıkla kullanılan ve bazen karıştırılan; sıralama (*sequencing*), çizelgeleme (*scheduling*) ve zaman çizelgeleme (*timetabling*) kavramlarına açıklık getirilmiştir. Daha sonra zaman çizelgeleme problemleri sınıflandırılarak bu tezde ele alınan akademik zaman çizelgeleme probleminin (AZÇP) literatürdeki yeri belirlenmiştir.

Sıralama ve çizelgeleme, kısıtlı kaynakların kısıtlı bir zaman ekseninde çeşitli işlere tahsis edilmesidir (Pinedo 1995). Sıralama, işlerin zaman ekseninde hangi sırayla yapılacağı sorusunu araştırır. Çizelgeleme ise işin tam olarak ne zaman işlem göreceği sorusuna cevap aramaktadır.

Genel olarak zaman çizelgeleme (*timetabling*) problemi, belirli sayıda işin sınırlı sayıdaki zaman dilimine belirli kısıtlar altında atanması şeklinde tanımlanabilir. *Scheduling* ve *timetabling* kavramları dilimize çizelgeleme olarak aynı manada çevrilse de aralarında farklılıklar bulunmaktadır.

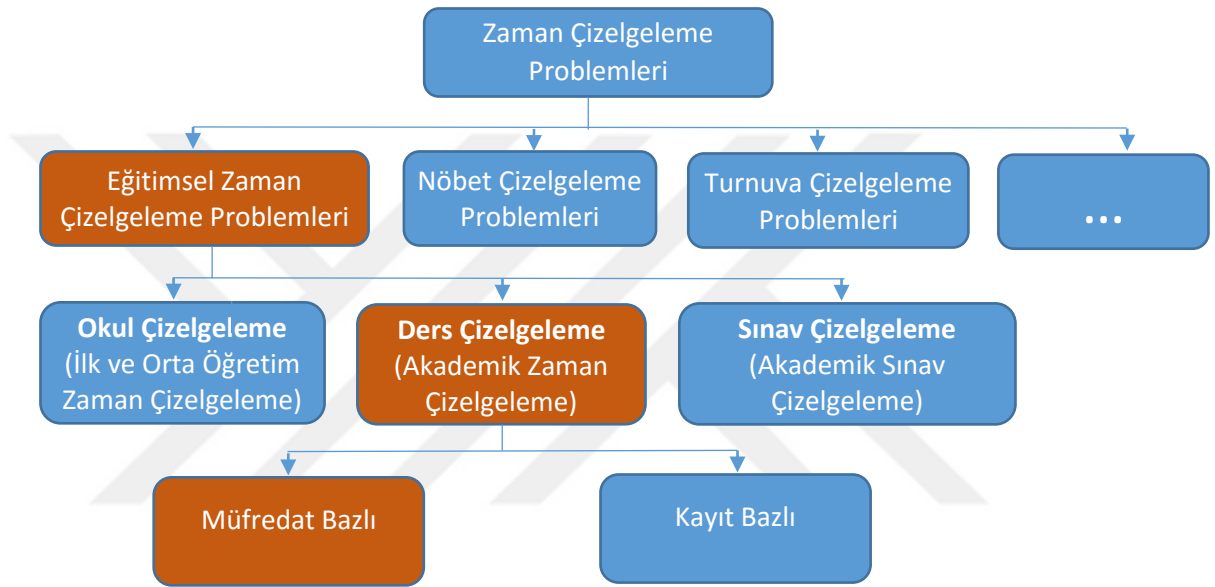
Çizelgelemede (*scheduling*) zaman eksenini sınırsız iken, zaman çizelgelemede (*timetabling*) sınırlıdır. Çizelgelemede (*scheduling*) zaman eksenini sürekliyken, zaman çizelgelemede (*timetabling*) kesiklidir. Yani çizelgelemede (*scheduling*) işlemlerin, kısıtlı kaynakları belirli kısıtlar altında hangi zaman aralığında kullanacağı bulunmaya çalışılırken, zaman çizelgelemede (*timetabling*) işlemlerin belirli kısıtlar altında daha önce tespit edilmiş zaman aralıklarından hangisine atanacağı bulunmaktadır. Çizelgeleme (*scheduling*) problemlerine, makine çizelgeleme, parti büyüklüğü (lot) çizelgeleme, proje çizelgeleme, hava yolu çizelgeleme problemleri örnek verilebilir. Zaman çizelgelemeye (*timetabling*) ise eğitimsel zaman çizelgeleme (*educational timetabling*), nöbet, vardiya ve turnuva çizelgeleme problemleri örnek verilebilir.

Eğitimsel zaman çizelgeleme problemi için literatürde çeşitli sınıflandırmalar yapılmıştır (Schaerf 1999; Burke *et al.* 2004; Petrovic and Burke 2004). Bunlardan en yaygın olanı Schaerf (1999) tarafından yapılan sınıflandırmadır (Şekil 2.1). Buna göre, eğitimsel zaman çizelgeleme probleminin üç gruba ayrıldığı sınıflandırma şu şekildedir:

I. Okul çizelgeleme (*School timetabling*): Bir okulun sınıflarının haftalık olarak çizelgelendiği problemlerdir. Bu problem tipinde, öğretmenler aynı anda bir sınıfa atanamaz veya bir sınıfa birden fazla öğretmen atanamaz. İlk ve orta öğretim okullarının ders çizelgelerinin hazırlanması bu sınıf kapsamındadır.

II. Ders çizelgeleme (*Course timetabling*): Aynı müfredatı alan öğrenci gruplarına ait derslerin en az çakışacak şekilde çizelgelenmesi problemidir. Üniversitelerin ders çizelgelerinin hazırlanması bu sınıf kapsamındadır.

III. Sınav çizelgeleme (*Examination timetabling*): Aynı müfredatı alan öğrenci gruplarına ait derslerin sınavlarının çakışmayacağı bir şekilde sınav çizelgelerinin oluşturulması problemidir. Bu problem tipinde sınavların mümkün olduğunca hafta içerisinde dağıtılması amaçlanmaktadır. Fakültelerin veya yüksekokulların sınav çizelgelerinin oluşturulması bu sınıf kapsamındadır.



Şekil 2.1. Zaman çizelgeleme probleminin (ZÇP) sınıflandırılması

Bu tez içerisinde ele alınan problem, Schaerf (1999) tarafından ders çizelgeleme olarak isimlendirilen iki numaralı problem sınıfına girmektedir. Bu problem tipi de ITC 2002 ve ITC 2007 uluslararası zaman çizelgeleme yarışmalarında iki alt gruba ayrılmıştır.

Bunlardan birincisi, kayıt bazlı zaman çizelgeleme problemi (KBZÇP) (Socha *et al.* 2002; Chiarandini *et al.* 2006; Burke *et al.* 2007; Lewis *et al.* 2007; Al-Milli 2010; Nothegger *et al.* 2012), diğeri ise müfredat bazlı zaman çizelgeleme problemidir (MBZÇP). KBZÇP’de öğrenciler devam etmek istedikleri dersleri kendileri belirlerler ve zaman çizelgeleme, öğrenciler almak istedikleri dersleri seçtikten sonra yapılır. MBZÇP’de ise zaman çizelgeleme, önceden planlanmış müfredata göre yapılmaktadır. Bu iki problem tipi arasındaki en önemli farklılık; kısıtlar ve amaç fonksiyonunun

MBZÇP’de müfredata göre, KBZÇP’de kayıt olan öğrencilere göre şekillendirilmesidir (Ceschia *et al.* 2012).

Bu tez kapsamında ele alınan problem, müfredat bazlı zaman çizelgeleme problemidir. Günümüze kadar araştırmacılar tarafından birçok MBZÇP tanımlanmıştır. Bölüm 2.3’te Udine zaman çizelgeleme problemi olarak da bilinen ve 2007 yılında akademik zaman çizelgeleme alanında düzenlenmiş (ITC 2007) yarışmada tanımlanan en genel MBZÇP sunulmuş (Di Gaspero *et al.* 2007), Bölüm 2.4’te literatürdeki diğer çalışmalar, çözüm için kullandıkları metotlara göre gruplandırılarak, incelenmiştir.

2.3 Udine Zaman Çizelgeleme Problemi

Bu problem, AZÇP’nin literatürde en çok çalışılan versiyonudur (Mareček 2009; Burkea *et al.* 2010; Lü and Hao 2010; Abdullah and Turabieh 2012; Cacchiani *et al.* 2013; Thepphakorn *et al.* 2014). Udine zaman çizelgeleme problemi, 2003 yılında Di Gaspero and Schaerf (2003) tarafından tanıtılmış probleme, derslik tutarlılığı kısıtının ilave edilmesiyle oluşturulmuştur. Bu yarışmada katılımcılardan; veri setindeki her dersin her oturumunun haftalık zaman çizelgesine, belirtilmiş kısıtlar çerçevesinde atanması istenmiştir (Di Gaspero *et al.* 2007). Veri seti İtalya Udine Üniversitesi’nden alındığı için Udine ders çizelgeleme problemi olarak da adlandırılan bu problemde kısıtlar, zorunlu ve esnek kısıtlar olmak üzere iki grup altında toplanmıştır. Zorunlu kısıtlar, ihlal edilmesi kesinlikle istenmeyen durumları ifade etmektedir. Esnek kısıtlar ise ihlalleri mümkün olduğunca engellenmek istenen durumları ifade etmektedir. Bu yarışmada katılımcılardan, esnek kısıtlarda meydana gelen ihlallerin enküçüklenmesi istenmiştir. Aşağıda, problemde tanımlanan dört zorunlu (Z1-Z4) ve dört esnek kısıt (E1-E4) sunulmuştur:

Zorunlu Kısıtlar:

- Z1. Dersler: Bütün dersler haftalık ders programına en fazla bir dersliğe olacak şekilde atanmalıdır.
- Z2. Derslik Doluluğu: Aynı anda bir dersliğe iki oturum atanamaz.
- Z3. Ders Çakışması: Aynı müfredat grubuna ait derslerin oturumları veya aynı öğretim üyesi tarafından verilen derslerin oturumları çakışamaz. Yani, öğrenciler ve öğretim üyeleri açısından çakışma kabul edilemez.
- Z4. Uygun Olma: Bir öğretim üyesi her hangi bir nedenden dolayı belirli bir zaman dilimi için uygun değilse, o zaman diliminde öğretim üyesine ait hiçbir ders atanamaz.

Esnek Kısıtlar:

- E1. Derslik Kapasitesi: Derslik kapasitesi, dersi alan öğrenci sayısından küçük olamaz.
- E2. Derslik Tutarlılığı: Bir dersin bütün oturumları aynı dersliğe atanmalıdır. Eğer bu mümkün değilse ilgili derse atanan derslik sayısı en az tutulmalıdır.
- E3. Minimum Çalışma Günü: Bir dersin oturumları haftalık ders programı içerisine önceden verilen minimum gün sayısı kadar dağılmalıdır.
- E4. Müfredat Yoğunluğu: Bir oturumun atandığı periyodun öncesinde veya sonrasında boş bir periyot varsa, bu bir ihlal sayılır. Yani öğrenciler açısından oturumlar arası boşluk olmayan bir program hazırlanmalıdır.

2.4. MBZÇP için Literatür Taraması

MBZÇP ile ilgili literatürde birçok tarama çalışması (Schaerf 1999; Altunay ve Eren 2017; Petrovic and Burke 2004; Gülcü 2014; Öztürk 2010) bulunduğundan, bu bölümde sadece tam sayılı programlama ve KDS temelli çalışmalar taranmıştır.

2.4.1. Tam sayılı programlama temelli çalışmalar

MBZÇP'nin çeşitli versiyonları için birçok matematiksel model geliştirilmiştir. Ancak problemin her akademik sistem için değişen yapısı nedeniyle, literatürdeki bütün problemlerin çözümüne hitap edecek genel bir model bulunmamaktadır.

Bu bölümde MBZÇP'ye tam sayılı programlama tekniği ile çözüm arayan çalışmalar incelenmiştir. Öncelikle incelenen çalışmaların kullandıkları yaklaşımlara kısaca yer verilmiş, daha sonra çalışmalar kısıtlara ve amaç fonksiyonlarına göre sınıflandırılmıştır.

MBZÇP'ye matematiksel modelleme tekniği ilk defa Akkoyunlu (1972) tarafından önerilmiştir. Bu çalışmanın en dikkat çeken özelliği derslik atamanın ihmal edilmiş olmasıdır.

Burkea *et al.* (2010), Cacchiani *et al.* (2013), Lach and Lübbecke (2012) literatürde en çok bilinen 2007 uluslararası zaman çizelgeleme yarışmasında (ITC) kullanılan ve Udine ders çizelgeleme problemi (Di Gaspero *et al.* 2007) olarak bilinen problem için matematiksel model geliştirmişlerdir.

Henz and Würtz (1996)'ün Almanya Katolik Sosyal Hizmetler Koleji'nde yaptığı çalışmada, dersler oturum süresine göre 45 ve 90 dakika olmak üzere ikiye ayrılmıştır. 45 dakikalık dersler arasında 15 dakika, 90 dakikalık dersler arasında 30 dakika ara verilmesi gerekmektedir. Bu çalışmada göze çarpan diğer kısıtlar ise şu şekildedir: Dört yıllık eğitim veren programda her sınıf için farklı zamanlarda öğle arası verilmektedir. Bazı dersler önceden belirlenen bir sıraya göre zaman çizelgesine atanmalıdır. Aynı günde veya farklı günlerde işlenmesi gereken bazı ders grupları bulunmaktadır. Okulda görev alan iki öğretim üyesi, sırayla çocuk bakım izni kullandığından, bu iki öğretim üyesine aynı anda ders atanamamaktadır. Yazarlar problemi çözmek için kısıt programlama yaklaşımını benimsenmiş ve Oz kısıt dilini kullanmışlardır.

Münih Üniversitesi Bilgisayar Bilimleri Bölümü'nde Abdennadher *and* Marte (2000) tarafından yapılan çalışmada dikkat çeken kısıtlar şu şekildedir: Pazartesi günü öğleden sonra toplantı olduğundan profesörlere ders atanmamalıdır. Bölüm, beş alt birime ayrılmıştır ve aynı birimdeki dersler birbiriyle çakışmamalıdır. Yazarlar ele aldıkları problemi, kısıtların ağırlıklandırıldığı kısıt tatmin problemi şeklinde modellemişlerdir.

Daskalaki *et al.* 2004 Yunanistan Patras Üniversitesi, Elektrik ve Bilgisayar Mühendisliği Bölümü'nde yaptıkları çalışmada öğretim üyeleri, derslerini vermek istediği gün ve zaman dilimlerini seçebilmek ve bu dersleri tek veya çok oturumda yapabilmek gibi esnekliğe sahiptirler. Bu çalışmada dikkat çeken bir başka farklı kısıt ise, amfilerde işlenecek derslerin arka arkaya atanmasıyla, derslik değişimlerinin enküçüklenmeye çalışılmasıdır. Ayrıca bazı derslerin hangi gün ve hangi zaman dilimine atanacağı önceden bilinmekte (pre-assignment) ve probleme parametre olarak girilmektedir. Çalışmada, öğrencilerin zaman çizelgelerinin gün içerisinde mümkün olduğunca toplu olması ve öğrencilerin rahat dinlenebilmesi için öğle saati civarlarının mümkün olduğunca boşaltılması hedeflenmiştir.

Dimopoulou and Miliotis (2004) Atina Ekonomi ve İşletme Üniversitesi'nde yaptıkları çalışmada, problemi alt parçalara ayırarak ele almışlardır. Çözüm için, her bir parçanın farklı bir bilgisayar tarafından çözdürüldüğü dağıtık hesaplama tekniği kullanmışlardır. Çözüm yaklaşımları üç aşamalı bir yapıdan oluşmaktadır. Önce tüm bölümler tarafından alınan fakülte ortak dersleri çizelgelenmekte, sonra dersleri ayrı ayrı çizelgelemek yerine belirli derslerin toplamını ifade eden ders grupları (bölümler) çizelgelenmektedir. Son olarak ders grupları (bölümler) içerisinde oluşan çakışmalar tekrar ele alınmaktadır. Yazarlar bu çalışmada öğretim üyelerinin memnuniyet düzeyini enbüyüklemeye çalışmışlardır.

Mirhasani (2006), İran Shahrood Teknoloji Üniversitesi için esnek kısıtlardan sapmanın ve öğretim üyelerince tercih edilmeyen zaman dilimlerine atanana ders sayısının enküçüklenmeye çalışıldığı bir model geliştirmiştir. Yazar, XA çözücüsü yardımı ile problemi çözmüş ve başarılı sonuçlar almıştır.

Gülcü (2006) yüksek lisans tezinde, sekiz kısıttan oluşan bir problemi ele almıştır. Çalışmada esnek kısıtlardan sapmanın enküçüklenmesi amaçlanmıştır. Çözüm için tabu arama ve genetik algoritma kullanılmış ve sonuçları karşılaştırmalı olarak sunulmuştur.

Al-Yakoob and Sherali (2007), Kuveyt Üniversitesi'nde gerçekleştirdikleri çalışmada; çizelgelenen kaynakların tercihlerinin pek de dikkate alınmadığı bir problemi ele almışlardır. Problemden cinsiyet ayrımını dikkate alarak dersliklerin verimli çizelgelenmesi ve park alanında oluşabilecek yoğunluğun önüne geçilmesi amaçlanmıştır. Bunun için her zaman dilimi için öğrenim görecektir öğrenci sayısına alt ve üst limitler getirilmiştir. Böylelikle derslerin, zaman çizelgesi içerisinde düzgün dağılımı sağlanmaya çalışılmıştır.

Cura (2007), çalışmasını İstanbul Üniversitesi İşletme Fakültesi'nde gerçekleştirmiştir. Yazar ele aldığı AZP'de öğretim üyelerinin kıdem durumuna göre tatmin seviyesinin enbüyüklenmesini hedeflemiştir. Ayrıca bu çalışmada göze çarpan bir diğer kısıt, her gün mümkün olduğunca zaman dilimlerinin en az yarısına ders atanmaya çalışılmasıdır.

Literatürdeki MBZÇP'lerde genel olarak hangi dersin hangi öğretim üyesi tarafından verildiği önceden bilinmektedir. Ancak bazı çalışmalarda bu durum probleme karar değişkeni olarak girmiştir. Gunawan *et al.* (2007) Endonezya'da bir üniversitede gerçekleştirdikleri çalışmada derslerin zaman dilimlerine ve öğretim üyelerine atanmasını birlikte yapacak tam sayılı bir model ve hibrit bir algoritma geliştirmişlerdir.

Bakır ve Aksop (2008), Gazi Üniversitesi İstatistik Bölümünde yaptıkları çalışmada, öğretim üyelerinin ve öğrencilerin zaman çizelgesinden memnuniyetsizliklerinin enküçüklenmesini hedeflemişlerdir. Ele alınan problemde dersler, teorik ve pratik olmak üzere iki kısımdan oluşmaktadır. Yönetim, derslerin teorik kısmının pratik kısmından önce yapılmasını istemektedir. Bölümde dersler örgün ve ikinci öğretim olmak üzere iki grup halinde yapılmaktadır. Yazarlar çalışmada, başka fakültelerden

gelen öğretim üyelerine ait örgün öğretimdeki dersler ile ikinci öğretimdeki dersler arasındaki sürenin enküçüklenmesini amaçlamışlardır. Böylelikle fakülteler arası mesafeler uzun olduğundan fakülte dışından gelen öğretim üyelerinin fakülteden ayrılmadan ve fakültede çok beklemeden derslerini vermeleri hedeflenmiştir. Ayrıca bu çalışmada alttan ders alan öğrenciler düşünülerek ardışık müfredat gruplarına ait dersler çakıştırılmamaya çalışılmıştır.

Tümüklü (2010) yüksek lisans tezinde, Bozok Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi için sınırlı sayıda kısıta sahip olan bir zaman çizelgeleme problemini kısıt programlama şeklinde ele almıştır. Çözüm için, matematiksel model geliştirmiş ve ayrıca bir de genetik algoritma yaklaşımı sunmuştur.

Shiau (2011) Tayvan Kun-Shan Üniversitesi'nde yaptığı çalışmada, öğretim üyelerinin ders vermek istedikleri gün ve zaman dilimini, boş bırakmak istedikleri günlerini ve derslerinin oturum sayılarını belirleyebildikleri bir model üzerine çalışmıştır. Yazar, öğretim elemanlarının tercihlerini azami seviyede gerçekleştirecek ve öğrencilerin derslikler arası geçişlerini enazlayacak melez bir parçacık sürü algoritması önermiştir.

Miranda *et al.* (2012), Şili Diego Portales Üniversitesi Mühendislik Fakültesi'nde içerisinde tam sayılı bir model barındıran WEB tabanlı KDS geliştirmişlerdir. Literatürdeki birçok çalışmada derslerin dersliklere ve zaman dilimlerine atanması ayrı ayrı ele alınmakta ve zaman dilimlerine atama belirli kısıtlarla şekillenmektedir. Bu çalışmada (Miranda *et al.* 2012) ise derslerin dersliklere ve zaman dilimlerine aynı anda atanmasını sağlayan ve kalıp (pattern) diye isimlendirilen bir yaklaşım kullanılmıştır.

Sánchez-Partida *et al.* (2013) tarafından Meksika'da UPAEP Üniversitesi için yapılan çalışmada bazı dersler için haftalık zaman çizelgesinde tüm periyotlara değil de, tanımlanmış belirli zaman aralıklarına atanması zorunluluğu getirilmiştir. Problemin çözümü için matematiksel model geliştirilmiştir. Bu çalışmada, zaman çizelgesine atanan derslerin sayısının enbüyüklenmesi amaçlanmıştır.

Basir *et al.* (2013), Malezya Sains Islam Üniversitesi Teknoloji Fakültesi bir yıl süreli hazırlık programı için, öğretim elemanlarının ve derslerin çakışmayacağı sade bir problemi tavlama benzetimi yaklaşımı ile çözmüşlerdir.

Özak ve Saraç (2013)'a ait, Osmangazi Üniversitesi Endüstri Mühendisliği Bölümü'nde yapılan çalışmada çok gruplu ve seçmeli derslerin varlığından bahsedilmiştir. Ele alınan problemde, bu derslerin çakıştırılması zorunlu kılınmıştır. Yazarların ele aldıkları problemi farklı kılan bir diğer özellik ise öğretim üyelerinin kendi bilimsel çalışmalarına ve dördüncü sınıf öğrencilerinin bitirme ödevlerine vakit ayırmak için programda bir gün boşluk bırakılmaya çalışılmasıdır.

Köçken vd. (2014), öğrenci grupları ve öğretim üyeleri arasındaki memnuniyet dengesinin kurulmasını ve dersler arasındaki sürelerin makul seviyede kalmasını amaçlayan ikili tam sayılı klasik bir model geliştirmişlerdir. Yazarlar önerdikleri modeli bir bölüme uygulamış ve sonuçları değerlendirmişlerdir.

Bu bölümde yukarıda incelenen çalışmalar, içerdikleri spesifik kısıtlara ve amaç fonksiyonlarına göre sınıflandırılarak, sırasıyla Çizelge 2.1 ve Çizelge 2.2'de sunulmuştur. Kendine özgü yapısı nedeni ile Udine zaman çizelgeleme probleminin kısıt ve amaçları her iki çizelgede de yansıtılmamış, sadece çizelgelerin altında başlık olarak verilmiştir. Bu probleme ait detaylar Bölüm 2.3'de sunulmuştur. İncelenen problemlerin hepsinde var olan ve aşağıda verilen genel kısıtlara Çizelge 2.1'de yer verilmemiştir:

- Aynı öğretim üyesi tarafından verilen dersler çakışamaz.
- Bir derslikte aynı anda birden fazla ders işlenemez.
- Oturumlar önceden belirlenmiş süre kadar aralıksız bir şekilde işlenir.
- Bir ders, teknik açıdan uygun (bilgisayar laboratuvarı, teknik resim salonu, vb.) ve kapasitesi yeterli bir dersliğe atanabilir.

- Müfredattaki bütün dersler çizelgelenmelidir. Bu kısıt incelenen çalışmaların çoğunda sert kısıt (kesinlikle ihlal edilemez) olarak ifade edilmişse de, bazı çalışmalarda (Sánchez-Partida *et al.* 2013; Martin 2004) gerçekleşmesi tercih edilen esnek kısıt olarak değerlendirilmiştir.

Çizelge 2.1'in ilk sütununda tespit edilen bazı ayırt edici kısıtlar belirtilmiştir. Diğer sütunlarda, incelenen çalışmalar içerdikleri kısıtları ile birlikte sunulmuştur. Kısıtlar tek seçenekli ve çok seçenekli olacak şekilde düzenlenmiştir. Çok seçenekli kısıtlar a, b, c gibi harflerle ayırt edilmiştir. Tek seçenekli kısıtı içeren çalışmanın ilgili hücresine “✓” işareti konulurken, çok seçenekli kısıtlarda, ilgili kısıta ait harf yazılmıştır. Boş hücreler, ilgili çalışmada belirtilen kısıtın olmadığını ifade etmektedir. Amaçlara göre sınıflandırmanın yapıldığı Çizelge 2.2'de benzer şekilde düzenlenmiştir. Bu tabloda ikinci sırada verilen ve § ile işaretlenen amacın ayrıntılı açıklaması Çizelge 2.3'te yapılmıştır.

Çizelge 2.1. Matematiksel modelleme temelli çalışmaların öne çıkan bazı ayırt edici kısıtlara göre sınıflandırılması

Kısıtlar	Yazarlar
	Akkoyunlu (1972)
	Daskalaki <i>et al.</i> (2004)
	Dimopoulou and Miliotis (2004)
	Martin (2004)
	MirHassani (2006)
	Schimmelpfeng and Helber (2007)
	Cura (2007)
	Gunawan <i>et al.</i> (2007)
	Bakır and Aksop (2008)
	Aizam and Liong (2013)
	Sánchez-Partida <i>et al.</i> (2013)
	Köçken <i>et al.</i> (2014)
	Al-Yakoob and Sherali (2007)
	Qualizza and Serafini (2004)
	Demir ve Çelik (2016)
	Fenk <i>et.al.</i> (2016)
	Vermuyten <i>et al.</i> (2016)
	Lach and Lübbecke (2012)
	Burkea <i>et al.</i> (2010)
	Cacchiani <i>et al.</i> (2013)
	Bu Tez

Tek (a), Çok (b) bölüm çizelgeleme	a	a	b	b	b	b	b	a	b	b	a	b	b	b	b				b
Aynı müfredat grubundaki dersler çakışamaz	✓	✓	✓	✓			✓	✓	✓		✓		✓	✓	✓				✓
Oturumlar bazı özel durumlar nedeni ile çakışamazlar. Örneğin, alttan ders alan öğrenciler için ardışık müfredat gruplarına ait oturumlar çakışamaz.	✓			✓		✓		✓			✓		✓	✓				✓	
Öğretim üyeleri derslerini vermek istedikleri gün veya periyotları önceliklendirebilir (α), istemediklerini yasaklayabilir (β) veya sayılarını sınırlandırabilir [†] (γ).	β, γ	α		α, γ	α	α, β, γ	α		α	α, β	β		α	α	α		α		α, β
Bir dersin hangi öğretim üyesi tarafından verileceği önceden bilinmektedir (parametre)(c), model tarafından belirlenmektedir (karar değişkeni) (d).	c	d	c	d	c	c	c	d	c	c	c	c	c	c	c	c			c
Fakülte dersleri veya ön atanmış dersler diğer müfredat gruplarına ait dersler ile çakışamaz.			✓		✓				✓										
Bazı dersler birden fazla öğretim üyesi tarafından verilir.				✓		✓													
Bir derse ait oturumlar aynı güne veya ardışık günlere atanamaz.					✓			✓		✓		✓			✓	✓			✓
Müfredat grupları örgün ve ikinci öğretim olmak üzere iki farklı programdan oluşmaktadır. Aynı içeriğe sahip bu programlar bir takım düzenlemelere tabidir [‡] .					✓				✓								✓		✓
Bazı oturumlar ardışık periyotlara atanmalıdır. (Bir derse ait teorik ve laboratuvar oturumları gibi)						✓					✓		✓			✓			✓
Bazı dersler arasında öncül-ardıl ilişkisi bulunmaktadır. Örneğin önce (salı günü) teorik ders, sonra (cuma günü) uygulama dersinin haftalık zaman çizelgesine atanması.						✓			✓										
Öğrencilerin veya öğretim üyeleri için günlük/haftalık ders yükü sınırlandırması bulunmaktadır.								✓		✓		✓					✓		✓
Derslerin öğretim üyelerinin ders çizelgesine dağılımı ile ilgili bir takım sınırlamalar vardır. (Örneğin, bir öğretim üyesinin dersi örgün öğretimin ilk periyoduna atanmış ise aynı ders ikinci öğretimin de ilk periyoduna atanmalı).																	✓		✓
ITC 2007 problemi (Udine ders çizelgeleme problemi)																	✓	✓	✓

Çizelge 2.2. Matematiksel modelleme temelli çalışmaların eniyilemeye çalıştıkları amaçlara göre sınıflandırılması

[†] Hafta içerisine ders atanacak en fazla gün sayısı veya gün içerisindeki en fazla ders yükü miktarı sınırlandırılabilir.

[‡] Örgün öğretim programlarına daha yüksek puanlı öğrenciler yerleştirilir. İkinci öğretim öğrencilerinden ücret alınır.

Amaçlar	Yazarlar																				
	Akkoyunlu (1972)	Daskalaki et al. (2004)	Dimopoulou & Miliotis (2004)	Martin (2004)	MirHassani (2006)	Schimmelpfeng and Helber (2007)	Cura (2007)	Gunawan et al. (2007)	Bakır & Aksop (2008)	Aizam and Liong (2013)	Sánchez-Partida et al. (2013)	Köçken et al. (2014)	Al-Yakoob & Sheral.(2007)	Qualizza and Serafini (2004)	Demir & Çelik (2016)	Fenk et al (2016)	Vermuyten et al. (2016)	Lach and Lübbecke (2012)	Burkea et al. (2010)	Cacchiani et al. (2013)	Bu Tez
Öğrenci veya öğretim üyelerinin gün/periyo tercihlerine göre (a) derslik tercihlerine göre (b) memnuniyetinin enbüyüklenmesi.	a	a, b	a. b	a, b	a	a, b	a	a	a	a,b		a, b	a, b	a, b	a		a				a, b
Derslerin haftalık ders çizelgesine dağılımının, öğretim üyelerinin (α), öğrencilerin (β), veya bölüm yönetimlerinin (γ), tercihleri doğrultusunda yapılması [§] .	α, β			α	γ	γ						β, γ				γ					β, γ
Oturumların, mümkün olduğunca öğretim üyeleri tarafında tercih edilen dersliklere atanması.				✓				✓													
Oturumlar arası en az derslik değişimi veya derslik arası en az mesafe.		✓												✓		✓	✓				
Oturumların hafta içerisine mümkün olduğunca eşit dağılımı.				✓									✓								✓
Öğretim üyesi atanmamış en az ders sayısı.				✓																	
Oturumların, fakültenin kendi binası haricindeki dersliklere en az atanması				✓		✓															
Aynı müfredat grubu derslerinin en az çakışması.					✓	✓			✓			✓				✓					✓
Derslik kapasitesi kısıtının en az ihlali						✓															
Mümkün olduğunca en fazla dersin çizelgelenmesi											✓					✓					✓
Fakülte kaynaklarının etkin kullanımı													✓			✓					
ITC 2007 problemi (Udine ders çizelgeleme problemi)																		✓	✓	✓	

[§] Bu amaca ait detaylar Tablo 3'te sunulmuştur.

Çizelge 2.3. “Derslerin haftalık ders çizelgesine dağılımının belirlenen tercihler doğrultusunda yapılması” amacına yönelik detaylar

Öğretim üyeleri (α)	Öğrenciler (β)	Bölümler (γ)
Öğretim üyeleri oturumlar arası belirli bir süre ara verilmesini isteyebilir (Akkoyunlu 1972; Martin 2004).	Öğrencilerin ders çizelgelerinde mümkün olduğunca boş gün olmamalı (Köçken vd. 2014).	Bir dersin iki oturumu aynı güne veya ardışık günlere atanamaz (MirHassani 2006; Köçken vd. 2014).
Öğretim üyeleri, belirli derslerin farklı günlere atanmasını isteyebilir (Schimmelpfeng and Helber 2007).	Öğrencilerin ders çizelgeleri belirli günlere yoğunlaşmış bir şekilde olmamalı (Akkoyunlu 1972; Vermuyten <i>et al.</i> 2016).	Bazı dersler aynı gün aynı periyoda atanmalı (Schimmelpfeng and Helber 2007).
Öğretim üyeleri, belirli derslerin aynı güne atanmasını isteyebilir. (Schimmelpfeng and Helber 2007).	Bazı dersler mümkün olduğunca toplu çizelgelenmeli, yani birkaç gün içerisinde toplanmalı (Akkoyunlu 1972).	Bazı dersler hafta içerisinde aynı periyotlara atanmalı (Schimmelpfeng and Helber 2007).
	Öğle arası için boş periyot bırakılmalı (Akkoyunlu 1972).	

2.4.2. MBZÇP için geliştirilen KDS’ler

Kısıtlı sayıda olan bu KDS temelli çalışmalardan ilki Johnson (1993) tarafından Loughborough Üniversitesi için oluşturulmuştur. Geliştirilen sistemle herhangi bir uygun veya optimum çözüm önermekte, sadece ders çizelgesi hazırlamak için gerekli ofis işlemlerini hafifletmeyi amaçlamaktadır. Yani sadece bir takım özet listeler ve raporlar sunmaktadır

Ferland and Leurent (1994) içerisinde optimizasyon prosedürleri barındıran ve kullanıcıların çizelgeleri özelleştirebileceği araçları içeren etkileşimli bir KDS tasarlamışlardır. Yazarlar Saphir ismini verdikleri KDS’yi, Kanada’da bulunan Montreal ve Sherbrooke Üniversitelerinde denemişlerdir.

Frangouli *et al.* (1995) Atina üniversitesi için UTSE ismini verdikleri bir ders çizelgeleme sistemi geliştirmişlerdir. Sistem mantıksal programlama ve kısıt sağlama tekniklerinin birleşimi olan ECL¹PS^e diliyle hazırlanmıştır. Sistem kullanıcıya, temel problem verilerini düzenleme imkânı verdiği gibi, koşum parametrelerinin kontrolüne

de izin vermektedir. Arayüz ECLⁱPS^e uzantısı KEGI (Kernel for ECRC Graphical Interface) ve PCE (Programmable Computing Environment) ile hazırlanmıştır.

Gunadhi *et al.* (1996) nesne yönelimli bir ders çizelgeleme otomasyonu geliştirmişlerdir. Yazarların geliştirdikleri sistem; model, bilgi ve veri tabanı olmak üzere üç alt bileşenden oluşmaktadır. Sistem, etkili bir yapay zekâ aracı olan Kappa-PC uzman sistem kabuğu (expert system shell) ile geliştirilmiştir.

Stallaert (1997) UCLA Anderson Yönetim Fakültesi için bir zaman çizelgeleme sistemi tasarlamışlardır. Yazarlar problemi iki alt probleme ayırmışlardır. İlk alt problemi çözmek için tam sayılı bir model geliştirmişlerdir. İkinci alt problemi çözmek amacıyla kareli atama probleminin çözümü için tasarlanmış bir sezgisel algoritma önermişlerdir.

Paechter *et al.* (1998) İskoçya'da bulunan Napier Üniversitesi için Tatties-II isimli bir yazılım geliştirmişlerdir. Yazarlar, yirmi amaçlı problemin çözümü için, yerel arama metodu ve genetik algoritmadan oluşan hibrit bir yaklaşım geliştirmişlerdir. Yerel arama metodunu katı kısıtların çözümü için, genetik algoritmayı ise esnek kısıtların çözümü için kullanmışlardır.

Foulds and Johnson (2000), Yeni Zelanda Waikato Üniversitesi için SlotManager isimli bir KDS geliştirmişlerdir. Bu sistem ders programı hazırlama sürecini tam otomatik olarak yapmayan, sadece belirli konularda (derslik, öğretim üyesi ve aynı müfredattaki derslerin çakışmasını engelleyen, dersi alan öğrenci ile derslik kapasitesini kontrol eden) kullanıcıya destek veren yapıdadır.

Alvarez-Valdes *et al.* (2002) İspanya Valencia Üniversitesi için HORARIS ismini verdikleri bir yazılım geliştirmişlerdir. Yazarlar optimizasyon süreci için temelinde Tabu arama olan üç aşamalı bir algoritma kullanmışlardır.

Hinkin and Thompson (2002) Cornell Üniversitesinde SchedulExpert isimli ders çizelgesi hazırlama sistemi geliştirmişlerdir. Çalışmada ele alınan problemde, derslerin süreleri değişken olması nedeniyle problem, diğer ders çizelgeleme problemlerine göre daha zor bir yapıdadır. Yazarlar çözüm için, öncelikle problemin matematiksel modelini oluşturmuşlardır. Ancak yazarların geliştirdikleri model, NP-Zor yapıdaki bu probleme çözüm üretmediğinden çözüm için tavlama benzetimi tabanlı bir sezgisel geliştirmişlerdir.

Müller (2005)'in doktora tezinde Purdue Üniversitesi için geliştirdiği sistemde öğretim üyelerinin zaman ve derslik seçme hakkı bulunmakta, ancak oturum tipi (3 saatlik bir dersin (2+1) iki oturumda veya (1+1+1) üç oturumda verilmesi kastedilmektedir) önceden belirlenmektedir. Oturum tipi belirlenen bu dersler, önceden belirlenen ve oturum kalıpları adı verilen günlere atanabilmektedir. Örneğin, her oturumu 1 saatten oluşan 2 saatlik dersler (1+1), önceden belirlenen, pazartesi-perşembe, salı-perşembe veya çarşamba-cuma gün çiftlerine (oturum kalıplarına) atanabilmektedir.

Miranda (2010), Şili üniversitesi için eClasSkeduler ismini verdiği bir sistem geliştirmiştir. Bu çalışma literatürde kayıt bazlı ders programı hazırlama adı verilen kategoriye girmektedir. Kayıt bazlı ders programı hazırlama yaklaşımında öğrencilerin devam etmek istedikleri dersleri seçme hakkı vardır (önceden belirlenmiş bir müfredat yok) ve zaman çizelgeleme, öğrencilerin devam etmek istedikleri dersleri seçtikten sonra yapılır. Bu yaklaşım kurs tarzı eğitim veren kuruluşlar için uygundur ve dolayısıyla müfredat bazlı çizelgelemenin yapıldığı ülkemiz üniversite şartlarından tamamen farklıdır.

Miranda *et al.* (2012) Şili'de, Diego Portales Üniversitesi için, içinde tam sayılı bir model barındıran udpSkeduler ismini verdikleri bir sistem geliştirmişlerdir. Geliştirilen sistemde kullanıcılarla etkileşim, sadece öğretim üyelerinin zaman tercihlerinin alınması şeklindedir. Bu çalışmada derslerin atanması önceden belirlenmiş dört kalıba göre yapılmaktadır (tek oturum her hangi bir gün, iki oturum farklı iki gün, aynı gün arka

arkaya iki oturum, farklı günlerde olacak şekilde dört oturum). Bu durum esnekliği azaltan bir durumdur.

Çizelge 2.4'te yukarıda taranan çalışmalar, geliştirildikleri üniversite, ülke, geliştirilme yılı ve çözüm için kullandıkları tekniklere göre sınıflandırılarak sunulmuştur.

Çizelge 2.4. MBZÇP için geliştirilen KDS'ler

Yazarlar	Sistem Adı	Ülke	Üniversite/Fakülte	Çözüm Yaklaşımı
Johnson 1993	-	İngiltere	Loughborough Üniversitesi İşletme Fakültesi	Kayıt, manuel planlama ve raporlama yapmaktadır.
Ferland <i>and</i> Fleurent (1994)	Saphir	Kanada	Montreal Üniversitesi Sherbrooke Ünivers.	Tam sayılı programlama tabanlı sezgisel
Frangouli <i>et al.</i> (1995)	UTSE	Yunanistan	Athens Üniversitesi İnfomatik Bölümü	Kısıt mantık programlama
Gunandhi <i>et al.</i> (1996)	-	Singapur	Singapore Üniversitesi İşletme Yönetimi Fakt.	Yapay zekâ
Stallaert (1997)	-	ABD	California Üniversitesi (UCLA)	Tam sayılı programlama/ Sezgisel
Paechter <i>et al.</i> (1998)	Tatties II	İskoçya	Napier Üniversitesi	Yerel Arama/ Genetik Algoritma
Foulds and Johnson (2000)	Slot Manager	Yeni Zelanda	Waikato Üniversitesi	Kayıt, manuel planlama ve raporlama yapmaktadır.
Alvarez-Valdes <i>et al.</i> (2002)	HORARIS	İspanya	Valencia Üniversitesi	Tabu arama tabanlı sezgisel
Hinkin and Thompson (2002)	Schedul Expert	ABD	Cornell Üniversitesi Otel Yönetimi Fakt.	Tavlama benzetimi tabanlı sezgisel
Müller (2005)	-	ABD	Purdue Üniversitesi	İteratif ileri arama algoritması
Miranda (2010)	eClas Skeduler	Şili	Chile Üniversitesi	Tam sayılı programlama
Miranda <i>et al.</i> (2012).	Udp Skeduler	Şili	Diego Portales Üniversitesi	Tam sayılı programlama

Çizelge 2.4'ten de görüleceği üzere, son yirmi yılda matematiksel model çözücülerindeki ilerlemeler ve bilgisayar donanımlarındaki gelişmeler araştırmacıları,

zaman çizelgeleme problemlerinin çözümü için matematiksel model tabanlı karar destek sistemleri tasarımına yöneltmiştir.

Bu tez kapsamında MBZÇP'nin çözümü için, hem içerdiği çözüm yaklaşımı hem de arayüzüyle oldukça esnek WEB tabanlı bir karar destek sistemi (KDS) geliştirilmiştir. academix ismi verilen KDS, fakültelerin sisteme değil, sistemin fakülteleyle rahatlıkla uyumlanabildiği bir çözüm olarak tasarlanmıştır. Üstün teknik alt yapısı ve açık platformu sayesinde üzerinde kolaylıkla geliştirme yapabilme imkânı sunmaktadır. Bu sayede hem kullanan fakülte yönetimi hem de sistemi sürdürmekle görevli uzmanlar, var olan çözüm yaklaşımını ve arayüzü, süreçlere uygun hale getirmek, gerekirse ek fonksiyonlar geliştirmek için sınırsız imkânla kavuşmaktadırlar.

academix, MBZÇP'nin çözümü için çok aşamalı tam sayılı programlama tabanlı bir yaklaşım kullanmaktadır. Çözüm için önerilen teknik, tam sayılı programlama yaklaşımlarının esnekliğini ve sezgisel algoritmaların çözüm hızını beraber barındırmaktadır. Hiyerarşik tam sayılı programlama ismi verilen bu teknikte, MBZÇP oturum atama ve derslik atama olmak üzere iki alt probleme ayrılmış ve her iki alt problem için ayrı ayrı modeller geliştirilmiştir. Geliştirilen modeller bir kısıt kütüphanesi şeklinde düşünülmüştür. Kullanıcı kendi fakültesi için gerekli kısıtları aktif ederek uygun modeli oluşturabilmektedir. Bu yaklaşım ile geliştirilen çözümün mümkün olduğunca genele hitap etmesi amaçlanmıştır.

3. MATERYAL ve YÖNTEM

Bu bölüm, altı ana alt başlık altında organize edilmiştir. İlk alt başlıkta tez içerisindeki modellerde kullanılan notasyonlara yer verilmiştir. İkinci alt başlıkta, test için ele alınan problem varsayımları ve kısıtları ile beraber tanıtılmıştır. Üçüncü alt başlıkta çözüm için kullanılacak modelleme tekniğini belirlemek üzere bir ön çalışma yapılmıştır. Dördüncü alt başlıkta, MBZÇP'nin çözümü için önerilen hiyerarşik tam sayılı programlama yaklaşımı açıklanmıştır. Beşinci alt başlıkta, geliştirilen tam sayılı modellere yer verilmiş ve altıncı alt başlıkta geliştirilen WEB tabanlı KDS detaylı bir şekilde ele alınmıştır.

3.1. Notasyonlar

Modelde kullanılan indisler, setler, parametreler ve karar değişkenleri aşağıda alt başlıklar halinde sunulmuştur.

3.1.1. İndis ve setler

Modelde kullanılan indisler ve setler şunlardır:

i, f	: Oturumlar
j, jj	: Günler
g	: Dersler
l	: Müfredat grupları
d	: Bölümler
h	: Öğretim üyeleri
p, pp	: Zaman dilimleri
r, rr	: Derslikler

- $NoO_{i,f}$: Aynı müfredat grubundaki zorunlu derslere ait oturumlardan veya aynı öğretim üyesi tarafından verilen derslere ait oturumlardan oluşan yasak çakışma kapsamındaki (i, f) oturum ikilileri.
- $FlxO_{i,f}$: Aynı müfredat grubundaki seçmeli veya çok gruplu derslere ait oturumlardan veya ardışık müfredat gruplarındaki derslere ait çakışması istenmeyen oturumlardan oluşan esnek çakışma kapsamındaki (i, f) oturum ikilileri.
- $Drs_{i,f}$: Aynı dersliğinde işlenebilecek i ve f oturum ikilileri.
- $O_{i,f}$: Çakışma durumlarının değerlendirilmesi gereken oturum ikililerinden oluşan oturum indisi kümesidir. Bu küme kapsamında;
 Aynı müfredata ve ardışık müfredatlar ait oturum ikilileri,
 Aynı öğretim üyesi tarafından verilen derslere ait oturum ikilileri,
 Aynı derslikte işlenebilecek olan derslere ait oturum ikilileri bulunmamaktadır.
 $O_{i,f} = NoO_{i,f} \cup FlxO_{i,f} \cup Drs_{i,f}$
- $Lk_{i,f}$: Hemen arka arkaya verilmesi gereken (i, f) oturum ikilileridir. Burada i oturumu f oturumdan önce verilmektedir.
- NoF_i : i oturumunun j günü içerisinde atanamayacağı zaman dilimi setidir. Fakülte yönetimince yasaklanan (öğle arası, toplantı, seminer, ...vb nedenlerden dolayı) veya öğretim üyesinin mazereti dolayısıyla (idari görev, dış fakültelerde verdiği dersler, ... vb nedenlerden dolayı) kesinlikle ders veremeyeceği zaman dilimlerini kapsar.
- NoL_h : h öğretim üyesinin verdiği derslere ait oturumların, j günü içerisinde atanması yasaklanan zaman dilimleri kümesidir.
- Msg_h : h öğretim üyesinin meşgul olduğu gün ve zaman dilimleri kümesidir. Bu küme h öğretim üyesine ait daha önceden atanmış oturumların gün ve zaman dilimi bilgisini içerir. Her müfredat grubuna ait oturum atama işlemi yapıldıktan sonra bu küme güncellenmektedir ve bir sonraki müfredat grubunun oturum atamasının yapıldığı modele, parametre olarak verilmektedir.
- $preS_{i,j,p}$: Önceden atanmış oturumlara ait atama bilgisini içeren indis kümesidir.
- $preR_{i,r}$: Önceden atanmış dersliklere ait bilgiyi içeren indis kümesidir.

3.1.2. Parametreler

Modelde kullanılan parametreler ve anlamları aşağıda belirtilmiştir:

t_i	: i oturumunun süresi (ders saati)
t_m	: Her müfredat grubu için günlük atanması gereken en az ders süresi
t_n	: Oturumlar arası bırakabilecek azami boşluk süresi
t_c	: Gün içerisinde öğretim üyelerinin kesintisiz işleyebilecekleri ders süresi
R_i	: i oturumunun yapılabileceği derslik kümesi
I_r	: r dersliğinde yapılabilecek oturumlar
I_g	: g dersine ait oturum kümesi
I_l	: l müfredat grubuna ait oturum kümesi
I_{l_0}	: l müfredat grubunun zorunlu derslerine ait oturum kümesi
I_{l_e}	: l müfredat grubunun seçmeli derslerine ait oturum kümesi
I_h	: h öğretim üyesi tarafından verilen derslere ait oturum kümesi
I_{prec}	: Bağlı oturum ikililerinden, önce işlenmesi gereken oturum kümesi
N_l	: l müfredat grubuna ait oturum sayısı
lec_i	: i oturumunu veren öğretim üyesi
cur_i	: i oturumunun ait olduğu müfredat grubu
$izn_{r,j,p}$	: Dersliklerin öğretime açık/kapalı olduğunu gösteren parametredir. r dersliği, j. gün p. periyotta öğretime uygun ise 1, aksi taktirde 0 değerini alır.
$xx_{i,j,p}$	: Model 2’de kullanılacak parametredir. Model 1’deki $x_{i,j,p}$ değişkeninin aldığı değerlerdir.
crp_h	: h öğretim üyesinin unvan katsayısı
$trc_{h,j,p}$	: h öğretim üyesinin j günü p periyodu için belirttiği tercih katsayısı
$yuk_{h,j}$	: h öğretim üyesinin j günündeki ders yükü (saat). Bölümler birbirinden bağımsız çizelgelendiğinden bu parametre her bölümün çizelgelenmesinden sonra güncellenen dinamik bir parametredir.
$maksYuk$	: Öğretim üyelerinin bir günde verebileceği azami ders yüküdür. Bu parametre geliştirilen arayüz vasıtası ile ayarlanabilmektedir.
$Tsts$	: Fakülte yönetimince belirlenen hedef memnuniyet puanıdır.

- $ktsy_{i,j}$: Örgün öğretimde bir ders hangi güne atanmışsa, ikinci öğretimde de aynı güne atanmasını sağlayacak ve ayrıca istenildiğinde ikinci öğretim derslerinin mümkünse hafta içine çizelgelenmesinde kullanılacak parametredir. Belirtilen durumlar ilgili günlere daha fazla ağırlık verilerek sağlanacaktır.
- $c_{i,r}$: Her i oturumu için mümkün r dersliklerinin önceliklendirilmesi için kullanılan parametredir. Yüksek $c_{i,r}$ katsayısı i oturumunun mümkün olduğunda r dersliğine atanması gerektiğini ve düşük $c_{i,r}$ katsayısı tam tersi manayı ifade etmektedir. Bölüm için tahsis edilen derslikler ve örgün öğretimde hangi dersliğe atanmış ise ikinci öğretimde de o dersliğe atanması bu parametre ile sağlanmaktadır.
- $ilk_{i,j,p}$: Örgün öğretimde ilk periyot olan saat 08.00 de başlayan derslerin ikinci öğretimin ilk periyodu olan saat 17.00 da başlamasını sağlayan parametredir. Bu parametre, örgün öğretimde bir ders saat 08.00 a atanmış ise ($p=1$), o derse ait i oturumu hafta içi tüm günlerde $p=10$ için (İkinci öğretimin ilk periyotu, saat 17.00) yeterince büyük bir sayı, aksi taktirde 1 değerini alır.
- nmr_i : i oturumuna katılan öğrenci sayısı.
- $kpst_r$: r dersliğinin kapasitesidir. Amaç fonksiyonundaki $nmr_i / cpst_r$ ifadesi, i oturumu r dersliğine atandığında hesaplanacak derslik kullanım oranını göstermektedir.
- wg_1 : Bir numaralı amacın (oturumların mümkün olduğunca tercih edilen dersliklere atanması) ağırlık katsayısıdır.
- wg_2 : İkinci amacın (oturumların en verimli bir şekilde dersliklere atanması) ağırlık katsayısıdır. Bu katsayılar 0 ile 10 arasında değer alabilmektedir.

3.1.3. Karar değişkenleri

Modelde kullanılan karar değişkenleri şunlardır:

$x_{i,j,p}$	$\begin{cases} i \text{ oturumu } j \text{ günü } p \text{ periyoduna atanırsa } 1, \\ \text{diğer durumlarda } 0 \end{cases}$
$y_{i,j}$	$\begin{cases} i \text{ oturumu } j \text{ günü yapılsa } 1, \\ \text{diğer durumlarda } 0 \text{ (yardımcı değişken)} \end{cases}$
$y_{i,j,r}$	$\begin{cases} i \text{ oturumu } j \text{ günü } r \text{ dersliğinde yapılsa } 1, \\ \text{diğer durumlarda } 0 \text{ (yardımcı değişken)} \end{cases}$
$cls_{i,f,p}$	$\begin{cases} i \text{ ve } f \text{ oturumları } p \text{ periyotunda atanmış ise } 1, \\ \text{diğer durumlarda } 0 \end{cases}$
$ld_{i,f}$	$\begin{cases} i \text{ oturumu } f \text{ oturumundan önce işlenirse } 1, \\ \text{diğer durumlarda } 0 \end{cases}$
$z_{l,j,p}$	$\begin{cases} l \text{ müfredat grubunun } j \text{ günü } p \text{ periyoduna en az bir ders atanırsa } 1, \\ \text{diğer durumlarda } 0 \end{cases}$
$u_{h,j,p}$	$\begin{cases} h \text{ öğretim üyesinin } j \text{ günü } p \text{ periyoduna ders atanırsa } 1, \\ \text{diğer durumlarda } 0 \end{cases}$
$w_{i,r}$	$\begin{cases} i \text{ oturumu } r \text{ dersliğinde yapılsa } 1, \\ \text{diğer durumlarda } 0 \end{cases}$
$v_{i,j,p,r}$	$\begin{cases} i \text{ oturumu } j. \text{ gün } p. \text{ periyotta } r \text{ dersliğine atanır ise } 1, \\ \text{diğer durumlarda } 0 \end{cases}$
s_i	: i oturumunun derse başlama zamanı
$v_{i,f}$	: i ve f oturumlarının çakışan ders saati sayısı
$pnl_{l,j,p}$	: l müfredat grubuna ait ders çizelgesinde, j günü p periyodunda her hangi bir ders işleniyorken, takip eden ikinci periyotta ($p+2$) ders bulunmuyorsa uygulanacak ceza değeri (Bu değeri 1 veya 0'dır).
$devH_{h,j,p}$	: h öğretim üyesinin j günü içerisinde p zaman dilimine, belirtilen süreden fazla olarak atanmış ders süresi.
$devSts$	: Belirlenen toplam memnuniyet seviyesinden sapma miktarı.
$Tcls$	: Esnek çakışma kapsamındaki oturum ikililerinin, çakışan ders saatlerinin toplamıdır. Bu değeri modelde enküçüklenmeye çalışılan amaçlardan biridir.
$Tdev$	: Tüm müfredat gruplarının günlük atanan ders yüklerinin, belirlenen ortalama günlük ders yükünden pozitif ve negatif sapmalarının toplamı.

T : Her üç amaç değerinin (öğretim üyelerinin toplam memnuniyet değeri, izin verilen toplam çakışma sayısı ve günlük ortalama ders yükünden sapan toplam ders süresinin) toplamı.

3.2. Test İçin Ele Alınan Problemin Tanımı

Atatürk Üniversitesi Mühendislik Fakültesi dört yıllık eğitim veren sekiz bölümden oluşmaktadır. Bölümlere örgün ve ikinci öğretim olmak üzere iki farklı grup halinde öğrenci kabul edilmektedir. İkinci öğretim grubu ücretlidir ve bu grup öğrencilerine mesai saatleri dışında eğitim verilmektedir. Öğrenciler her dönem yaklaşık 7 ders almaktadır. Bir dersten başarısız olan öğrenciler o dersi bir sonraki yıl alt müfredat grubundan almak zorundadır. Dersler 2, 3 veya 4 ders saatinden oluşur. Dersler öğretim üyelerinin isteğine göre tek veya birden fazla oturumda verilebilir. Öğrenci sayısı çok olan bazı dersler birden fazla grup halinde yapılabilir. Zorunlu derslerin yanında her bölüm, 3. ve 4. sınıf öğrencilerine seçmeli dersler de sunmaktadır. Örgün öğretim grubu dersleri hafta içi her gün 08.00-17.00 saatleri arasında verilmektedir. İkinci öğretim grubu dersleri ise hafta içi 17.00-22.00 saatleri arasında ve hafta sonu 08.00-22.00 saatleri arasında verilmektedir. Her ders saati 50 dakika olup 10 dakika ara verilmektedir. Problemde ara ve ders birlikte düşünülerek ders süresi 1 saat olarak belirlenmiştir. Fakülte yönetimi, alt müfredat grubundan ders almayı mümkün kılmak için, ardışık sınıflara ait derslerin olabildiğince aynı gün aynı zaman dilimine konulmamasını istemektedir. Problemin varsayımları ve kısıtları maddeler halinde aşağıda verilmiştir.

3.2.1. Varsayımlar

Test için ele alınan problemin varsayımları yedi madde altında özetlenebilir:

- Derslerin hangi öğretim üyesi tarafından verileceği bilinmektedir.
- Derslik kapasiteleri ve derslik tipleri (amfi, laboratuvar) bilinmektedir.
- Derslerin, hangi derslik tipinde yapılabileceği bilinmektedir.

- Derslerin kaç ders saatinden oluştuğu bilinmektedir.
- Dersler birden fazla oturumda işlenebilmektedir ve oturum sayıları bilinmektedir.
- Bazı dersler ön şartlıdır ve önceden alınması gereken dersler bilinmektedir.

3.2.2. Kısıtlar

Kısıtlar; derslere, öğrencilere, öğretim üyelerine ve dersliklere ilişkin olmak üzere dört alt başlık altında ele alınmıştır.

3.2.2.a Derslere ilişkin kısıtlar

Derslere ilişkin kısıtlar aşağıda maddeler halinde özetlenmiştir:

L1: Her oturum, önceden belirlenmiş ders süresi kadar kesintisiz bir şekilde işlenir.

L2: Müfredattaki bütün dersler ders çizelgesine atanmalıdır.

L3: Bir derse ait oturumlar aynı güne atanamaz.

L4: Bazı oturumlar aşağıdaki belirtilen durumlar nedeniyle kesinlikle çakışamaz:

- Aynı müfredat grubunun zorunlu derslerine ait oturumları çakışamaz.
- Aynı öğretim üyesi tarafından verilen derslere ait oturumlar çakışamaz.

L5: Bazı oturum ikililerinin çakışmalarına ait aşağıda belirtilen durumlar dikkate alınmalıdır:

- Ardışık müfredat gruplarında bulunan ön şartlı derslere ait oturumlar çakışabilir.
- Aynı müfredat grubundaki seçmeli ve çok gruplu derslere ait oturumlar mümkün olduğunca çakışamaz.
- Ardışık müfredat gruplarına ait derslerin oturumları mümkün olduğunca çakışamaz.

L6: Bazı derslerin hangi gün, hangi periyot ve hangi derslikte yapılacağı önceden bilinmektedir.

L7: Önceden belirlenen bazı periyotlara (öğle arası, toplantı, seminer, fakülte ortak derslerinin yapıyor olması gibi nedenlerden dolayı) hiçbir oturum atanamaz.

L8: Bazı dersler hemen arka arkaya gelecek şekilde atanmalıdır (örneğin önce kimya teorik ve sonra kimya laboratuvar dersleri).

3.2.2.b Öğrencilere ilişkin kısıtlar

Öğrencilere ilişkin kısıtlar aşağıda maddeler halinde özetlenmiştir:

- S1: Her müfredat grubu için, derslerin bir güne yığılmasını engellemek adına, mümkün olduğunca günlük en az t_m saat (kullanıcı tarafından ayarlanabilir) ders atanmalıdır.
- S2: Dersler gün içerisinde mümkün olduğunca toplu olarak çizelgelenmeli, oturumlar arası süre, t_n ders saatini (kullanıcı tarafından ayarlanabilir) mümkün olduğunca geçmemelidir.

3.2.2.c Öğretim üyelerine ilişkin kısıtlar

Öğretim üyelerine ilişkin kısıtlar aşağıda maddeler halinde özetlenmiştir:

- T1: Fakülte ders çizelgesi oluşturulurken, öğretim üyelerinin dış fakültelerde verdikleri derslerden dolayı veya idari görevlerinden dolayı, bazı zaman dilimlerine ilgili öğretim üyelerinin derslerine ait oturumlar atanamaz.
- T2: Öğretim üyelerine bir günde her program için (örgün/ikinci) atanacak azami ders süresi fakülte yönetimince sınırlandırılabilir.
- T3: Öğretim üyelerine bir gün içinde arka arkaya atanacak ders süresi fakülte yönetimince sınırlandırılabilir.
- T4: Öğretim üyelerine, ders vermek istedikleri zaman dilimini 1-3 arasında derecelendirerek seçme hakkı verilebilir. Tercih hakkı verilmiş ise ders çizelgesi, öğretim üyelerinin zaman dilimini tercihleri ve unvanlarını dikkate alacak şekilde yapılmalıdır.
- T5: Örgün öğretimde bir öğretim üyesinin dersi sabah 8'de başlamış ise, ikinci öğretimde de mümkünse saat 17'de (ikinci öğretimin ilk ders saati) başlamalıdır.

T6: Bir ders örgün öğretimde hangi güne atanmış ise mümkünse ikinci öğretimde de aynı güne atanmalıdır.

3.2.2.d Dersliklere ilişkin kısıtlar

Dersliklere ilişkin kısıtlar aşağıda maddeler halinde özetlenmiştir:

- R1: Bir oturum, teknik açıdan uygun (bilgisayar laboratuvarı, teknik resim salonu, vb.) ve kapasitesi yeterli bir dersliğe atanabilir.
- R2: Bir derslikte - dersliğin öğretime uygun olduğu zamanlarda - aynı anda en fazla bir oturum işlenebilmektedir.
- R3: Oturum atama kısmında olduğu gibi derslik atama kısmında da ön atama mümkündür.
- R4: Mümkün olduğunca tüm oturumlara derslik ataması yapılmalıdır.
- R5: Dersler, dersliklere kapasite bakımından mümkün olduğunca dengeli atanmalıdır. Bir dersliğin %20, bir başkasının %98 dolu olduğu derslik ataması dengesi derslik atamaya örnek verilebilir.
- R6: Oturumlar için derslikler aşağıda belirtilen gereksinimlerden dolayı önceliklendirilebilir.
 - Önce - eğer belirtilmiş ise - her bölümün oturumları mümkünse o bölüme tahsis edilmiş dersliklere atanmalı, bu derslikler arasından uygun derslik yoksa diğer dersliklere atanmalıdır.
 - Oturumlar, eğer belirtilmişse öğretim üyelerinin derslik tercih sırası dikkate alınarak atanmalıdır. Aksi takdirde derslik kapasitesine göre küçükten büyüğe doğru sıralamayı takip etmelidir.

3.3. Ön Çalışma: Zaman Eksenlerine Göre Matematiksel Modelleme Yaklaşımları

Çizelgeleme için tam sayılı programlama modellerinde üç ayrı (0-1) değişken tanımına bağlı olarak üç ayrı yaklaşım bulunmaktadır. Çizelgeleme için yapılmış diğer

formülasyonlar bunların kombinasyonundan veya geliştirilmesinde oluşturulmuştur (Baker and Trietsch 2009). Sırası ile Wagner (1959), Bowman (1959) ve Manne (1960)'ye ait bu (0-1) değişken tanımlar aşağıda verilmiştir:

$$\begin{aligned} x_{i,k,l} & \begin{cases} \text{i işi k kaynağında l. sırada yapılırsa,} \\ \text{diğer durumlarda 0} \end{cases} \\ y_{i,k,t} & \begin{cases} \text{i işi k kaynağında t.zaman diliminde yapılırsa,} \\ \text{diğer durumlarda 0} \end{cases} \\ z_{i,j,k,l} & \begin{cases} \text{i işi k kaynağında j. işinden önce yapılırsa,} \\ \text{diğer durumlarda 0} \end{cases} \end{aligned}$$

Literatürde çizelgeleme problemleri için matematiksel formülasyon adına birçok tarama makalesi bulunmaktadır (Blazewicz *et al.* 1991; Pan 1997; Keha *et al.* 2009; Unlu ve Mason 2010; Demir ve İşleyen 2013). Bu çalışmalarda, Manne (1960)'in önerdiği modelleme tekniğinin genelde diğerlerine üstünlük sağladığı görülmüştür.

Bu bölümde Manne (1960)'ın modelleme tekniğini kullanarak, MBZÇP için de daha başarılı sonuçlar alınabilir mi sorusuna cevap aranmıştır. Bunun için bu bölümde, zaman eksenini kesikli veya sürekli varsayan ve sırasıyla Bowman (1959) ve Manne (1960)'nin önerdikleri tekniklere göre, matematiksel modeller tasarlanarak değerlendirmelerde bulunulmuştur. Bölüm 3.2'de test için tanımlanan probleme ait kısıtlardan secdece L1, L2, L3, L4, L5, R1 ve R2 kısıtlarını içeren bir problem, bu yaklaşımlara göre modellenmiştir. Ele alınan problemde amaç, ders çakışmalarının enküçüklenmesi olarak belirlenmiştir. Zaman eksenlerinin gösterimine göre ikiye ayrılan bu yaklaşımları değerlendirmek üzere çeşitli boyutlarda test problemleri oluşturulmuş ve sonuçlar karşılaştırmalı olarak sunulmuştur.

Bu bölümde, önerilen matematiksel modeller, eş zamanlı olarak çizelgenecek kaynakların (müfredat grubu, öğretim üyesi ve derslik) zaman ekseninin gösterimine göre; kesikli zaman eksenli modelleme ve sürekli zaman eksenli modelleme olmak üzere iki farklı ana konsepte göre tasarlanmışlardır.

Literatürde, çözüm yaklaşımlarının zaman eksenine göre bu şekilde sınıflandırılmasına daha çok parti tipi üretim yapılan kimyasal süreçlerin çizelgelenmesinde rastlanmaktadır (Pinto and Grossman 1995; Cerda and Henning 1997; Ierapetritou and Floudas 1998; Maravelias and Grossmann 2003; Lin and Floudas 2002; Floudas and Lin 2004; Castro et al. 2004; Sundaramoorthy and Karimi 2005). ADÇP literatürü incelendiğinde ders çizelgeleme problemlerinin çözümü için geliştirilen modellerin kesikli zaman eksenli modelleme yaklaşımına göre hazırlandığı görülmektedir. Bu yaklaşım zaman ekseninin eşit sürelerle bölünmesi ile oluşturulan periyotlara oturumların atanıp atanmaması esasına dayanmaktadır. Kesikli zaman eksenli modelleme yaklaşımı kullanıldığında oturumlar, uzunluğu daha önceden belirlenmiş periyotlara Şekil 3.1’deki gibi yerleştirilmektedir.

	Pazartesi									Salı									Çarşamba									Perşembe									Cuma								
p	1	2	3	4	5	6	7	8	9	1	2	3	4	5	6	7	8	9	1	2	3	4	5	6	7	8	9	1	2	3	4	5	6	7	8	9	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Zaman Eksen	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45
Müfredat Grubu																																													
E1			E101					E		E105							E				E										E111		E117										E115		
E2		E202				E							E		E										E218		E											E		E					
⋮																																													
Öğr.Üy.																																													
L1			E101					E									E																	E117									E115		
L2		E202								E105		E													E218		E											E							
L3					E										E						E											E111									E				
⋮																																													
Derslik																																													
D1										E105							E																		E117					E					
D2		E202				E									E													E										E						E115	
D3			E101					E					E								E				E218							E111													
⋮																																													

Şekil 3.1. Kesikli planlama ekseninde ders çizelgelenmesi

Sürekli zaman eksenli modelleme yaklaşımında oturumlar Şekil 3.2’de görüldüğü gibi, daha önceden belirlenmiş periyotların olmadığı, sürekli zaman ekseninde çizelgelenmektedir. Bu yaklaşımda oturumların belirtilen kısıtlar çerçevesinde zaman ekseninde sıralanması, oturumların birbirlerinin göreceli durumlarına göre yapılmaktadır.

	Pazartesi									Salı									Çarşamba									Perşembe									Cuma								
p	1	2	3	4	5	6	7	8	9	1	2	3	4	5	6	7	8	9	1	2	3	4	5	6	7	8	9	1	2	3	4	5	6	7	8	9	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Zaman Eksen	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45
Müfredat Grubu																																													
E1			E101				E			E105							E			E										E111		E117											E115		
E2	E202				E							E	E										E218		E												E	E							
⋮																																													
Öğr.Üy.																																													
L1			E101				E										E															E117											E115		
L2	E202									E105		E											E218		E												E								
L3					E									E						E										E111										E					
⋮																																													
Derslik																																													
D1										E105							E																E117							E					
D2	E202				E								E														E										E						E115		
D3			E101				E					E								E				E218					E111																
⋮																																													

Şekil 3.2. Sürekli planlama ekseninde ders çizelgelenmesi

3.3.1. Kesikli zamanlı gösterime dayalı matematiksel model

Çalışmanın devam eden kısımlarında Model-D olarak isimlendirilecek bu yaklaşım, Bowman (1959)'ın önerdiği zaman indeksli değişkenler üzerine kurulmaktadır. Başka bir deyişle bu yaklaşım, zaman ekseninin eşit sürelerle bölünmesi ile oluşturulan zaman dilimlerine, oturumların atanıp atanmaması esasına dayanmaktadır. Modelin kısıtları ve amaç fonksiyonu aşağıda verilmiştir:

$$\sum_{i \in I_r} u_{i,j,p,r} \leq 1 \quad \forall j, p, r \quad (3.1)$$

$$\sum_j \sum_r y_{i,j,r} = 1 \quad \forall i \in I_r \quad (3.2)$$

$$\sum_{i \in I_g} \sum_{r \in R_i} y_{i,j,r} \leq 1 \quad \forall j, g \quad (3.3)$$

$$\sum_p u_{i,j,p,r} = t_i * y_{i,j,r} \quad \forall i, j, \forall r \in R_i \quad (3.4)$$

$$t_i * (u_{i,j,p,r} - u_{i,j,p+1,r}) + \sum_{pp \geq \text{ord}(p)+2} u_{i,j,pp,r} \leq t_i * \sum_{rr \in R_i} y_{i,j,rr} \quad \forall i, j; \forall p < \text{card}(p); \forall r \in R_i \quad (3.5)$$

$$\sum_{r \in R_i} u_{i,j,p,r} + \sum_{r \in R_f} u_{f,j,p,r} - \text{ovrl}p_{i,f,p} \leq 1 \quad \forall j, p; \forall i, f \in \text{Flx}O_{i,f} \quad (3.6)$$

$$\sum_{r \in R_i} u_{i,j,p,r} + \sum_{r \in R_f} u_{f,j,p,r} \leq 1 \quad \forall j, p; \forall i, f \in \text{No}O_{i,f} \quad (3.7)$$

$$\text{Enk}(\sum_i \sum_f \sum_p \text{ovrl}p_{i,f,p}) \quad (3.8)$$

Denklem 3.1, derslik çakışmasını denetlemektedir. Aynı anda bir derslikte birden fazla oturum yapılamayacağını ifade eder. Denklem 3.2 bir oturumun, kendi için uygun dersliklerden sadece birine atanabilmesini sağlar. Denklem 3.3 bir derse ait oturumların aynı güne atanmamasını sağlar. Her oturumun önceden belirtilen süre kadar zaman dilimine atanması Denklem 3.4 ile oturumların önceden belirtilen süre kadar kesintisiz bir şekilde işlenmesi ise Denklem 3.5 ile sağlanır. Denklem 3.6, esnek çakışma kapsamındaki i ve f oturum ikililerinin her p periyodu için çakışıp çakışmadığını belirler. Eğer p periyodunda i ve f oturumları çakışmış ise $\text{ovrl}p_{i,f,p}$ değişkeni 1 değerini alacaktır. Daha sonra bu değişkenler toplanarak amaç fonksiyonunda enküçüklenmeye çalışılan toplam çakışma değerini oluşturacaktır. Denklem 3.7, her p periyoduna, yasak çakışma kapsamındaki i ve f oturum ikililerinden sadece birinin atanmasını sağlayan, yani bu oturumların çakışmamasını sağlayan kısıttır. Denklem 3.8’de toplam çakışmanın enküçüklenmeye çalışıldığı amaç fonksiyonu tanımlanmıştır.

3.3.2. Sürekli zamanlı gösterime dayalı matematiksel model

Zaman ekseninin sürekli kabul edildiği bu yaklaşımda (Model C), belirtilen kısıtlar çerçevesinde oturumların zaman ekseninde sıralanması, birbirlerinin göreceli pozisyonlarına göre yapılmaktadır. Bu yaklaşımda oturumların başlama süresi, atandıkları gün içerisinde kalmak şartıyla birbirlerinin zaman eksenindeki göreceli pozisyonlarına göre belirlenmektedir. Yani, bu yaklaşımda zaman dilimi indisi hiç kullanılmamakta ve hem zaman eksenindeki sıralama hem de çakışma kontrolü tamamen sürekli değişkenlerle sağlanmaktadır. Bu yaklaşıma ait formülasyon şu şekildedir:

$$\sum_j \sum_{r \in R_i} y_{i,j,r} = 1 \quad \forall i \quad (3.9)$$

$$\sum_j y_{i,j,r} = y_{i,r} \quad \forall i, \forall r \in R_i \quad (3.10)$$

$$\sum_{i \in I_g} \sum_{r \in R_i} y_{i,j,r} \leq 1 \quad \forall j, g \quad (3.11)$$

$$s_i \leq \sum_j \sum_{r \in R_i} y_{i,j,r} * (\text{ord}(j) * \text{card}(p) - t_i + 1) \quad \forall i \quad (3.12)$$

$$s_i \geq \sum_j \sum_{r \in R_i} y_{i,j,r} * ((\text{ord}(j) - 1) * \text{card}(p) + 1) \quad \forall j, l \quad (3.13)$$

$$s_f \geq s_i + t_i - M * (1 - ld_{i,f}) - v_{i,f} \quad \forall i, f \in O_{i,f} \quad (3.14)$$

$$s_i \geq s_f + t_f - M * (ld_{i,f}) + v_{i,f} \quad \forall i, f \in O_{i,f} \quad (3.15)$$

$$\sum_{i, f \in NoO_{i,f}} v_{i,f} = 0 \quad (3.16)$$

$$v_{i,f} \leq (2 - y_{i,r} - y_{f,r}) \quad \forall i, f \in Drs_{i,f}; \forall r \in (R_i \wedge R_f) \quad (3.17)$$

$$\text{Enk}(\sum_{i, f \in FlxO_{i,f}} v_{i,f}) \quad (3.18)$$

Denklem 3.9, her i oturumunun sadece bir dersliğe atanmasını ve bir i gününde başlamasını sağlar. Denklem 3.10'da her i oturumunun atandığı r dersliğini ifade eden ve Denklem 3.17'de kullanılacak $y_{i,r}$ yardımcı değişkeninin değeri belirlenmektedir. Denklem 3.11, bir derse ait oturumların aynı güne atanmamasını sağlamaktadır. Denklem 3.12 ve 3.13'de oturumların başlangıç zamanını ifade eden s_i değeri hesaplanmaktadır. Bu değişken, modelin yapısı gereği zaten tam sayılı bir değer alacağından doğrusal bir değişken olarak tanımlanmıştır. Denklem 3.14 ve Denklem 3.15 hem yasak çakışma, hem esnek çakışma kapsamındaki oturum ikililerinin, çakışma sürelerinin değerlendirildiği ya-ya da kısıtlarıdır. i oturumu f oturumundan önce işlenirse $ld_{i,f}$ değişkeni 1 değerini alacak böylelikle Denklem 3.14 dikkate alınırken, Denklem 3.15 ihmal edilecektir. $v_{i,f}$ değişkeni i ve f oturumlarının çakışan ders saatini ifade etmektedir. Bu değişkenin değeri Denklem 3.16'da yasak çakışma kapsamındaki (aynı öğretim üyesinin oturumları veya aynı müfredat grubunun zorunlu derslerine ait oturumlar gibi) oturum ikilileri için sıfırlanmaktadır. Ayrıca Denklem 3.17'de eğer i ve f oturumları aynı dersliğe atanırsa yine $v_{i,f}$ değeri sıfırlanmakta böylelikle derslik

çakışması engellenmektedir. Bu şekilde, belirlenen $v_{i,f}$ değerleri Denklem 3.14 ve Denklem 3.15’de kullanılarak yasak çakışma kapsamındaki oturumların çakışmaması sağlanırken, esnek çakışma kapsamındaki oturumlar için ise çakışma miktarı belirlenip, amaç fonksiyonunda enküçüklenmeye çalışılacaktır. Denklem 3.18’de toplam çakışmanın enküçüklenmeye çalışıldığı amaç fonksiyonu tanımlanmıştır.

3.3.3. Her iki yaklaşımın karşılaştırılması ve değerlendirme

Bu bölümde Model-D ve Model-C karşılaştırmalı olarak değerlendirilmiştir. Karşılaştırma için hazırlanan test problemlerine ait özet bilgiler Çizelge 3.1’de sunulmuştur.

Çizelge 3.1. Üretilen test problemlerine ait bilgiler

Problem No	Oturum	Ders	Derslik	Öğr. Üy.	Bölüm
AtaUni-1	25	21	4	13	1
AtaUni-2	25	21	4	13	1
AtaUni-3	25	21	4	7	1
AtaUni-4	37	26	4	17	1
AtaUni-5	40	34	4	25	1
AtaUni-6	40	34	4	25	1
AtaUni-7	73	62	8	38	2
AtaUni-8	106	90	9	38	3
AtaUni-9	106	90	12	38	3

Hazırlanan test problemleri, GAMS matematiksel programlama dili ile formüle edilmiş ve CPLEX 12 karma tam sayılı programlama çözücüsü ile CoreTM 2 Quard CPU, 2.66 GHz işlemci ve 4 GB RAM özelliklerine sahip bilgisayarda çözülmüştür. Elde edilen sonuçlar Çizelge 3.2’de karşılaştırmalı olarak verilmiştir.

Çizelge 3.2. Model boyutu ve CPU kullanımı açısından kesikli/sürekli zamanlı yaklaşımların karşılaştırılması

Problem No	Model-D					Model-PC				
	Çkşm	CPU	Kısıt Sayısı	Top. Değ. Sayısı	Kesikli Değ. Sayısı	Çkşm.	CPU	Kısıt Sayısı	Top. Değ. Sayısı	Kesikli Değ. Sayısı
AtaUni-1	0	1,4	11.196	8.786	8.725	0	1,7	1.069	976	599
AtaUni-2	0	2,5	13.056	10.626	10.625	0	0,7	1.693	1.218	796
AtaUni-3	0	3	20.883	15.472	15.471	0	6	1.700	1.540	877
AtaUni-4	0	16	24.421	19.201	19.200	0	30	2.634	2.121	1.232
AtaUni-5	0	393	24.076	18.651	18.650	4	3.600	2.402	2.021	1.160
AtaUni-6	0	142	26.966	21.451	21.450	0	3.259	3.074	2.405	1.464
AtaUni-7	0	3412	52.244	64.662	64.661	0	16.074	11.024	6.457	3.835
AtaUni-8	15	18.000	81.362	127.975	127.974	62	18.000	23.340	12.631	7.308
AtaUni-9	11	18.000	89.977	137.025	137.024	60	18.000	28.799	13.161	7.878

Kesikli zaman eksenli modelleme yaklaşımı ile karşılaştırıldığında sürekli zaman eksenli modelleme yaklaşımına göre hazırlanmış modelin boyutunun hatırı sayılır ölçüde küçüldüğü tespit edilmiştir. Bu avantaj birçok çizelgeleme probleminde işlem süresinin kısılmasını da beraberinde getirmiştir. Ancak modelin veya değişkenlerin yapısı nedeni ile MBZÇP için her iki yaklaşım çözüm süresi bakımından karşılaştırıldığında, kesikli zaman eksenli modelleme yaklaşımının daha üstün olduğu görülmüştür.

Ayrıca zaman dilimi temelli kısıt ve amaç içeren problemlerin modellenmesinde sürekli zamanlı yaklaşımın uygun olmayışı, bu yaklaşımın bir başka dezavantajı olarak karşımıza çıkmaktadır. Örneğin derslerin, öğretim üyelerinin en çok tercih ettikleri zaman dilimlerine atanmasını sağlamaktır. Zaman dilimi kavramının hiç olmadığı tam sürekli zamanlı yaklaşımda belirtilen amaç ifade edilememektedir.

3.4. Hiyerarşik Tam Sayılı Programlama Yaklaşımı

Tam sayılı programlama yaklaşımı MBZÇP'nin çözümü için sıkça başvurulmuş bir tekniktir. Ancak derslerin, periyotlara ve dersliklere atanıp atanmadığını ifade eden 0-1 (binary) değişkenlerin kullanıldığı yalın tam sayılı programlama yaklaşımı ya sadece problemi açıklamak amaçlı kullanılmış (Cura 2007; Fenk *et.al.* 2016) ya da sadece bir veya birkaç bölümün çizelgelendiği küçük boyutlu problemlerin çözümünde kullanılmıştır (MirHassani 2006; Köçken 2014). Bu yüzden çalışmalarında matematiksel model kullanan araştırmacılar kabul edilebilir zamanda çözüme ulaşmak için çeşitli düzenlemeler yapmışlardır. Bu doğrultuda en çok dikkat çeken düzenleme değişken sayısının mümkün olduğunca küçültülmesidir. Akkoyunlu (1972), derslerin önceden belirlenmiş periyot ve derslik alternatiflerinden hangisine atanacağını belirlediği “*pattern*” diye isimlendirilen yaklaşım kullanmıştır. Qualizza and Serafini (2004) modellerini bir dersin haftalık çizelgesini ifade eden kolonlar üzerine kurmuşlardır. Dimopoulou and Miliotis 2001; Dimopoulou and Miliotis 2004) derslerin ve periyotların gruplanması esasına dayalı bir model önermişlerdir. Martin (2004) periyotları derslerin atanabileceği farklı konfigürasyonlar şeklinde tanımlamışlardır. Bakır ve Aksop (2008) derslik indisini ihmal etmiştir. Çakışma olmaması için yeni kısıtlar ilave etmiştir. Yine de problem sadece bir bölüm için 5 dakikada ancak uygun çözüm vermektedir. Bu tip yaklaşımların kısıtlı esnekliğe sahip olduğu unutulmamalıdır.

Tam sayılı programlama üzerine yapılan bir başka düzenleme değişken sayısının düşürülmesidir. Bunun için Daskalaki *et al.* (2004), Sánchez-Partida *et al.* (2013) ve Martin (2004) alt setler kullanmışlardır.

Bazı çalışmalarda tam sayılı model, melez çözüm yaklaşımının bir parçası olarak kullanılmıştır. Gunawan *et al.* (2007) başlangıç çözüm oluşturmak için geliştirdikleri modele lagrangen gevşetmesi uygulamıştır.

Benli ve Botsalı (2004) üç aşamalı çözüm yaklaşımlarında, çizelgelenmiş oturumlara derslik atamasının yapıldığı 3. aşamada tam sayılı modeli kullanmışlardır.

Bu tez kapsamında çok boyutlu indisler içeren tam sayılı bir model kullanılmıştır. Bu tip bir modelleme yaklaşımının, problemin kısıtlarının detaylı bir şekilde ifade edilebilmesi bakımından esnekliği yüksektir. Ancak büyük boyutlu problemlerde bu tarz bir model ile sonuç almak imkânsızdır. Bu yüzden problemin çözümü için üç ana aşamadan oluşan hiyerarşik bir yaklaşım uygulanmıştır. MBZCP için bu tarz bir yaklaşım araştırmalarımıza göre literatürde iki ayrı çalışmada uygulanmıştır. Aizam and Liong (2013), üç aşamalı bir modelleme yaklaşımı kullanmışlardır. İlk aşamada derslerin günlere atanması yapılmış, ikinci aşamada günlük çizelgelerin oluşturulması yapılmış ve son aşamada derslere derslik ataması yapılmıştır. Bir başka çalışmada Vermuyten *et al.* (2016) iki aşamalı bir model önermişlerdir. İlk aşamada, öğretim üyelerinin tercihlerine ve yönetim tarafından belirlenen önceliklere göre, derslerin zaman dilimlerine atanması yapılmıştır. İkinci aşamada ise ilk aşamada yapılan atamalar, öğrencilerin derslikler arasında en az dolaşımını sağlayacak şekilde tekrar düzenlenmiştir.

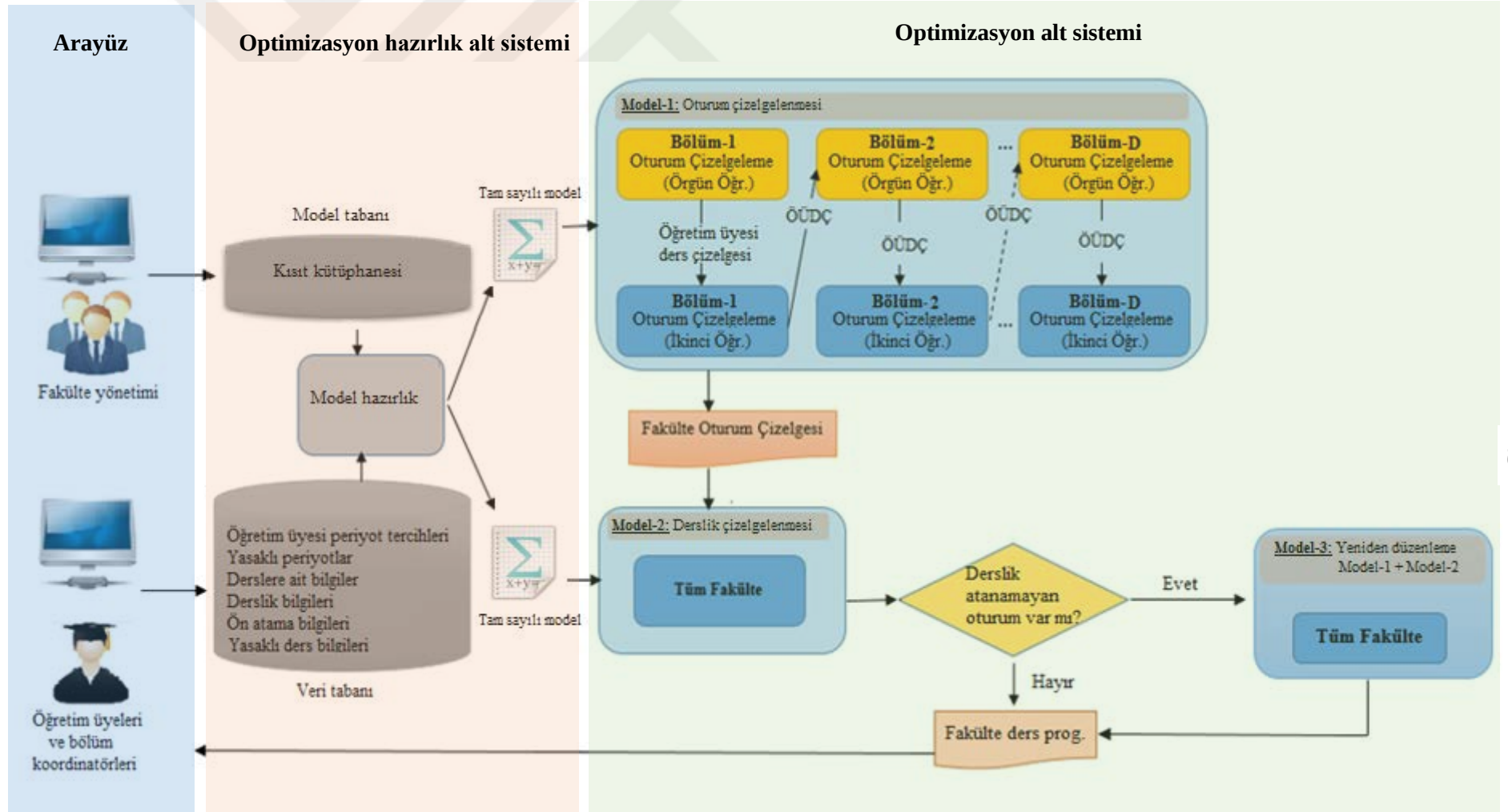
Bu çalışmada ilk etapta kabul edilebilir zamanda çözüme ulaşmak için problem, oturum atama ve derslik atama olmak üzere iki alt probleme ayrılmıştır. Her iki alt problem için matematiksel modeller geliştirilmiştir. Daha sonra veri tabanından verileri çekip modellere uygulayacak ve her iki aşamayı birbirine bağlayacak otomatik bir süreç tasarlanmıştır. İlk etapta geliştirilen her iki model fakülte bünyesindeki tüm bölümleri çizelgeleyecek şekilde uygulanmıştır. Ancak problem boyutu çok büyük olduğundan ilk aşama için kabul edilebilir zamanda sonuç alınamamış ve ikinci aşamaya geçilememiştir.

Bunun üzerine oturum atama (1.aşama) için geliştirilen model (M1) her programa (örneğin endüstri mühendisliği örgün öğretim bir programdır) ayrı ayrı uygulanmıştır.

Birçok bölümde ders veren öğretim üyelerinin derslerinin çakışmaması için ve ikinci öğretim ders programlarında istenen bir takım kısıtların sağlanması için (T2, T3, T5, T6) her programın çizelgelemesinden sonra oluşan çıktı, bir sonraki program çizelgelenirken modele parametre olarak verilmiştir.

Oturum atama aşaması tamamlandıktan sonra derslik atama için geliştirilen ikinci bir model (M2) tüm fakülteye bütün olarak uygulanmıştır.

Her iki alt problem birbirinden bağımsız çalıştığından derslik atanamayan oturumların bulunması muhtemeldir. Bu durumu gidermek için üçüncü aşamada M1 ve M2'nin birleşiminden oluşan model (M3) yine tüm fakülte için uygulanmıştır. M2'nin ürettiği çizelgede derslik bulunmuş oturumlar M3'e parametre olarak girilmiştir. Derslik bulunamayan oturumlar ise karar değişkeni olarak tanımlanmıştır. M3, problemi alt problemlere ayrılmadan bütün olarak ele almaktadır. Ancak derslik atanamayan oturumların az sayıda olması nedeni ile M3 çok kısa sürede sonuç vermektedir. Akış şeması Şekil 3.3'te verilen tüm çözüm süreci, C# programlama dili ile hazırlanan bir yazılımla otomatik olarak yürütülmektedir.



Şekil 3.3. Sistemin bileşenleri ve işleyişi

3.5. Geliştirilen Tam Sayılı Modeller

Bu bölümde oturma atama ve derslik atama için geliştirilen iki ayrı model sunulmuştur. Literatürde benzer yaklaşımın Daskalaki *et al.* (2004) tarafından uygulandığı görülmektedir. Değişken sayısını az tutmak için tüm indisler yerine daha önceden belirli kurallara göre hazırlanmış indis kümeleri (setler) kullanılmıştır. Bu setler model tabanından ve veri tabanından gelen bilgiler çerçevesinde C# programlama dili ile hazırlanmış özel bir prosedürle oluşturulmaktadır.

3.5.1. Ders atama modeli (Model 1)

Bu modelde dersliklere atama yapılmadan, derslerin haftalık planlama eksenine atanması yapılmaktadır. Çok (yedi) amaçlı ders atama modeli, amaç fonksiyonları ve kısıtları ile beraber aşağıda verilmiştir.

$$\sum_p x_{i,j,p} = t_i * y_{i,j} \quad \forall i, j \quad (3.19) \quad (L1)$$

$$t_i * (x_{i,j,p} - x_{i,j,p+1}) + \sum_{pp \geq \text{ord}(p)+2} x_{i,j,pp} \leq t_i * y_{i,j} \quad \forall i, j; \forall p < \text{card}(p) \quad (3.20) \quad (L1)$$

$$\sum_j y_{i,j} = 1 \quad \forall i \quad (3.21) \quad (L2)$$

$$\sum_{i \in I_g} y_{i,j} \leq 1 \quad \forall j, g \quad (3.22) \quad (L3)$$

$$x_{i,j,p} + x_{f,j,p} \leq 1 \quad \forall j, p; \forall i, f \in \text{NoO}_{i,f} \quad (3.23) \quad (L4)$$

$$x_{i,j,p} + x_{f,j,p} - \text{ovr}lp_{i,f,p} \leq 1 \quad \forall j, p; \forall i, f \in \text{FlxO}_{i,f} \quad (3.24) \quad (L5)$$

$$x_{i,j,p} = 1 \quad \forall i, j, p \in \text{preS}_{i,j,p} \quad (3.25) \quad (L6)$$

$$\sum_i x_{i,j,p} = 0 \quad \forall j, p \in \text{NoF}_i \quad (3.26) \quad (L7)$$

$$\sum_{pp=p}^{pp=p+t_i-1} x_{i,j,pp} + \sum_{pp=p+t_i}^{pp=p+t_i+t_f-1} x_{f,j,pp} \geq (t_i + t_f) * x_{i,j,p}$$

$$\forall i, f \in Lk_{i,f}; \forall j; \forall p \leq card(p) - (t_i + t_f - 1) \quad (3.27) \quad (L8)$$

$$\sum_{i \in I_l} \sum_p x_{i,j,p} \geq tm - dev_{l,j} \quad \forall j; \forall l \quad (3.28) \quad (S1)$$

$$\sum_{i \in I_l} x_{i,j,p} \leq z_{l,j,p} * N_l \quad \forall j, p, l \quad (3.29) \quad (S2)$$

$$\sum_{i \in I_l} x_{i,j,p} \geq z_{l,j,p} \quad \forall j, p, l \quad (3.30) \quad (S2)$$

$$\sum_{pp=p+(tn+1)}^{pp=p} z_{l,j,pp} \geq z_{l,j,p} * 2 - p n l_{l,j,p} \quad \forall j, l; \forall p \leq card(p) - tn - 1 \quad (3.31) \quad (S2)$$

$$\sum_{i \in I_h} x_{i,j,p} = 0 \quad \forall h; \forall j, p \in NoL_h \quad (3.32) \quad (T1)$$

$$\sum_{i \in I_h} y_{i,j} * t_i + yuk_{h,j} \leq maksYuk \quad \forall h, j \quad (3.33) \quad (T2)$$

$$x_{i,j,p} = 0 \quad \forall h; \forall i \in I_h; \forall j, p \in Msg_h \quad (3.34) \quad (T3)$$

$$u_{h,j,p} = 1 \quad \forall h; \forall j, p \in Msg_h \quad (3.35) \quad (T3)$$

$$u_{h,j,p} = \sum_{i \in I_h} x_{i,j,p} \quad \forall h, j, p \quad (3.36) \quad (T3)$$

$$\sum_{pp=p}^{pp=p+tc} u_{h,j,pp} - devH_{h,j,pp} \leq tc \quad \forall h, j; \forall p \leq card(p) - tc \quad (3.37) \quad (T3)$$

$$\sum_h \sum_{i \in I_h} \sum_j \sum_p x_{i,j,p} * trc_{h,j,p} * ilk_{i,j,p} * crp_h + devSts \geq Tsts \quad (3.38) \quad (T4) \quad (T5)$$

Kısıtları altında

$$Enb(\sum_i \sum_j ktsy_{i,j} * y_{i,j} - \sum_i \sum_f \sum_p ovrlp_{i,f,p} - \sum_l \sum_j \sum_p p n l_{l,j,p} - \sum_l \sum_j dev_{l,j} - \sum_h \sum_j \sum_p devH_{h,j,p} - devSts) \quad (3.39) \quad (T6)$$

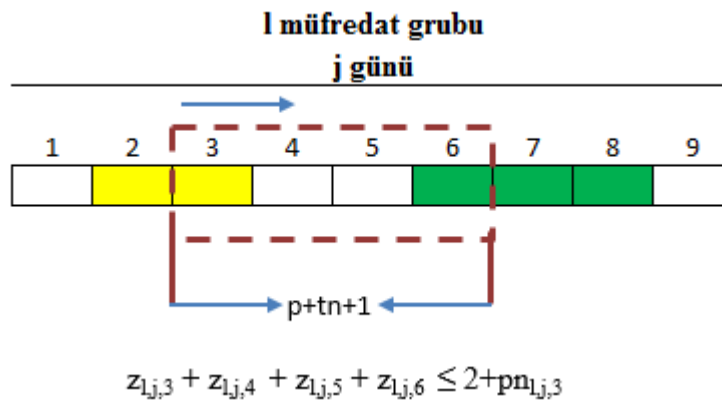
Yukarıda Bölüm 3.2.2’de tanımlanan; sırasıyla derslere ilişkin kısıtlar (Denklem 3.19-3.27), öğrencilere ilişkin kısıtlar (Denklem 3.28-3.31), öğretim üyelerine ilişkin kısıtlar (Denklem 3.32-3.38) formüle edilmiştir.

Denklem 3.19’da i oturumu, atandığı j gününün t_i oturum süresi kadar zaman dilimine atanmaktadır. Denklem 3.20’de ise i oturumunun, atandığı j gününün zaman dilimlerine kesintisiz bir şekilde atanması sağlanmaktadır. Denklem 3.19 ve 3.20 beraber L1 durumunu ifade etmektedir. Denklem 3.21’de her i oturumunun atanması ve bu atamanın sadece bir güne olması sağlanmaktadır. Denklem 3.22’te g dersine ait her i oturumunun ($i \in I_g$) farklı günlere atanması sağlanmaktadır. Denklem 3.23’te yasak çakışma kapsamındaki i ve f oturum ikililerinin ($i, f \in \text{NoO}_{i,f}$) aynı p zaman dilimine atanması önlenmektedir. Çakışması yasaklanan oturumlar, aynı müfredat grubunun zorunlu derslerine ait oturumlar ve aynı öğretim üyesi tarafından verilen derslere ait oturumlardır. Denklem 3.24’de esnek çakışma⁵ kapsamındaki i ve f oturum ikililerinin mümkün olduğunca aynı zaman dilimine atanmaması sağlanmaktadır. Böyle bir atama olduğunda, i ve f oturum ikililerinin, p zaman dilimine atanıp atanmadığını ifade eden $ovrlp_{i,f,p}$ değişkeni 1 değerini alacaktır. Daha sonra Denklem 3.39’daki amaç fonksiyonunda $ovrlp_{i,f,p}$ değişkenin değerleri toplamı enküçüklenerek, i ve f oturumlarının çakışması mümkün olduğunca engellenmeye çalışılacaktır. Denklem 3.25’de, i oturumunun j günü p zaman dilimine atanıp atanmadığını ifade eden $x_{i,j,p}$ değişkeninin değeri, ön atanmış tüm i oturumları ($i \in \text{preS}_{i,j,p}$) için 1 olarak belirlenmektedir. Denklem 3.26’da önceden belirlenen bazı gün ve zaman dilimlerine ($j, p \in \text{NoF}_i$) herhangi bir i oturumunun atanması engellenmektedir. Denklem 3.27’de aynı gün ve hemen arka arkaya işlenmesi gereken i ve f oturum ikililerine ($i, f \in \text{Lk}_{i,f}$) ait L8 kısıtında belirtilen durum formüle edilmiştir. Eğer i oturumu j günü p zaman dilimine atandıysa, eşitsizliğin sol tarafı en az i ve f oturumlarının süreleri ($t_i + t_f$) toplamı kadar olmaya zorlanmaktadır.

Denklem 3.28 ile 1 müfredat grubuna ait oturumların ($i \in I_1$) haftalık zaman çizelgesinde belirli günlere toplanmasının önüne geçilmeye çalışılmaktadır. Başka bir deyişle oturumların haftalık zaman çizelgesine dengeli dağılımı sağlanmaktadır. Bunun için her 1 müfredat grubunun haftalık ders çizelgesinin j gününe atanan toplam oturum süresi en az tm (kullanıcı tarafından belirlenir) olacak şekilde formüle edilmiştir. $dev_{i,j}$ bu süreden sapmayı ifade etmektedir ve bu değişken amaç fonksiyonunda cezalandırılarak

⁵ Esnek çakışma kapsamındaki oturum ikililerine ait detaylı bilgi Bölüm 3.2.2.a’da verilmiştir.

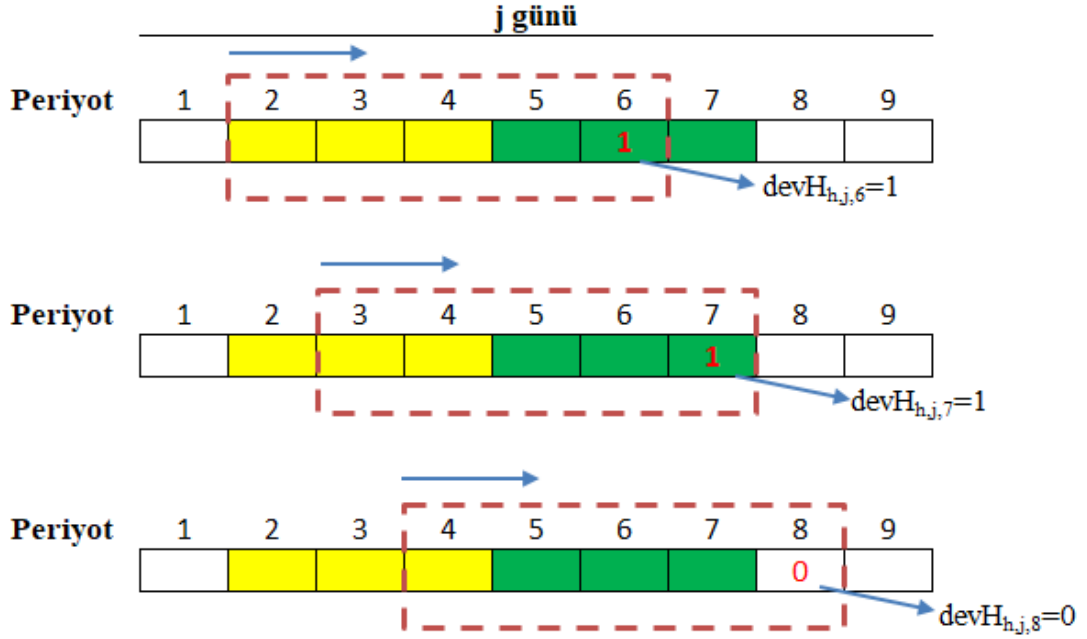
enküçüklenmeye çalışılmaktadır. Denklem 3.29-3.31 oturumların ders çizelgesine mümkün olduğunca toplu çizelgelenmesini sağlayan kısıtlardır. Bunun için belirtilen kısıtlar, oturumlar arası boşluğu, mümkün olduğunca en fazla tn (kullanıcı tarafından belirlenir) ders süresi kadar tutmaya çalışmaktadır. Denklem 3.29 ve 3.30'da l müfredat grubunun j günü p periyodunun dolu olup olmadığı ifade eden $z_{l,j,p}$ değişkeninin değeri belirlenmektedir. Eğer l müfredat grubunun j günü p periyoduna bir veya daha fazla ders atanmış ise Denklem 3.29'da $z_{l,j,p}$ değişkeni 1 değeri almaya zorlanmaktadır. N_l parametresi l müfredat grubuna ait oturum sayısını ifade etmekte ve bu denklemde büyük bir sayı olarak kullanılmaktadır. Aksi durumda Denklem 3.30'da $z_{l,j,p}$ değişkeni 0 değeri almaya zorlanmaktadır. Denklem 3.31'de p zaman diliminden başlanarak $(p+tn+1)$. zaman dilimine kadar $z_{l,j,p}$ değişkenleri toplanır. Eğer l müfredat grubunun, j . gününün, p . zaman diliminde her hangi bir oturum atanmış ise bu toplamın en az 2 olması istenir. Aksi takdirde $pn_{l,j,p}$ değişkeni sıfırdan büyük bir değer alacaktır ki bu istenmeyen bir durumdur ve amaç fonksiyonunda enküçüklenmeye çalışılır. Denklem 3.31'in işleyişi Şekil 3.4'te görsel bir şekilde açıklanmaya çalışılmıştır. Verilen örnekte tn değeri 2 olarak belirlenmiştir. Yani oturumlar arası boşluğun 2 ders saatini geçmemesi istenmiştir. Bu durumda $pn_{l,j,p}$ değerinin 0 olduğu ve kısıtın sağlandığı görülmektedir.



Şekil 3.4. Denklem 3.31'in işleyişi

Denklem 3.32'de, h öğretim üyesine ait oturumların ($i \in I_h$), ilgili öğretim üyesi için daha önceden yasaklanmış periyotlara ($j, p \in NoL_h$) atanması engellemektedir. Denklem

3.33’de zaman çizelgesi oluşturulurken öğretim üyelerinin günlük verebileceği azami ders yükü değerlendirilmektedir. Bu denklemde, her öğretim üyesi için kullanıcı tarafından belirlenen azami ders yükünden (*maksYuk*) her gün için sapma miktarı ($yuk_{h,j}$) hesaplanmaktadır. Hesaplanan bu sapmaların toplamı amaç fonksiyonunda cezalandırılarak enküçüklenmeye çalışılmaktadır. Atama modeli her müfredat grubu için birbirinden bağımsız bir şekilde çalıştırılmaktadır. Bir müfredat grubuna ait oturum ataması yapılırken, h öğretim üyesinin ilgili müfredattaki oturumları ile daha önce çizelgelemesi tamamlanmış müfredat gruplarındaki oturumlarının çakışmaması için Denklem 3.34’da ilgili gün ve zaman dilimlerine ($j, p \in Msg_h$) h öğretim üyesine ait oturum ataması engellenmektedir. Ayrıca Denklem 3.35’de ataması tamamlanan müfredat gruplarından gelen bilgi doğrultusunda h öğretim üyesinin j günü p zaman diliminde dolu olduğunu gösteren $u_{h,j,p}$ değişkeninin değeri 1 olarak ayarlanmaktadır. Denklem 3.36’da oturum atama işlemi yapılan müfredat grubunun atama bilgilerine göre $u_{h,j,p}$ değişkeninin değeri belirlenmektedir. Bu değişken Denklem 3.37’de, bir öğretim üyesinin gün içinde aralıksız bir şekilde verebileceği azami ders süresinden (tc) sapmanın hesaplanmasında kullanılmaktadır. Denklem 3.37’nin işleyişi Şekil 3.5’de izah edilmiştir. Bu şekilde h öğretim üyesinin j gününe atanmış farklı iki oturumu iki farklı renkte gösterilmiştir. Her p zaman diliminden başlayarak ($p \leq card(p) - tc$ şartıyla) $p+tc$ ye kadar $u_{h,j,p}$ değişkeni toplanmakta ve bu değer, azami aralıksız verilebilecek ders süresinden (tc) küçük eşit olması sağlanmaktadır (Şekil 3.5’te verilen örnekte $tc=4$ alınmıştır). $devH_{h,j,p}$ değişkeni ise bu hedeften sapan zaman dilimini ifade etmektedir. Bu değişken amaç fonksiyonunda cezalandırılarak enküçüklenmeye çalışılmaktadır.



Şekil 3.5. Denklem 3.37'nin işleyişi

Denklem 3.38'de öğretim üyelerinin oturumları mümkün olduğunca tercih ettikleri zaman dilimlerine atanmaya çalışılmaktadır. Ayrıca aynı denklemde, bir öğretim üyesinin herhangi bir oturumu örgün öğretimin ilk zaman dilimine atandıysa, ikinci öğretimin de ilk zaman dilimine atanmaya çalışılmaktadır. Eşitsizliğin sağ tarafında tüm öğretim üyelerinin zaman çizelgesinden teorik en yüksek toplam memnuniyet miktarını ifade eden $Tsts$ parametresi bulunmaktadır. Bu parametre, öğretim üyelerinin tüm oturumlarının en çok istedikleri zaman dilimlerine atandığı ve örgün öğretimde ilk zaman dilimine atanan tüm oturumlarının, ikinci öğretimde de ilk zaman dilimine atandığı varsayılarak hesaplanan en yüksek memnuniyet puanıdır. Eşitsizliğin sol tarafında ise gerçekleşen toplam memnuniyet hesaplanır. Bunun için h öğretim üyesine ait bir oturum j günü p zaman dilimine atanmış ise, j günü p zaman dilimi için öğretim üyesinin belirttiği istek derecesi ($trc_{h,j,p}$: 1-3 aralığında), ilgili öğretim üyesinin unvan katsayısı (crp_h) ve $ilk_{i,j,p}$ ⁶ parametreleri çarpılarak h öğretim üyesinin j günü p zaman dilimi için memnuniyet puanı hesaplanır. Bu değerler tüm öğretim üyeleri, her j günü ve p zaman dilimi için toplanarak gerçekleşen toplam memnuniyet değeri hesaplanır. $devSts$ değişkeni beklenen memnuniyet ile gerçekleşen memnuniyet arasındaki farkı

⁶ Bu parametre Bölüm 3.3.2'de açıklanmıştır.

ifade etmektedir. Bu değişken amaç fonksiyonunda cezalandırılarak enküçüklenmeye çalışılmaktadır.

Denklem 3.39’da oturum atama modelinin (Model 1) amaç fonksiyonu tanımlanmıştır. Denklemde, aşağıda verilen 7 amacın skaler toplamı enbüyüklenmeye çalışılmaktadır. Denklemdeki ifadelerde sırasıyla;

- Bir oturumun örgün ve ikinci öğretimde aynı güne atanması (T6),
- Esnek çakışma kapsamındaki toplam ders süresinin en küçüklenmesi (L5),
- Oturumların mümkün olduğunca gün içerisinde toplu çizelgelenmesini, yani iki oturum arasındaki boşluk süresinin önceden belirlenen ders süresini (tn) aşmamasını (S2),
- Oturumların belirli günlere toplanmasının mümkün olduğunca engellenmesi, başka bir deyişle her güne en az önceden belirlenen süre (tm) kadar oturum atanması (S1),
- Öğretim üyelerinin aralıksız bir şekilde verebilecekleri önceden tanımlanan ders süresinin (tc) aşılması (T3),
- Hedeflenen teorik memnuniyet seviyesinden sapmanın enküçüklenmesi

amaçları formüle edilmiştir.

Bu son ifade, öğretim üyelerinin zaman çizelgesinden iki tip memnuniyet değerini barındırmaktadır. Bunlardan ilki, öğretim üyelerinin zaman dilimi tercihlerine göre atama yapılmasından kaynaklanan memnuniyettir (T4). İkincisi, örgün öğretimde ilk zaman dilimine atanan oturumun, ikinci öğretimde de ilk zaman dilimine atanmasından kaynaklanan memnuniyettir (T5).

3.5.2. Derslik atama modeli (Model 2)

Aşağıda kısıtları ve amaç fonksiyonu verilen modelle, Model 1’de planlama eksenine atanan derslere, uygun derslikler bulunmaya çalışılmaktadır. Uygun derslikler terimi ile kasıt, mümkün olduğunca öğretim üyesinin tercih ettiği veya bölüme tahsis edilmiş dersliklerin (böyle bir tahsisat varsa) yanı sıra kapasite ve derslik tipi (amfi, laboratuvar) açısından uygun olan dersliklerdir. Derslik atama modeli aşağıda verilmiştir:

$$\sum_{r \in R_i} w_{i,r} \leq 1 \quad \forall i \quad (3.40) \quad (R1)$$

$$w_{i,r} * xx_{i,j,p} = v_{i,j,p,r} \quad \forall i, j, p; \forall r \in R_i \quad (3.41)$$

$$\sum_{i \in I_r} v_{i,j,p,r} \leq izn_{r,j,p} \quad \forall r, j, p \quad (3.42) \quad (R2)$$

$$w_{i,r} = 1 \quad \forall i, r \in preR_{i,r} \quad (3.43) \quad (R3)$$

Kısıtları altında

$$Enb \sum_i \sum_{r \in R_i} w_{i,r} * (wg_1 * c_{i,r} + wg_2 * (nmr_i / kpst_r)) \quad (3.44) \quad (R4) \quad (R5) \quad (R6)$$

Derslik atama için geliştirilen bu model, oturum atama süreci tamamlandıktan sonra koşturulmaktadır. Model 1’in tüm müfredat gruplarına uygulanmasından sonra elde edilen oturum atama bilgileri $xx_{i,j,p}$ parametresi ile Model 2’ye verilmektedir. Denklem 3.40’da her i oturumunun teknik ve kapasite açısından uygun dersliklerden ($r \in R_i$) birine atanabileceği ifade edilmektedir. Denklem 3.41’de, i oturumunun j günü p zaman diliminde r dersliğine atandığını ifade eden $v_{i,j,p,r}$ değişkenini değeri hesaplanmaktadır. Denklem 3.42’de, r dersliğinde işlenebilecek i oturumlarından ($i \in I_r$) sadece birinin aynı gün ve zaman diliminde r dersliğine atanabileceği ifade edilmektedir. Ayrıca aynı kısıtta, bazı gün ve zaman dilimlerinde öğretime kapatılan dersliklere atama yapılması, $izn_{r,j,p}$ parametresine 0 değeri verilerek önlenmektedir. Denklem 3.43’de, model

çalıştırılmadan önce manuel olarak kullanıcı tarafından derslik ataması yapılmış her i oturumu için $w_{i,r}$ değişkeninin değeri 1 olarak ayarlanmaktadır.

Denklem 3.44’de, Model 2’nin amaç fonksiyonu tanımlanmaktadır. Bu denklemde iki farklı amacın skaler toplamı enbüyüklenmeye çalışılmaktadır. Amaçlardan birincisi, oturumların mümkün olduğunca tercih katsayısı ($c_{i,r}$) yüksek olan dersliklere atanmasıdır. $c_{i,r}$ katsayısı fakülte yönetimi veya öğretim üyeleri tarafından r dersliğinin tercih derecesini ifade etmektedir. Diğer amaç, atandığı derslik kapasitesi ($kpst_r$) ve dersi alan öğrenci sayısına (nmr_i) göre daha dengeli dağılmasını sağlamaktır. wg_1 ve wg_2 her iki amacın ağırlık değerleridir. Bu değerler, tasarlanan arayüz vasıtası ile kullanıcı tarafından belirlenmektedir.

3.6. Çok Amaçlı MBZÇP İçin KDS Tasarımı

MBZÇP’yi diğer çizelgeleme problemlerinden ayıran en önemli özellik, yüklü miktarda ve dinamik veri ile çalışılmak zorunda olunmasıdır. Bu sebeple, literatürde MBZÇP alanında yapılan çalışmaların, genelde varsayımları ve problem boyutu itibariyle çok da gerçek hayatı yansıtmadığı, akademik düzeyde kaldığı görülmektedir.

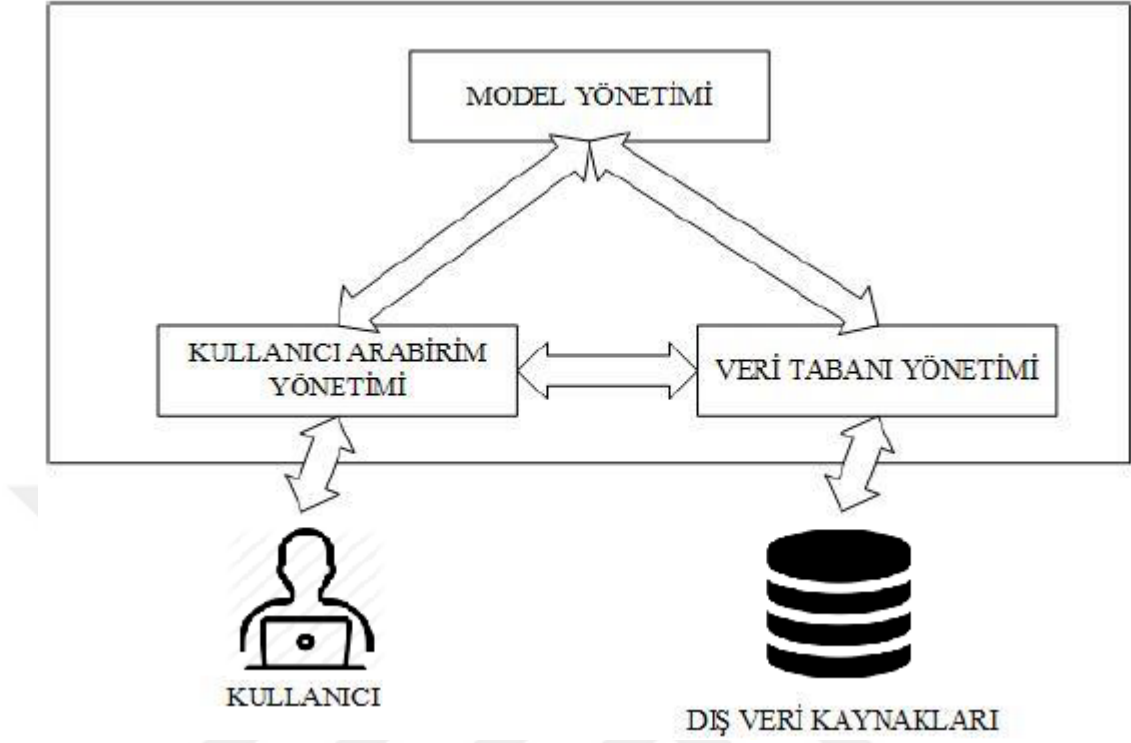
Örneğin, üretim çizelgeleme problemlerinde tezgâhlar, işlerin rotaları ve süreleri gibi çok da değişmeyen birkaç parametre bulunurken, MBZÇP’de öğretim üyelerinin zaman, oturum, derslik tercihleri, dersliklerin belirli gün veya saatte eğitime kapalı olması, her dönem değişen dersleri alan öğrenci sayıları gibi dinamik ve yüklü miktarda veri ile çalışılmaktadır. Bu sebeple kullanımı kolay bir arayüz, MBZÇP’ler için estetik bir detaydan çok, tam bir gerekliliktir.

Bu bölümde öncelikle KDS’ler kısaca tanıtılmış daha sonra MBZÇP ve sınav çizelgeleme problemi için geliştirilen ve acadeMix ismi verilen WEB tabanlı KDS tanıtılmıştır. Sınav çizelgeleme problemi bu tez kapsamında olmadığından, bu bölümde sadece sistemin MBZÇP’ye ait modülünden bahsedilecektir.

3.6.1. KDS'ler ve Temel Bileşenleri

KDS birçok şekilde tanımlanmaktadır. Lu et al. (2007) KDS'yi şöyle tanımlamaktadır: Verileri ve analizleri kullanarak karar vericilere destek veren bilgi sistemidir. Little (1970) KDS'leri "yöneticilerin karar vermelerine yardımcı olacak modele dayalı prosedürler seti" olarak tanımlamaktadır. Keen and Morton (1978) KDS'yi, verilen kararların kalitesini arttırmak için bilgisayarların yetenekleri ile bireylerin bilgi birikimi arasında ilişki kuran, yarı-yapısal ve yapısal olmayan problemlerin çözümü için karar vericiye yardımcı olan bilgisayar destekli sistemler olarak belirtmiştir. Sprague and Carlson (1982) KDS'yi "organizasyondaki yöneticilerin, karar verme faaliyetlerini desteklemek için bilgi sistemlerinin diğer bütün parçaları ile etkileşime giren bir sınıfı" olarak tanımlamaktadır. DSSResources.com'a göre KDS, "karar vericilere; iletişim teknolojilerini, veriyi, bilgiyi veya modelleri kullanarak problemleri tanımlama, çözme ve karar verme konusunda yardımcı olmak üzere tasarlanmış etkileşimli bilgisayar tabanlı sistemlerdir" (Power 2007).

Genel olarak KDS'ler; veri yönetimi, model yönetimi ve kullanıcı ara birim yönetimi olmak üzere üç alt bileşenden oluşur. Bu temel bileşenler ve etkileşimleri Şekil 3.6'da verilmiştir.



Şekil 3.6. KDS bileşenleri

Veri yönetimi, karar vermede kullanılacak verilerin getirilmesi, organize edilmesi ve saklanması işlemlerinin yerine getirildiği KDS bileşenidir. Bu bileşen; veri tabanı ve veri tabanı yönetim sistemi olmak üzere iki alt sistemden oluşur (Turban 1993). Veri tabanı, verilerin belirli bir düzene göre depolandığı sistemlere verilen genel bir isimdir. Veri tabanları, kişisel bilgisayara yerleştirilecek kadar küçük olabildiği gibi, çok büyük veri ambarı şeklinde de olabilir. Veri tabanı yönetim sistemi, dosyalar ve veri tabanlarında organize edilen çok sayıdaki verinin idare edilmesini sağlar. Kullanıcının, bir sorgulama dili vasıtasıyla veri tabanı ile etkileşerek arzu ettiği verileri yakalayabilmesi, bu sistem sayesinde olmaktadır (<https://hepdahaiyi.tr.gg/Karar-Destek-Sistemleri.htm>, erişim tarihi: 30.09.2017)

Model yönetimi, KDS için analitik yetenek sağlayan değişik sayısal modellerin getirilmesi, saklanması ve organize edilmesiyle ilgili faaliyetlerin yerine getirildiği bir KDS bileşenidir. Bu bileşenin iki önemli alt sistemi; model tabanı ve model tabanı yönetim sistemidir (Gökçen 2007). Model tabanı, veri tabanının modelleme bölümüdür.

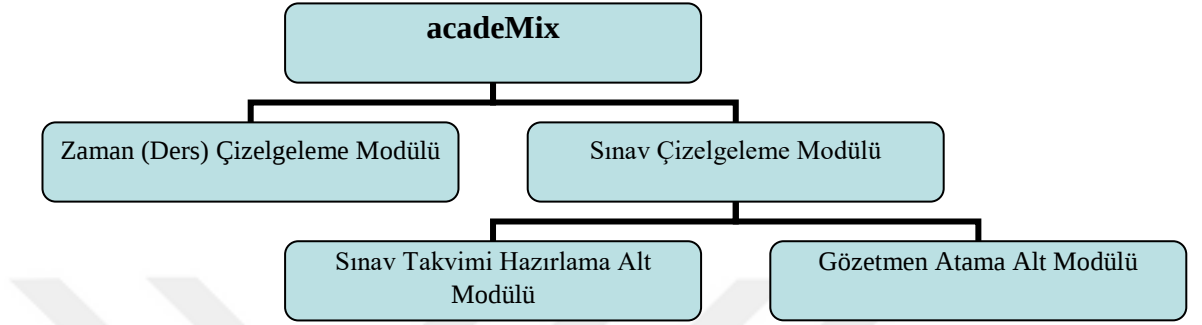
Veri tabanı KDS verilerini tutarken, model tabanı, KDS'nin değişik analizler yapması için kullandığı çeşitli istatistiksel, finansal, matematiksel ve diğer kantitatif modelleri içermektedir. Modellerin çalıştırılması, veri tabanı ile ilişkilendirilmeleri ve çözüm amacı ile entegrasyonlarının sağlanmasından sorumludur. Model tabanı yönetim sistemi ise bütün bunları bir arada çalıştıran, modelleri güncelleyen, işleten ve çözümler üreten, gerekli verileri veri tabanlarından alan sistemdir (TBD Kamu-BİB 2010). Bu sistem, veri ve önemli parametrelerin modellere girişini kolaylaştırdığı gibi, değişik modellere kolayca erişimi ve birden fazla modelin sıralı işlemlerini de sağlayabilir. Ayrıca, kullanıcılara belli önceliklerin gösterilmesi için modellerin değiştirmesine de izin verir (Marakas 1999).

Kullanıcı ara birim yönetimi, kullanıcı ile KDS'nin iletişimini sağlayan KDS bileşenidir. Kullanıcının sistemle doğrudan temasta bulunduğu tek bileşendir (Gökçen 2007). Bu bileşen, kullanıcıdan gelen komutları konuşma dili işleyicisinden geçirerek bilgisayar programlarına dönüştürür. Bu programlar, kullanıcının model yönetimi ve veri yönetimi ile ilişki kurmasını sağlar ve kullanıcının istediği bilgileri oluşturur (Zehra 2010). Arayüzün tasarımı ve hayata geçirilmesi, KDS'nin fonksiyonelliği için önemlidir. Karar verici verilere, modellere ve KDS'nin işlevsel bileşenlerine kolaylıkla ulaşabilmeli ve kullanabilmelidir. Kullanıcının KDS iletişimi kolaylığı ile KDS'nin kullanım başarısının eş anlamlı olduğu unutulmamalıdır (Gökçen 2007).

3.6.2. MBZÇP için WEB tabanlı KDS: acadeMix

Bu bölümde, MBZÇP çözümü için hazırlanan web tabanlı KDS'nin tasarımından bahsedilmiştir. acadeMix olarak adlandırılan KDS, zaman (ders) çizelgeleme, sınav çizelgeleme-gözetmen atama olmak üzere iki ana modülden oluşmaktadır (Şekil 3.7). Ancak, bu tez kapsamında sistemin daha çok MBZÇP ile ilgili modülünden bahsedilecek, diğer modüllere ait sadece arayüzler paylaşılacaktır. www.academix.com adresinde yayımlanan KDS'ye ait tüm kaynak kodlar Ek 1'de verilmiştir.

Bu bölüm dört alt bölüm olarak organize edilmiştir. İlk alt bölümde sisteme ait genel bilgiler paylaşılmıştır. Daha sonra KDS'nin bileşenleri olan; diyalog sistemi, model yönetim sistemi ve veri tabanı yönetim sisteminden sırası ile bahsedilmiştir.



Şekil 3.7. acadeMix modülleri

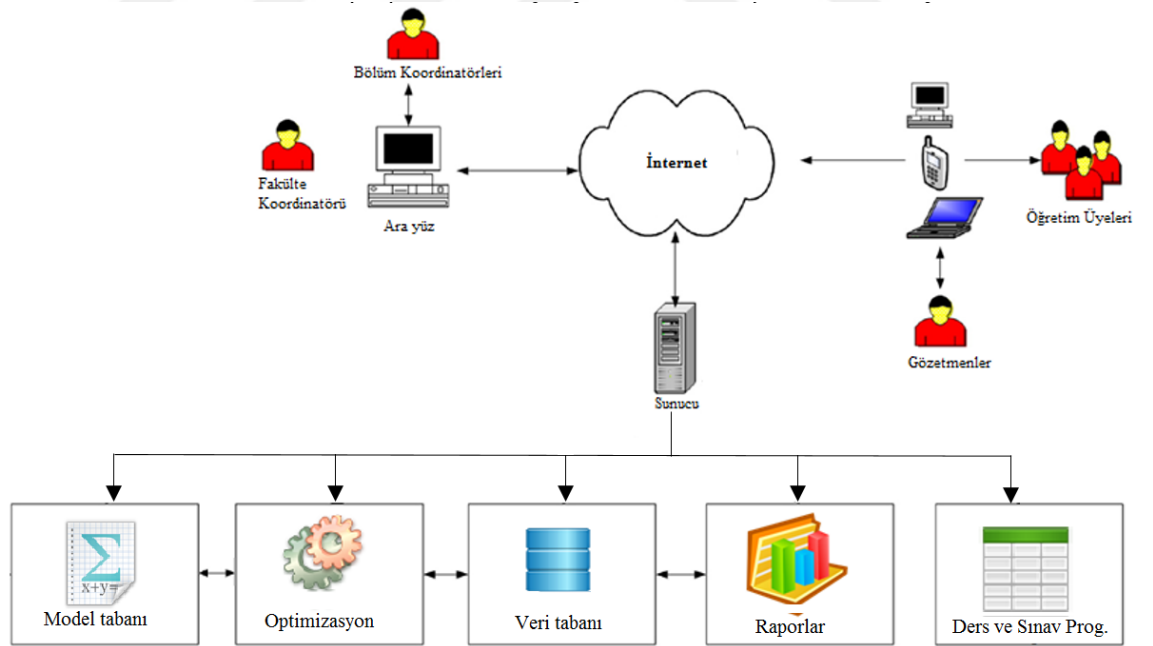
3.6.2.a acadeMix KDS'ne genel bakış

Zaman (ders) ve sınav çizelgeleme problemleri isim olarak tek bir problem gibi gözüксе de içerik olarak fakülteden fakülteye farklılık arz eden bir yapıdadır. Bu yüzden her iki problemin çözümü için, mümkün olduğunca genele hitap etmeyi amaçlayan bir KDS'nin, oldukça esnek bir yapıya sahip olması zorunludur. Bu tez kapsamında geliştirilen acadeMix, farklı ihtiyaç ve fakültele döñük zaman ve sınav çizelgeleme çözümleri üretme vizyonuna sahip; çok kullanıcı, web tabanlı, esnek mimariye sahip bir platformdur. Bu gereksinim çerçevesinde acadeMix, içerdğđ çözüm yaklaşımı ve kullanıcı dostu arayüzüyle birçok fakültede rahatlıkla kullanılabilecek şekilde tasarlanmıştır.

Bu bölümde cadeMix'nin genel yapısından bahsedilecektir. acadeMix ASP.NET MVC 4 teknolojisi ile geliştirilmiş WEB tabanlı bir uygulamadır. Uygulama'nın WEB tabanlı oluşu şu avantajları beraberinde getirmiştir:

- Bir sunucudan yayımlanan sisteme her yerden, her zaman ulaşılabilir. Kullanıcıların bilgisayarlarına yüklenmesine gerek yoktur.
- Bakım ve güncelleme işlemleri kolaylıkla yapılabilir.
- Verilerin toplanması çok daha hızlı ve sağlıklı yapılabilir.
- Yöneticilere veya koordinatörlere, en güncel raporlara her yerden ve her zaman ulaşma imkânı verir. Örneğin toplantı veya seminer için bir derslik ihtiyacı olduğunda fakülte yönetimi dersliklerin son halini görerek gerekli rezervasyonu yapabilir. Benzer şekilde bir sınav için planlanmayan bir durum sebebiyle gözetmene ihtiyaç olduğunda, fakülte yönetimi gözetmenlerin en güncel atama bilgilerini görebilir ve uygun gözetmeni seçebilir.

academix, farklı bölümlerin koordinatörlerinin eş zamanlı çalışabileceği bir platform olarak tasarlanmıştır. Çok kullanıcılu olarak tasarlanan sistemin genel yapısı Şekil 3.8’de sunulmuştur.



Şekil 3.8. academix KDS'nin genel yapısı

Sisteme dört tip yetki ile giriş yapılabilir. Bu yetkiler ve yapabileceği işlemler aşağıda sırasıyla açıklanmıştır:

1. Fakülte Koordinatörü:

Sistemin bütün işleyişinden sorumlu kişidir. Genel olarak ders ve sınav programlarının sistem üzerinden sağlıklı yürütülmesini ve bölüm koordinatörlerince öğretim üyesi ve ders tanımları gibi bilgilerin eksiksiz girilmesini sağlar. Diğer tüm yetkililerin yapabileceği işleri yapabilir. Bunlara ilaveten yetki ve sorumlulukları aşağıdaki gibi özetlenebilir:

- Bölüm, derslik, derslik tipi (amfi, laboratuvar, vb.), ders tipi (seçmeli, zorunlu, vb.) gibi sistemin kullanımı boyunca fazla değişiklik olmayacak temel bilgileri sisteme girer ve gerektiğinde güncelleme yapar.
- Amaç fonksiyonunun bileşenlerinden olan öğretim üyelerinin memnuniyetinin belirlenmesinde kullanılacak, unvan ve kıdem katsayılarını sisteme girer ve gerektiğinde günceller.
- Örgün ve ikinci öğretim derslerinin her gün için ne zaman başlayıp, ne zaman biteceğini sisteme tanıtır. Ayrıca öğle arası, toplantı veya başka nedenlerden dolayı ders atanamayacak zaman zaman dilimlerini sisteme işler.
- Çıkan veya çıkabilecek problemlere süratle çözümler araştırır.
- Bölüm koordinatörlerini sisteme tanıtır.
- Fakülte ortak derslerini tanımlama ve ders programına yerleştirir (bu dersler fakülte seçmeli dersler ve genelde dış fakültelerden gelen öğretim üyeleri tarafından verilen matematik ve fizik gibi ortak derslerdir).
- Birden fazla bölümün öğrencilerinin ortak girdiği dersleri tanımlar ve ders programına yerleştirir.
- İstenilen dersliği istenilen zaman dilimleri için atamaya kapatabilir.
- Ders ve sınav programı için koşum ayarlarını yapabilir (amaçları ağırlıklandırır ve sistemin sunduğu kısıtlar arasından tercih yapabilir) ve optimizasyon alt sistemini gerekli veriler girildikten sonra çalıştırabilir.
- Her bölümün ders ve sınav programlarını görebilir, optimizasyon öncesinde ve sonrasında müdahale edebilir.

2. Bölüm Koordinatörü:

Bölüm ders ve sınav programının hazırlanabilmesi için gerekli verilerin girilmesi ve güncellenmesinden sorumludur. Sistem üzerinde aşağıda belirtilen işlemleri yapabilir:

- Bölüme ait öğretim üyesi ve ders tanımlarını ve gerektiğinde güncellemelerini yapar.
- Bölüme ait optimizasyon öncesi veya sonrası ders veya sınav programına gerekli müdahaleyi yapar.

3. Öğretim Üyeleri:

Sisteme sadece tercihlerini girecek olup, her hangi bir uygulamaya müdahale hakkı olmayan yetki tipidir. Sistem üzerinde aşağıda belirtilen işlemleri yapabilirler:

- Derslerini vermek istedikleri periyotları 1 ile 3 arasında derecelendirebilirler. (1: Kesinlikle istemiyorum, 2: Mümkünse istemiyorum, 3: İstiyorum)
- Derslerini, tek veya çift oturumda vermek istediklerini belirtebilirler.
- Kendi ders programlarını ve bölüm ders programını görebilir ve çıktı alabilirler.
- Dersliklerin doluluk durumunu görebilirler.

4. Gözetmenler:

Sistem üzerinde aşağıda belirtilen işlemleri yapabilirler:

- Atandıkları sınavları görebilirler.
- Bölüm başkanının bilgisi ile görev değişim ve onayıyla mazeret durumunda iade işlemlerini yapabilirler.

3.6.2.b acadeMix KDS'nin diyalog yönetimi

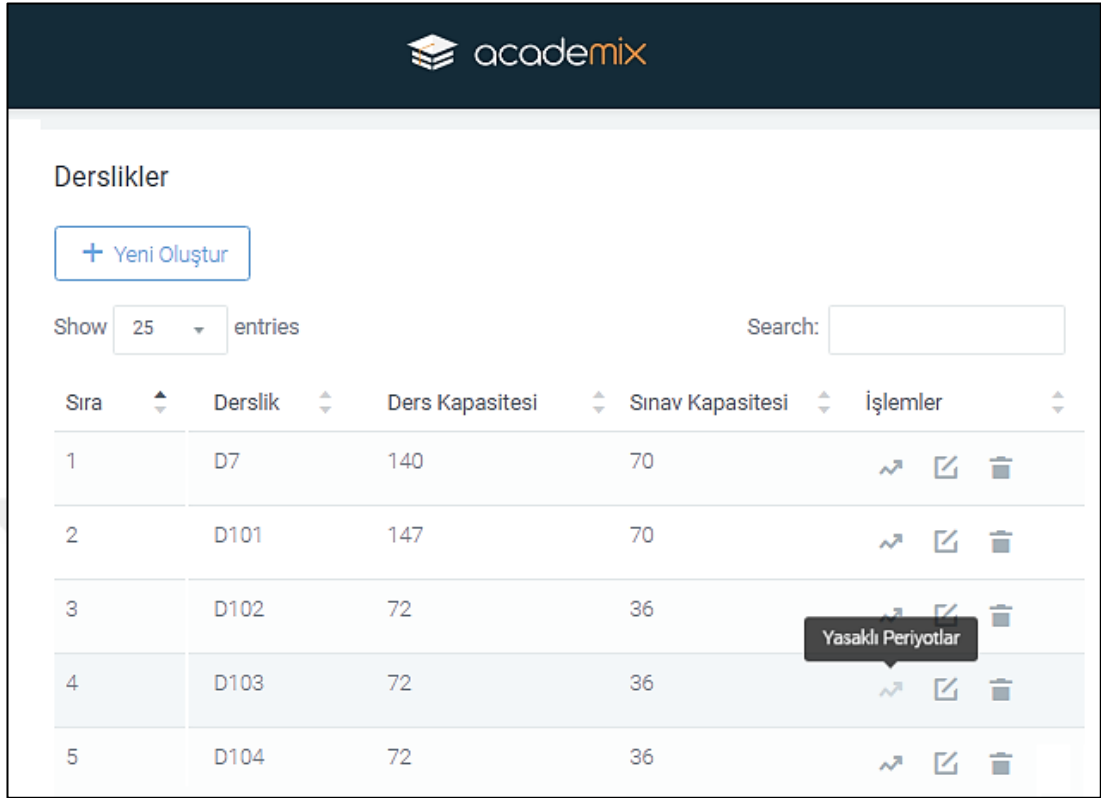
Sistemin arayüzünde ASP.NET, bootstrap ve javascript teknolojileri kullanılmıştır. Geliştirilen diyalog yönetimi iki amaca hizmet etmektedir:

1. Veri girişi ve raporlama
2. Manuel planlama

Bu bölümde diyalog yönetiminin her iki fonksiyonundan da bahsedilecektir.

1. Veri girişi ve raporlama:

Sisteme iki grup veri girilmektedir. İlk grup veriler sisteme bir kez tanıtılır ve sonrasında fazla bir değişikliğe uğramaz. Müfredat içerisindeki derslere ait bilgiler, derslik isimleri ve kapasiteleri gibi bilgiler bu tip verilerdendir. Dersliklerin tanıtıldığı sayfa örnek olarak Şekil 3.9'da sunulmuştur.



Derslikler

[+ Yeni Oluştur](#)

Show entries Search:

Sıra	Derslik	Ders Kapasitesi	Sınav Kapasitesi	İşlemler
1	D7	140	70	
2	D101	147	70	
3	D102	72	36	
4	D103	72	36	
5	D104	72	36	

Yasaklı Periyotlar

Şekil 3.9. Derslik bilgilerinin girildiği ekran

İkinci grup veriler her dönem değişen/değişebilecek verilerdir. Örneğin, dersi veren öğretim üyesi, dersi alan öğrenci sayısı, ders için açılan grup sayısı gibi veriler bu tip verilerdir. Bu tip verilerin girildiği ekranlardan biri Şekil 3.10’da sunulmuştur.

Şekil 3.10. Dönemlik ders bilgilerinin girildiği ekran

acadeMix KDS, bölüm ders çizelgeleri, derslik doluluk tabloları, sınav çizelgeleri, gözetmen görev listeleri gibi birçok rapor üretebilmektedir. Bunlara ait ekran çıktıları ders çizelgeleme için Ek 2’de ve sınav çizelgeleme için Ek 3’de verilmiştir.

2. Manuel planlama:

Model yönetimi başlığı altında incelenecek olan sistemin optimizasyon bileşeni, gerçek hayat ihtiyaçları ve kişisel istekleri mümkün olduğunca dikkate alarak çizelgeler oluşturmak üzere tasarlanmıştır. Ancak, ders ve sınav çizelgeleme problemleri yapıları itibarı ile öngörülemeyen, yapısal olmayan birçok durumu barındırabilir. Bu gibi durumları da dikkate alarak çizelgeler oluşturmak ve sistemin uygulanabilirliğini artırmak üzere akıllı ekranlar tasarlanmıştır. Bu bölümde tasarlanan bu ekranlardan bahsedilmektedir. Şekil 3.11’de ders çizelgeleme, Şekil 3.12’de sınav çizelgeleme için hazırlanan akıllı ekranların görüntüleri sunulmuştur.

Ders çizelgeleme için tasarlanan ekran optimizasyon öncesi ve sonrası manuel bir şekilde ders çizelgeleme yapma imkanı vermektedir. Kullanıcıya birçok konuda da karar desteği sunan bu ekran iki sekme halinde hazırlanmıştır. Şekil 3.11’de manuel planlama müfredat grubu görünümünde yapılabilmektedir. Sol tarafta atanmamış oturumlar, ait olduğu sınıflara göre listelenmektedir. Her satırda oturumun adı ve parantez içerisinde süresi verilmiştir.

Şekil 3.11’de ekranın sağında ilgili bölüm/sınıf için oluşturulmuş ders çizelgesi görülmektedir. Sol taraftaki oturum listesindeki bir oturum, sürükleyip bırak yöntemi ile sağ taraftaki haftalık çizelgeye yerleştirilmektedir. Gri alanlar ikinci öğretime ait periyotlardır. Örgün öğretime ait bir oturumun ikinci öğretim periyotlarına atanmasına sistem tarafından izin verilmemektedir. Aynı kural tersi durum için de geçerlidir.

Tasarlanan akıllı ekranlardan bir diğeri, Şekil 3.12’de sunulan manuel sınav çizelgeleme ekranıdır. Bu ekran optimizasyon öncesi ve sonrası manuel bir şekilde sınavın gerçekleşeceği tarihi ve derslikleri belirlemek üzere tasarlanmıştır. Bu da Şekil 3.11’deki ekran gibi kullanıcıya çizelgeleme yaparken destek sağlamaktadır.

Ekranın üst kısmında sınav düzenlenecek derslere ait bilgiler listelenmektedir. Ekranın alt kısmı, seçilen oturuma ait atamaların yapıldığı bölümdür. Seçilen ders için sınav düzenlenmeyecekse bu alan pasif görünmektedir. Seçilen ders için belirli gün ve saatler sınav düzenlenemez olarak belirtilmiş ise (örneğin, dersi veren öğretim üyesi kongre dolayısıyla belirli günlerde fakültede olamayacağından) ilgili gün ve saatler de pasif görünmektedir. Yine bu bölümde seçilen derse ait sınavın yapılabileceği uygun derslikler kullanıcıya önerilmektedir. Derslik listesinde dolu derslikler gösterilmez ve seçilen ders için daha önce belirtilen derslik tipine (standart, amfi, bilgisayar laboratuvarı, teknik resim salonu, vb.) uygun derslikler listelenir. Derslik listesinin sağındaki sayaç ile dersi alan öğrencilerin tamamının yerleştirilmesi sağlanır.

Bölüm / Sınıf

Makine Mühendisliği

3. Sınıf

DERSLER

İmal Usulleri - II Doç.Dr. Fati...

Akışkanlar Mekaniği I Prof.D...

Derslik Programı

Müf. Programı

	PTS	SAL	ÇAR	PER	CUM	CTS	PAZ
8:00						08:00 - 11:00 Mekanik Titreşimler Prof.Dr. Murat Aydın	
9:00			09:00 - 12:00 Makine Elemanları - I Yrd.Doç.Dr. Salih Akpınar	09:00 - 12:00 Mekanik Titreşimler Prof.Dr. Murat Aydın			
10:00		10:00 - 12:00 Isı Transferi-I Yrd.Doç.Dr. Eyüphan Manay					
11:00							
12:00			Isı Transferi-I Yrd.Doç.Dr. Eyüphan Manay Derslik D103				
13:00							
14:00			14:00 - 17:00 Kompozit Malzeme Mühendisliği Yrd.Doç.Dr. S Mekanik Akpınar	14:00 - 17:00 Deneyler (BS) Doç.Dr. Fatih Yetim			
15:00	15:00 - 17:00 Isı Transferi-I Yrd.Doç.Dr. Eyüphan Manay	15:00 - 17:00 Akışkanlar Mekaniği I Prof.Dr. Bayram Şahin		15:00 - 17:00 Akışkanlar Mekaniği I Prof.Dr. Bayram Şahin	15:00 - 17:00 Atatürk İlkeleri ve İnkılap Tarihi-I Yrd.Doç.Dr. TarihA TarihA		
16:00							
17:00	17:00 - 20:00 İmal Usulleri - II Doç.Dr. Fatih Yetim		17:00 - 20:00 Makine Elemanları - I Yrd.Doç.Dr. Salih Akpınar	17:00 - 20:00 Kompozit Malzeme Mühendisliği Yrd.Doç.Dr. S Mekanik Akpınar	17:00 - 20:00 Deneyler (BS) Doç.Dr. Fatih Yetim	17:00 - 19:00 Atatürk İlkeleri ve İnkılap Tarihi-I Yrd.Doç.Dr. TarihA TarihA	
18:00							
19:00		19:00 - 21:00 Isı Transferi-I Yrd.Doç.Dr. Eyüphan Manay					
20:00	20:00 - 22:00 Isı Transferi-I Yrd.Doç.Dr. Eyüphan Manay			20:00 - 22:00 Akışkanlar Mekaniği I Prof.Dr. Bayram Şahin			
21:00							

Şekil

3.11.

Manuel

ders

çizelgeleme

için

tasarlanan

akıllı

ekran

Sınav Ön Atama

Show 25 entries

Ders	Ünvan	A
A.İlk.İnk.T.-I	Prof.Dr.	A
Akı.Mek-II	Prof.Dr.	İh
Akı.Mek-II	Prof.Dr.	K
Akış.Mek.	Doç.Dr.	H
Akışkanlar Mekaniği	Prof.Dr.	M
Alt.Enr.Kay. (BS)	Doç.Dr.	Ö
An. Haber.	Doç.Dr.	M
Analog Elk.	Yrd.Doç.D	H
Arit.Çam. Stab.(BS)	Doç.Dr.	A

Sınav Ön Atama

Gün: 17.09.2017

Oturum: 08:00-09:30

Derslikler:

- D1 (Sınav Kapasitesi: 30)
- D2 (Sınav Kapasitesi: 30)
- D3 (Sınav Kapasitesi: 44)
- D4 (Sınav Kapasitesi: 48)
- D5 (Sınav Kapasitesi: 48)

Kaydet

Boşalt

Dersi Alan: 203 Yerleşen: Kalan:

3.12. Manuel sınav çizelgeleme için tasarlanan akıllı ekran

3.6.2.c acadeMix KDS'nin veri yönetimi

Geliştirilen acadeMix KDS'de veri tabanı olarak SQL 2014 kullanılmıştır. Veri yönetiminde son dönemin en popüler ORM (Object Relational Mapping) araçlarından olan “*entity framework code first*” teknolojisinden faydalanılmıştır.

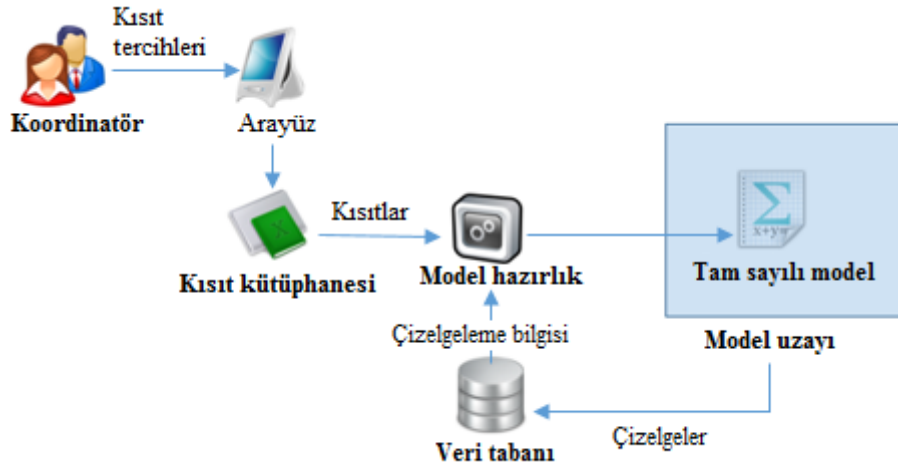
ORM, ilişkisel veri tabanı ile nesne tabanlı programlama arasında bağlantıyı sağlayan ve ilişkisel veri tabanındaki bilgileri yönetmek için nesne modellerini kullanan bir tekniktir. Diğer bir deyişle ORM, ilişkisel veri tabanı ve nesne tabanlı arasındaki veri dönüşümünü gerçekleştirir. Klasik (ADO.NET) mimarisine aşağıda belirtilen üstünlüklerinden dolayı, acadeMix KDS'de ORM mimarisi tercih edilmiştir:

- Her hangi bir veri tabanı çeşidine (Oracle, SQL Server, MySQL vs.) bağımlılığı yoktur.

- SQL bilmeden SQL ile ilgili birçok işlemi rahatlıkla yapabilmektedir.
- Esnek bir yapıdadır. Bir projede başlangıçta SQL kullanıyorken, kod değişimine çok az gereksinim duyarak oracle'a geçilebilir.
- Aynı işlem için daha az kod yazılır.

3.6.2.d acadeMix KDS'nin model yönetimi

Geliştirilen KDS'nin model yönetimi bileşeni; model hazırlık, kısıt kütüphanesi ve model uzayı olmak üzere üç alt bileşenden oluşmaktadır. Model yönetim bileşeninin işleyişi Şekil 3.13'de sunulmuş ve alt bileşenler aşağıda ayrıntılı bir şekilde incelenmiştir.



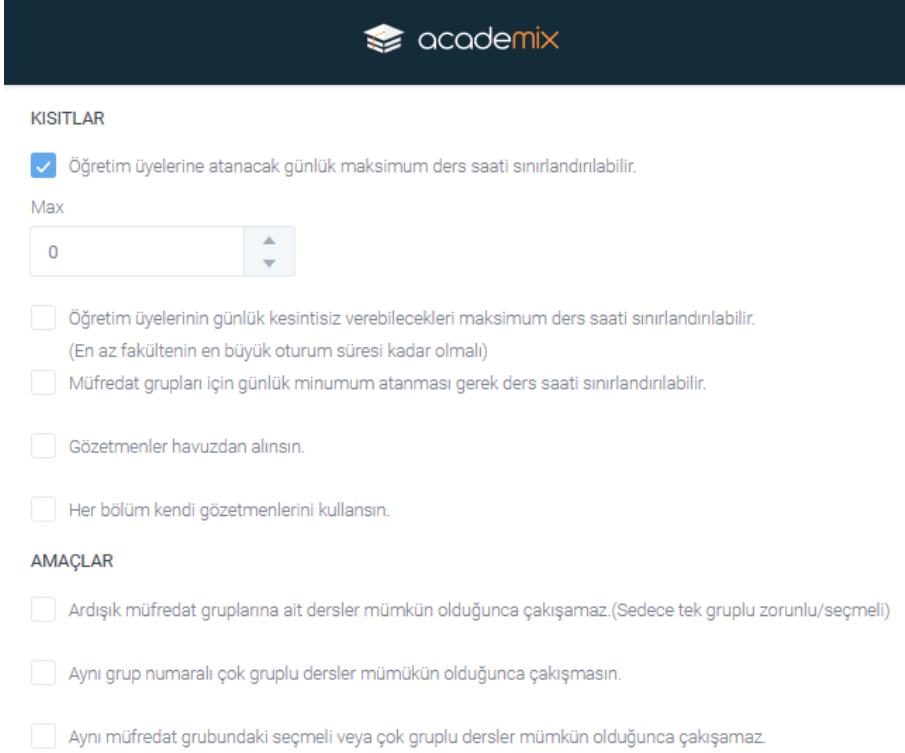
Şekil 3.13. Model yönetim bileşeninin işleyişi

Model kütüphanesi

Ders ve sınav çizelgeleri için geliştirilen tam sayılı modelleri içerir. Bu tez kapsamında sadece ders çizelgeleme için geliştirilen modeller sunulmuştur. Bölüm 3.3'te sunulan tam sayılı model üniversitelerde karşılaşılan bir çok kısıtı içerdiği gibi, ihtiyaç olması halinde yeni kısıtlar da ilave edilebilmektedir.

Model hazırlık

Şekil 3.14'deki arayüz vasıtası ile fakülte gereksinimleri doğrultusunda kısıt kütüphanesinden gerekli kısıtlar aktif edilir. Veri tabanından dersler ile ilgili çakışma izinleri, öğretim üyesi periyot tercihleri, dersliklerin eğitime kapalı olduğu periyotlar gibi çizelgeleme bilgileri çekilir. Model hazırlık birimi, çekilen bu çizelgeleme bilgilerini indis ve indis setlerine çevirir ve aktif edilmiş kısıtlar ile modeli çözüm için hazırlar.



KISITLAR

☒ Öğretim üyelerine atanacak günlük maksimum ders saati sınırlandırılabilir.

Max

0

☐ Öğretim üyelerinin günlük kesintisiz verebilecekleri maksimum ders saati sınırlandırılabilir.
(En az fakültenin en büyük oturum süresi kadar olmalı)

☐ Müfredat grupları için günlük minimum atanması gerek ders saati sınırlandırılabilir.

☐ Gözetmenler havuzdan alınsın.

☐ Her bölüm kendi gözetmenlerini kullansın.

AMAÇLAR

☐ Ardışık müfredat gruplarına ait dersler mümkün olduğunca çakışmaz. (Sadece tek gruplu zorunlu/seçmeli)

☐ Aynı grup numaralı çok gruplu dersler mümkün olduğunca çakışmasın.

☐ Aynı müfredat grubundaki seçmeli veya çok gruplu dersler mümkün olduğunca çakışmaz.

Şekil 3.14. Kısıt seçim ekranı

Model uzayı

Model hazırlık birimince oluşturulan tam sayılı modelin çözüldüğü birimdir. Bölüm 3.2'de çözüm için benimsenen aşamalı yaklaşımdan bahsedilmişti. Model uzayı biriminde, aşamalar arası veri transferini yürüten C# programlama dili ile oluşturulmuş bir prosedür ve modelleri çözecek GUROBI matematiksel model çözücüsü

bulunmaktadır. Çözüm sonucu oluşan çizelgeler bu model uzayından veri tabanına gönderilmektedir.

4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA

Oluşturulan çok aşamalı yapıdaki çözücü, Atatürk Üniversitesi Mühendislik Fakültesi 2016-2017 güz dönemi ders çizelgeleme bilgileri ile test edilmiştir. Önce tüm amaçlara ait ağırlık katsayıları eşit tutularak çözücü koşturulmuştur. Elde edilen sonuçlar (ders çizelgeleri) koordinatörler tarafından manuel olarak hazırlanmış olan ders çizelgeleri ile karşılaştırılmıştır. Daha sonra amaçlara ait katsayılar farklılaştırılarak çözücü koşturulmuş ve sonuçlar değerlendirilmiştir. Üçüncü olarak amaçlara ait katsayıların eşit (1) kabul edildiği durum için, farklı sürelerde çözücü çalıştırılmış ve sonuçlar değerlendirilmiştir. Son olarak MZÇ ile OZÇ, derslik kullanımı açısından karşılaştırılmış ve sonuçlar değerlendirilmiştir.

4.1. OZÇ'nin Performans Analizi

OZÇ'nin performansını değerlendirebilmek için önce Atatürk Üniversitesi Mühendislik Fakültesi'nin bölüm koordinatörleri tarafından manuel olarak oluşturulan 2016-2017 güz dönemi ders çizelgesi sisteme yüklenmiştir. Oturumların ders çizelgesindeki yeri ve derslikleri modele parametre olarak girildiğinden model kısa bir sürede çözüme ulaşmıştır. Daha sonra problem ön atama olmaksızın, tüm amaçların eşit ağırlık katsayısına sahip olduğu durum için çözdürülmüştür. Ders atama kısmı için çözüm süresi, her bölümün her öğretim tipi için en fazla 10 dakika olacak şekilde ayarlanmıştır. Belirlenen yedi performans kriteri için sonuçlar Çizelge 4.1'de karşılaştırmalı olarak verilmiştir.

Çizelge 4.1. Farklı performans kriterleri açısından OZÇ ile MZÇ sonuçlarının karşılaştırılması

Sıra	Performans Kriteri	Örgün Öğretim		İkinci Öğretim	
		Çizelgeleme Tipi		Çizelgeleme Tipi	
		OZÇ	MZÇ	OZÇ	MZÇ
1	Çakışma süresi (saat/bölüm)	2,5	26,25	21,63	36,25
2	Gün içi oturumlar arası boşluk süresi (saat/bölüm)	0,375	0	0	0
3	Günlük en az ders yükünden (3 saat) sapma süresi (saat/bölüm)	0,375	2,375	6	11,75
4	Öğretim üyesinin kesintisiz en fazla verebileceği ders süresinden (4 saat) sapma miktarı (saat/bölüm)	0	2	0,5	1,875
5	Öğretim üyelerinin toplam memnuniyetten sapma miktarı	-	-	-	-
6	Sabah sekizde başlayan derslerin mümkün olduğunca akşam beşte başlaması oranı	-	-	%65,88	%48,38
7	Örgün öğretimde bir ders hangi güne atandıysa ikinci öğretimde de aynı güne atanması oranı	-	-	%73,63	%33,00

Çizelge 4.1'deki değerler örgün ve ikinci öğretim programları için ayrı ayrı olmak üzere 8 bölümün çizelgelerine ait ortalama değerlerdir. Detaylı bilgi Çizelge 4.2 ve Çizelge 4.3'te verilmiştir.

Çizelge 4.1'deki ilk performans kriteri, esnek çakışma kapsamındaki oturumların ortalama çakışan ders süresidir. Çakışma süresi ikinci öğretimde her bölüm için ortalama 36,25 saatten 21,63 saate ve örgün öğretimde ortalama 26,25 saatten 2,5 saate düşürülerek hatırı sayılır ölçüde iyileştirme sağlanmıştır.

İkinci performans kriteri için örgün öğretimde opimizasyon modelinin geri kaldığı görülmüştür. Ancak eğer istenilirse, ilgili amaca ait katsayının artırılması ile bu durumun giderilebileceği unutulmamalıdır.

Üçüncü performans kriteri, çizelgelerin hafta içine yayılımının göstergesidir. Her güne en az üç saat (bu değer OZÇ ayarlarından değiştirilebilir) ders atanmasının hedeflenmesi ile, derslerin belirli günlere toplandığı ve bazı günlerin ise boş kaldığı bir çizelge oluşumunun önüne geçilmeye çalışılmıştır. Bu performans kriteri için özellikle ikinci öğretim çizelgelerinde ciddi gelişme kaydedilmiştir.

Öğretim üyelerine belirlenen süreden ne kadar fazla kesintisiz bir şekilde ders atandığını gösteren dördüncü performans kriterine bakıldığında, örgün öğretim çizelgelerinde, optimizasyon modeli ile çizelgelemede bu sınır hiç aşılmazken, MZÇ’de her çizelge için ortalama 2 saat aşıldığı görülmüştür. İkinci öğretimde ise OZÇ, MZÇ’ye göre 3 kattan fazla bir iyileşme sağlanmıştır.

Beşinci performans kriteri öğretim üyelerinin oluşturulan çizelgeden memnuniyetlerinin göstergesidir. Başka bir deyişle derslerin ne oranda öğretim üyelerinin tercih ettikleri periyotlara atandığının göstergesidir. Çizelge 4.1’de bu kriter için gösterilecek değer, bir çizelgede tüm öğretim üyeleri istedikleri zaman dilimlerine atanmış olduğu varsayıldığında hesaplanan değerden sapma miktarıdır. Ancak öğretim üyelerinden bu veri alınamadığından bu bilgi yansıtılamamıştır.

Son iki performans kriteri ikinci öğretim çizelgelerine aittir. Bunlardan ilki, sabah sekizde başlayan derslerin mümkün olduğunca akşam beşte başlamasıdır. Bu şekilde öğretim üyeleri açısından daha adil çizelgeler oluşturulması amaçlanmıştır. Çizelge 4.1’de gösterilen değer örgün öğretimde sabah sekizde başlayan derslerin % olarak ne kadarının akşam beşte başladığını göstermektedir. Bu performans kriterinde OZÇ, MZÇ’ye göre %26,57 iyileştirme sağlanmıştır.

İkinci öğretim çizelgelerine ait bir diğer performans kriteri, derslerin örgün ve ikinci öğretim programlarında ne oranda aynı güne atandığıdır. Bu performans kriteri için OZÇ, MZÇ’ye göre %55,18 iyileştirme sağlanmıştır.

Çizelge 4.1’de bütün fakülte için özet olarak verilen sonuçlar Çizelge 4.2 ve Çizelge 4.3’te her bölüm için detaylı bir şekilde verilmiştir. Her iki tabloda örgün ve ikinci öğretim çizelgelerine ait sonuçlar ayrı alt başlıklar altında sunulmuştur.

Çizelge 4.2’de OZÇ ile çizelgeleme yapıldığında elde edilen bilgiler sunulmuştur. Kırmızı başlıklı sütunlar altındaki değerler, belirtilen sürede (10 dakika) optimuma ulaşamamış uygun çözüm değerleridir. Performans kriterleri Çizelge 4.1’deki sıra ile aynıdır. Mavi ile gösterilen ikinci sütun, ilgili amaca ait ağırlık katsayısını göstermektedir. Son sütunda Çizelge 4.1’e göre elde edilmiş olan ortalama iyileşme değerleri verilmiştir.

Çizelge 4.2. OZÇ ile elde edilen çizelgelemede detaylı sonuçlar

a) Örgün öğretim

Perf. Kriteri	Ağırlık	Bilgisayar	Çevre	Elektronik	Endüstri	İnşaat	Kimya	Makine	Metalürji	Ortalama
1	1	4	8	0	0	0	1	2	5	2,5
2	1	1	1	0	0	0	0	0	1	0,38
3	1	0	3	0	0	0	0	0	0	0,38
4	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0

b) İkinci öğretim

Perf. Kriteri	Ağırlık	Bilgisayar	Çevre	Elektronik	Endüstri	İnşaat	Kimya	Makine	Metalürji	Ortalama
1	1	20	15	15	20	21	21	42	19	21,63
2	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3	1	8	6	2	9	1	7	8	7	6
4	1	2	0	1	1	0	0	0	0	0,5
5	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6	1	%70	%56	%60	%100	%57	%50	%61	%73	%65,88
7	1	%76	%66	%77	%77	%79	%60	%86	%68	%73,63

Koordinatörler tarafından yapılan çizelgelerin yedi performans kriterine göre detaylı değerlendirilmesi Çizelge 4.3’te sunulmuştur. Performans kriterlerinin sırası Çizelge 4.1’deki ile aynıdır. Her sütunda ilgili bölüme ait sayısal sonuçlar verilmiştir. Son sütunda ilgili performans kriteri için yedi bölümün ortalaması sunulmuştur.

Çizelge 4.3. MZÇ ile elde edilen detaylı sonuçlar**a) Örgün öğretim**

Perf. Kriteri	Bilgisayar	Çevre	Elektronik	Endüstri	İnşaat	Kimya	Makine	Metalürji	Ortalama
1	19	17	26	18	44	20	58	8	26,25
2	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3	5	5	1	1	1	2	1	3	2,38
4	4	0	3	1	2	0	1	5	2
5	-	-	-	-	-	-	-	-	-

b) İkinci öğretim

Perf. Kriteri	Bilgisayar	Çevre	Elektronik	Endüstri	İnşaat	Kimya	Makine	Metalürji	Ortalama
1	25	20	25	24	80	28	75	13	36,25
2	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3	7	10	8	18	7	18	11	15	11,75
4	5	0	5	1	2	1	0	1	1,88
5	-	-	-	-	-	-	-	-	-
6	%38	%33	%40	%50	%69	%40	%100	%17	%48,38
7	%44	%23	%37	%25	%47	%15	%53	%20	%33,00

Çizelge 4.2 ve Çizelge 4.3'deki sonuçlar karşılaştırıldığında OZÇ'nin, MZÇ'ye karşı önemli üstünlükler elde ettiği açıkça görülmektedir. Örneğin, birinci performans kriteri olan çakışma süresi için, MZÇ ile örgün öğretimde ortalama 26,25 saat/bölümlük bir sonuç elde edilmişken OZÇ ile bu değer 2,5 saat/bölüme düşmüştür. Aynı şekilde üçüncü performans kriteri için MZÇ ile ikinci öğretimde ortalama sapma 11,75 saat/bölüm iken OZÇ ile 6 saat/bölüme düşmüştür. Yani bu sonuç, OZÇ ile derslerin haftanın günlerine daha düzenli dağıldığı çizelgeler oluşturulduğunun göstergesidir.

Çizelge 4.3'e bölüm bazlı bakıldığında, günlük ortalama oturum çakışması (1. amaç) için makine ve inşaat bölümünün diğerlerine göre yüksek olduğu görülmektedir. Bu durumun sebebi, bu bölümlerin diğer bölümlere göre çok daha fazla öğrenci alıyor

olmaları ve dolayısıyla daha fazla oturuma sahip olmalarıdır⁷. Günlük ortalama en az ders yükünden sapmayı ifade eden üçüncü amacın, özellikle örgün öğretim de bilgisayar, çevre ve metalürji mühendisliği bölümlerinde yüksek olduğu görülmektedir. Bu bölümlerde oturum sayısının az olması, belirlenen hedeften negatif yönde sapmaya sebep olmuş ve ilgili bölümlerde, bu amaca ait değerler yüksek çıkmıştır. İkinci öğretim de bölümler için optimum sonuca ulaşamadığından böyle bir genelleme yapmak mümkün değildir. Öğretim üyelerinin kesintisiz en fazla verebileceği ders süresinden sapmayı ifade eden dördüncü amaçta, öğretim üyesinin az olduğu bilgisayar ve metalürji bölümlerinde yüksek çıkmıştır. Belirtilen sebeplerin yanı sıra amaçlar arasındaki farklılaşma amaçlara ait ağırlıklardan da kaynaklanmaktadır. Fakülte veya bölüm yönetimlerinin, AHP/ANP çalışması yaptırarak kendi istekleri doğrultusunda amaç ağırlıklarını belirlemeleri önerilmektedir.

4.2. Farklı Amaç Ağırlıkları ile OZÇ'nin Koşumu ve Sonuçların Değerlendirilmesi

Bu bölümde, belirlenen amaçlara (performans kriterlerine) farklı ağırlıklar verilerek OZÇ ile çizelgeler oluşturulmuş ve sonuçlarda gözlenen değişimler değerlendirilmiştir. OZÇ, Çizelge 4.4'te sunulan üç farklı ağırlık kombinasyonu için çalıştırılmıştır.

Çizelge 4.4. Performans kriterlerine göre amaç fonksiyonu ağırlıkları

	Ağırlık kombinasyonları		
Perf. Kriteri	1	2	3
1	1	10	1
2	1	1	10
3	1	1	1
4	1	1	1
5	1	1	10
6	1	1	10
7	1	1	1

⁷ Bahsedilen bölümlerde, öğrenci sayısının yüksekliğinden dolayı birçok ders üç, hatta dört grup olarak açılmaktadır.

İlk kombinasyonda tüm ağırlıklar eşit (1) olarak alınmıştır. İkinci kombinasyonda “çakışma” performans kriteri ağırlık katsayısı 10 verilirken diğer performans kriterlerinin ağırlık katsayıları eşit (1) tutulmuştur. Üçüncü kombinasyonda “gün içi oturumlar arası boşluk”, “toplam en fazla memnuniyetten sapma” ve “sabah sekizde başlayan derslerin mümkün olduğunca akşam beşte başlaması” performans kriterlerine farklı ağırlıklar (10) verilmiştir. Üç kombinasyon için çizelgeler oluşturulmuş ve elde edilen sonuçlar Çizelge 4.5’te sunulmuştur.

Çizelge 4.5. Farklı ağırlık kombinasyonları için karşılaştırılmalı sonuçlar

	Örgün Öğretim			İkinci Öğretim		
	Ağırlık kombinasyonları			Ağırlık kombinasyonları		
Performans Kriteri	1	2	3	1	2	3
1	2,5	1,5	2,625	21,625	0,5	22,75
2	0,375	1,375	0,125	0	1	0
3	0,375	0	0,375	6	11,75	5,625
4	0	0	0	0,5	0,25	1
5	-	-	-	-	-	-
6	-	-	-	%66	%62	%71
7	-	-	-	%74	%56	%74

Çakışma performans kriterinin diğer kriterlere göre on misli artırıldığı ikinci kombinasyon, katsayıların eşit olduğu birinci kombinasyon ile karşılaştırıldığında, ortalama çakışmanın örgün öğretimde 2,5 saat/bölümden 1,5 saat/bölüme ve ikinci öğretimde 21,625 saat/bölümden 0,5 saat/bölüme düştüğü görülmektedir. Buna karşılık ikinci performans kriteri olan gün içi oturumlar arası boşluk süresinin olumsuz etkilenecek örgün öğretimde 0,375 saat/bölümden 1,375 saat/bölüme ve ikinci öğretimde 0 saat/bölümden 1 saat/bölüme çıktığı görülmektedir. Aynı şekilde sadece ikinci öğretim çizelgelerinin değerlendirilmesinde kullanılan, altı ve yedinci performans kriterlerinin de olumsuz etkilendiği görülmektedir.

Üçüncü kombinasyon, katsayıların eşit olduğu birinci kombinasyon ile karşılaştırıldığında, 10 birim ağırlık verilen ikinci performans kriteri olan “gün içi

oturma arası boşluğun”, örgün öğretimde 0,375 saat/bölümden 0,125 saat/bölüme düştüğü görülmüştür. Öğretim üyelerinden derslerini vermek istedikleri zaman dilimleri tercihleri alınmadığından, öğretim üyelerinin oluşturulan çizelgelerden memnuniyetinin yansıtıldığı beşinci performans kriterine ait sonuçlar verilememiştir. Üçüncü kombinasyonda ağırlığı 10 birim artırılan, altı numaralı performans kriteri “*sabah sekizde başlayan derslerin mümkün olduğunca akşam beşte başlaması*” kriteri ile ilgili sonuçlara bakıldığında; ilk kombinasyonda bu değer %66 iken, ağırlığı artırılmış üçüncü kombinasyonda %71’e çıktığı görülmektedir.

4.3. Farklı Sürelerde OZÇ’nin Koşumu ve Sonuçların Değerlendirilmesi

Bu bölümde OZÇ, tüm performans kriterlerine ait ağırlıkların eşit (1) olduğu durum için farklı sürelerde koşturulmuş ve sonuçlar Çizelge 4.6’da verilmiştir. Hatırlanacağı üzere Model 1, her bölümün her öğretim tipi (örgün/ikinci) ders çizelgesini bağımsız bir şekilde ayrı ayrı çözmekteydi. Çizelge 4.6’da her sütunda dakika cinsinden verilen süreler, Model 1’in her bağımsız çizelgeyi oluştururken koşabileceği en fazla süredir. Belirtilen süre dolduğunda koşum durdurulmuş ve ulaşılan sonuçlar yedi performans kriteri için Çizelge 4.6’da sunulmuştur.

Çizelge 4.6.Farklı koşum süreleri için performans kriterlerinde gözlenen değişim miktarı

Performans Kriteri	Örgün Öğretim					İkinci Öğretim				
	10 dk	20 dk	30 dk	40 dk	60 dk	10 dk	20 dk	30 dk	40 dk	60 dk
1	2,5	2,5	2,125	2,125	2	21,625	21,25	22,875	23,25	22,875
2	0,375	0,25	0,25	0,25	0,25	0	0	0,125	0,125	0,125
3	0,375	0	0	0	0	6	6	6,5	6,5	6
4	0	0	0	0	0	0,5	0,25	0,375	0,375	0,375
5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6	-	-	-	-	-	%65,9	%73,0	%76,4	%78,8	%76,8
7	-	-	-	-	-	%73,6	%74,9	%75,8	%75,9	%75,9

Çizelge 4.6 incelendiğinde 20 dakikadan sonra sonuçlarda ciddi bir değişim olmadığı gözlemlenmiştir. Buna göre yazılımın 20 dakika çalıştırılmasının yeterli olduğu söylenebilir.

4.4. Koşum Sonucu Oluşturulan Ders Çizelgesi ile Koordinatörlerin Manuel Hazırladığı Ders Çizelgesinin, Derslik Kullanımı Açısından Karşılaştırılması

MZÇ’de, ortak kaynak olan derslikler bölümlere pay edilmektedir. Bu şekilde dersliklerin birden fazla oturumca kullanılmasının önüne geçilmeye çalışılmaktadır. Ancak bu durum dersliklere, kapasitesinin üstünde oturum atanmasına veya dersliklerin verimsiz kullanılmasına sebep olmaktadır. Bu alt başlık altında, MZÇ ve OZÇ ile elde edilen çizelgeler, derslik kullanım oranları açısından değerlendirilmiştir.

Bu karşılaştırma için öncelikle MZÇ ile oluşturulan Atatürk Üniversitesi Mühendislik Fakültesi 2016-2017 güz dönemi ders programları, derslik kullanımı açısından incelenmiştir. Elde edilen sonuçlar Çizelge 4.7 ve Çizelge 4.8’de sunulmuştur.

Çizelge 4.7. Bölüm ders programları için kapasite üstü derslik kullanımına ait veriler (MZÇ)

Bölümler	Örgün Öğr.		İkinci Öğr.	
	Ortalama doluluk %	Sayı	Ortalama doluluk %	Sayı
Bilgisayar Müh.	132	6	143	4
Çevre Müh.	0	0	0	0
Kimya Müh.	121	3	103	1
Metalürji Müh.	0	0	0	0
Endüstri Müh.	114	4	105	2
Makine Müh.	120	8	119	4
Elk.Elektronik Müh.	0	0	123	4
İnşaat Müh.	119	9	127	11
TOPLAM		30		26

Kapasite üstü kullanılan derslik sayıları, Çizelge 4.7’de örgün ve ikinci öğretim olmak üzere her bölüm için ayrı ayrı sunulmuştur. Ayrıca, kapasite üstü kullanılan dersliklerin

ortalama doluluk oranları da sunulmuştur. Bölümlerin derslikleri hangi doluluk oranında kılındığına dair veriler Çizelge 4.8’de sunulmuştur. Çizelge 4.8 oluşturulurken kapasite üstü kullanılan derslikler hariç tutulmuştur.

Çizelge 4.8. Bölümlerin ders programları için derslik doluluk oranları (MZÇ)

Bölümler	MZÇ	
	Örgün Öğr.	İkinci Öğr.
Bilgisayar Müh.	%65	%64
Çevre Müh.	%54	%38
Kimya Müh.	%54	%43
Metalürji Müh.	%57	%24
Endüstri Müh.	%70	%66
Makine Müh.	%60	%60
Elk.Elektronik Müh.	%69	%63
İnşaat Müh.	%66	%61
Genel Ortalama	%57	

Her iki tablodan görüleceği üzere dersliklerin bir havuzdan merkezi bir şekilde çizelgelenmemesi, bir taraftan kapasite üstü kullanıma, diğer taraftan verimsiz kullanıma sebep olmuştur.

Daha sonra derslik atama için oluşturulan model, her iki amacın farklı ağırlıkları için çalıştırılmış ve karşılaştırmalı sonuçlar Çizelge 4.9’da sunulmuştur. En yüksek derslik kullanım oranına (%71) oturumların mümkünse bölümlere tahsis edilen dersliklere atanmasını sağlayan amacın ihmal edildiği durumda ($w_{g1}=0$, $w_{g2}=1$) ulaşılmıştır. Ancak bu durumda bir bölüme ait oturumun, daha uygun (örneğin mesafece daha yakın) bir derslik varken, çok da uygun olmayan bir dersliği atanması gibi olumsuz durumla karşılaşmıştır.

Çizelge 4.9. Farklı ağırlık katsayıları için manuel çizelgeleme ve optimizasyon modeli ile çizelgelemede elde edilen derslik kullanım oranları

Bölümler	MZÇ		OZÇ							
			wg ₁ :1, wg ₂ :0		wg ₁ :1, wg ₂ :1		wg ₁ :0, wg ₂ :1		wg ₁ :1, wg ₂ :5	
	Örgün	İkinci	Örgün	İkinci	Örgün	İkinci	Örgün	İkinci	Örgün	İkinci
Bilgisayar Müh.	%65	%64	%67	%66	%72	%72	%79	%78	%78	%76
Çevre Müh.	%54	%38	%58	%52	%71	%57	%71	%46	%73	%57
Kimya Müh.	%54	%43	%58	%43	%71	%49	%73	%49	%75	%50
Metalürji Müh.	%57	%24	%53	%24	%52	%24	%54	%22	%51	%24
Endüstri Müh.	%70	%66	%71	%69	%73	%71	%80	%76	%77	%73
Makine Müh.	%60	%60	%71	%64	%82	%71	%85	%76	%84	%73
Elk.Elekt. Müh.	%69	%63	%61	%61	%84	%78	%89	%88	%88	%87
İnşaat Müh.	%66	%61	%73	%68	%77	%70	%84	%78	%83	%75
Ortalama	%62	%52	%64	%56	%73	%62	%77	%64	%76	%64
Genel Ortalama	%57		%60		%67		%71		%70	

MZÇ’de toplam 56 (Çizelge 4.8) oturuma kapasite üstü derslik atanmış ve derslikler %57 doluluk oranında kullanılmış iken, optimizasyon modeli ile yapılan çizelgelemede kapasite üstü derslik ataması olmayıp derslik kullanım oranı wg₁:1 ve wg₂:0 durumunda %60 olarak gerçekleşmiştir. 12 oturuma, fakültenin kapasite bakımından uygun dersliği olmadığından derslik atanamamıştır.

5. SONUÇ

Bu çalışmada üniversitelerin büyük insan kaynağı ve zaman harcadıkları MBZÇP'ye kapsamlı bir çözüm önerilmiştir. Problemin değişken yapısı nedeniyle, literatürde önerilen yaklaşımlar, sadece ilgili fakültenin veya en fazla ilgili üniversitenin ihtiyaçlarını karşılayacak şekilde olduğu görülmektedir. Bu tez kapsamında MBZÇP'nin çözümü için, hem içerdiği çözüm yaklaşımı hem de arayüzüyle oldukça esnek WEB tabanlı bir karar destek sistemi (KDS) geliştirilmiştir. acadeMix ismi verilen KDS, fakültelerin sisteme değil, sistemin fakültele rahatlıkla uyarlanabildiği bir çözüm olarak tasarlanmıştır. Geliştirilen KDS, teknik alt yapısı ve açık platformu sayesinde, üzerinde kolaylıkla geliştirme yapabilme imkânı sunmaktadır. Bu sayede hem kullanan fakülte yönetimi hem de sistemi sürdürmekle görevli uzmanlar, var olan çözüm yaklaşımını ve arayüzü, süreçlere uygun hale getirmek, gerekirse ek fonksiyonlar geliştirmek için sınırsız imkâna kavuşmuşlardır.

Literatürde MBZÇP için yapılmış birçok tarama çalışma bulunduğundan bu çalışmada tam sayılı programlama yaklaşımları ve KDS içeren çalışmalar mercek altına alınmıştır. Çeşitli parametrelere göre sınıflandırılarak incelenen bu çalışmalar çizelgeler halinde sunulmuştur.

Bu çalışmada MBZÇP'nin çözümü için çok aşamalı tam sayılı programlama tabanlı bir yaklaşım geliştirilmiştir. Önerilen teknik, tam sayılı programlama yaklaşımlarının esnekliğini ve sezgisel algoritmaların çözüm hızını beraber barındırmaktadır. Hiyerarşik tam sayılı programlama ismi verilen bu teknikte, MBZÇP oturum atama ve derslik atama olmak üzere iki alt probleme ayrılmış ve her iki alt problem için ayrı ayrı modeller geliştirilmiştir. Oturum atama alt problemi için geliştirilen model her bölüm için ayrı ayrı uygulanarak, bu alt problem için de bir hiyerarşi oluşturulmuştur. Derslik atama alt problemi için oluşturulan model ise fakültenin tamamı için çözülmüştür.

Problemin parçalar halinde birbirinden bağımsız bir şekilde çözüldüğü bu yaklaşımda karşılaşılan en büyük zorluk çakışmaların önlenmesidir. Bu doğrultuda her aşamayı bir birine girdi-çıkı ilişkisi ile bağlayan C# programlama dili ile otomatik bir prosedür geliştirilmiştir.

Geliştirilen modeller bir kısıt kütüphanesi şeklinde düşünülmüştür. Kullanıcı kendi fakültesi için gerekli kısıtları aktif ederek uygun modeli oluşturabilmektedir. Ayrıca kullanıcı amaçların ağırlıklarını değiştirerek sonucu istediği şekilde yönlendirebilmektedir. Amaç ağırlıklarını belirlemek üzere fakülte veya bölüm yönetimlerinin, AHP/ANP çalışması yaptırmaları önerilmektedir. Bu yaklaşım ile geliştirilen çözümün mümkün olduğunca genele hitap etmesi amaçlanmıştır.

Üretim çizelgeleme problemlerinde, parametreleri önceden bilinen makineler veya çok fazla tercih hakkı olmayan işçiler çizelgelenmektedir. Bu tip çizelgeleme problemleri için geliştirilen yazılımların işletilebilmesi için, veri girecek ve sistemi çalıştırıp, raporları alacak bir operatör yeterlidir. Ancak MBZÇP’de, durum bu kadar basit değildir. Çünkü MBZÇP’de çok fazla parametreye sahip kaynaklar çizelgelenmektedir. Örneğin dersi alan öğrenci sayıları, derslerin açılacağı grup sayıları, dersi veren öğretim üyesi her dönem değişebilecek parametrelerdir. Bir diğer zorluk dersleri çizelgelenen öğretim üyelerinin, çizelgeleme sürecinde büyük etkilerinin olmasıdır. Dolayısıyla mümkün olduğunca gerçeğe yakın çizelgeler elde etmek için öğretim üyelerinin çizelgeleme sürecine dâhil edilmesi gerekmektedir.

Bu tez kapsamında belirtilen ihtiyaçları karşılamak üzere Web tabanlı, kullanıcı dostu arayüze sahip bir KDS tasarlanmıştır. Tasarlanan WEB tabanlı KDS ile hem her dönem değişen parametrelerin sisteme aktarımının kolay ve hızlı şekilde yapılması sağlanmış hem de öğretim üyelerinin tercihlerinin çizelgeleme sürecine dâhil edilmesi sağlanmıştır. KDS’nin WEB tabanlı tasarlanması ve ortak bir veri tabanı kullanılıyor olması şu faydaları beraberinde getirmiştir:

- Fakültenin, hatta üniversitenin tüm derslikleri tek bir havuzda toplanmıştır. Bu da dersliklerin daha verimli kullanımını sağlamıştır.
- Dersliklerin en güncel kullanım durumu kullanıcıya sunulmuştur. Böylelikle hem ders hem de sınav çizelgeleri oluşturulurken derslik çakışmalarının önüne geçilmiştir. Çizelgeleme süreci sonrasında ise çeşitli sebeplerden dolayı (seminer, ek ders, tez savunması, vb.) ortaya çıkan derslik ihtiyacı, daha az bürokrasi ile ve yine çakışmaya mahal vermeden karşılanmıştır.
- Bölüm ders çizelgesi oluşturulurken, farklı bölümlerde veya farklı fakültelerde hatta sistemi kullanan farklı üniversitelerde görevli öğretim üyelerinin ders çizelgeleri dikkate alınmaktadır. Böylelikle öğretim üyeleri açısından hem çakışmaya mahal verilmemiş hem de öğretim üyelerini ilgilendiren kısıtlar sağlanmıştır. Örneğin öğretim üyeleri için günlük en fazla 4 saat ders atansın şeklindeki bir kısıt diğer bölüm, fakülte veya üniversitelerde verdikleri ders süreleri de dikkate alınarak sağlanmış olacaktır.
- Kaynakların tek bir veri tabanında toplanması, bölüm koordinatörlerine eş zamanlı çalışma imkânı vermiştir. Çok kullanıcılı olarak tasarlanan bu sistemle, bölüm koordinatörlerine daha az yüzyüze iletişim ile ve daha hızlı bir şekilde çizelgelere müdahale imkânı sunulmuştur.
- Daha az personele ihtiyaç duyularak, çok daha kısa sürede, fakülte gereksinimleri doğrultusunda çizelgeler oluşturulabilmektedir.

Son bölümde sistem tarafından hazırlanan ders çizelgesi (OZÇ), klasik yöntemle, yani koordinatörlerce manuel hazırlanan ders çizelgesi (MZÇ) ile önceden belirlenen kriterler bakımından karşılaştırmalı bir şekilde değerlendirilmiştir. Elde edilen sayısal sonuçlar; kabul edilebilir zamanda, daha az derslik çakışması, hafta içerisine daha dengeli dağılım, daha verimli derslik kullanımı gibi bir çok kriter bakımından OZÇ'nin MZÇ'ye üstünlük sağladığını göstermiştir.

Sonuç olarak bu çalışmada, çizelgeleme sürecindeki tüm unsurların (fakülte yönetimi, öğretim üyeleri, gözetmenler) sisteme dâhil edilmesi ile kabul edilebilir çizelgeler oluşturulması amaçlanmıştır. Gerçek hayatta karşılaşılan, öngörülemeyen veya formüle

edilemeyen durumları da çizelgelere yansıtmak için kullanımı kolay akıllı ekranlar tasarlanmıştır. Geliştirilen WEB tabanlı KDS www.acade-mix.com adresinde yayımlanmıştır. İzlenen yöntem ile bu çalışma, raflarda kalacak, sadece akademik bir çalışma olmaktan çıkarılmış, pratik hayatta kullanılan, yaşayan ve sürekli gelişen bir çizelgeleme platformu haline getirilmiştir.

WEB tabanlı KDS'nin geliştirilmesi sırasında karşılaşılan bir takım teknik olumsuzluklar ve çözüm önerileri aşağıdaki gibi özetlenebilir:

Hazırlanan KDS, klasik WEB hosting üzerinden yayımlanmıştır. Güvenlik sebebiyle klasik WEB hosting ile tam yetkiye sahip dll (dynamic link libraries: aynı anda birden fazla program tarafından kullanılabilen verileri içeren kitaplık) çalıştırılmamaktadır. Bu tarz çalışmalar yapacak araştırmacıların bulut sunucu veya fiziksel sunucu kullanmaları gerekmektedir. Fiziksel sunucuların yüksek maliyeti nedeni ile bulut sunucu kullanımı tavsiye edilmektedir. Ayrıca klasik hosting hizmetleri, CPU kullanımı için belirli sınırlamalar getirmektedir (örneğin saniyedeki CPU kullanımı host makinesinin %25'ini aşamaz). Bu tarz sınırlamaların olmadığı bulut sunucular zor problemlerin çözümü için geliştirilmiş algoritmaları çalıştıran uygulamalar için önerilmektedir.

Çok kullanıcılu bu tarz KDS tasarımlarında veri tabanı tasarlanırken, normalizasyon adımlarının hiç biri atlanmadan özenli bir şekilde yapılmalıdır. Çünkü veri tabanında normalizasyon, veri bütünlüğünün korunması, veri tekrarının önüne geçilerek veri tabanının gereksiz büyümesinin engellenmesi ve sonuç olarak verilerin doğru ve etkin biçimde kullanılması açısından kilit bir öneme sahiptir.

WEB uygulamaları, masa üstü uygulamalarından farklı olarak bir sunucu üzerinde çalışmakta ve aynı anda birden fazla kullanıcıya hizmet vermektedir. Bu tip yazılımların etkili bir şekilde tüm kullanıcılar tarafından kullanılabilmesi için kodların sunucuyu yormayacak şekilde optimize edilmesi gerekmektedir.

Gelecek çalışma olarak, performansını artırmaya yönelik olarak paralel programlama mimarisini kullanarak, oluşturulan hiyerarşik çözüm yaklaşımı tekrar ele alınacaktır. Paralel programlama, bir problemi birden fazla bilgisayar veya işlemci kullanarak daha kısa zamanda hesaplamayı amaçlamaktadır. Bu yöntemle sıralı yöntemlerle hesaplanamayan veya çözümü uzun zaman alan problemler, paralel bilgisayarlar ve çoklu-threadler sayesinde kabul edilebilir zamanda hesaplanabilmektedir. Oturum atama aşamasında her müfredat grubunu birbirinden bağımsız olarak ele alınmaktadır. Bu da paralel programlama mimarisinin kullanımına imkân vermektedir.

Ayrıca gelecek çalışma olarak, ders veya sınav sürelerinin değişken olduğu akademik ders veya sınav çizelgelerinin çözümü için tam sayılı programlama esaslı bir çözücü geliştirilmesi planlanmaktadır.

KAYNAKLAR

- Abdennadher, S. and Marte, M., 2000. University course timetabling using constraint handling rules. *Applied Artificial Intelligence*, 14, 311-325.
- Abdullah, S. and Turabieh H., 2012. On the use of multi neighbourhood structures within a tabu-based memetic approach to university timetabling problems. *Information Sciences*, 91, 146-168.
- Aizam, N.A. and Liong C.Y., 2013. Mathematical Modelling of University Timetabling: A mathematical programming approach. *International Journal of Applied Mathematics and Statistics*, 37(7), 110-122.
- Akkoyunlu, E.A., 1972. A linear algorithm for computing the optimum university timetable. *The Computer Journal*, 16(4), 347-350.
- Al-Milli, N., 2010. Hybrid genetic algorithms with great deluge for course timetabling. *International Journal of Computer Science and Network Security*, 10(4), 283-288.
- Altunay, H, Eren T., 2017. Ders programı çizelgeleme problemi için bir literatür taraması. *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 23(1), 55-70.
- Alvarez-Valdes, R., Crespo E., and Tamarit J. M., 2002. Design and implementation of a course scheduling system using Tabu Search. *European Journal of Operational Research*, 137, 512–523.
- Al-Yakoob, S.M. and Sherali H.D., 2007. A mixed-integer programming approach to a class timetabling problem: A case study with gender policies and traffic considerations. *European Journal of Operational Research*, 180, 1028–1044.
- Baker, R. K. and Trietsch D., 2009. *Principles of Sequencing and Scheduling*, John Wiley & Sons, NJ.
- Bakır, M.A. ve Aksop C., 2008. A 0-1 integer programming approach to a university timetabling Problem. *Hacettepe Journal of Mathematics and Statistics*, 37(1), 41–55.
- Basir, N., Ismail W. and Norwawi N.M., 2013. A simulated annealing for tahmidi course timetabling. *Procedia Technology*. 11, 437–445.
- Blazewicz, J., Dror M., and Weglarz. J., 1991. Mathematical programming formulations for machine scheduling: a survey. *European Journal of Operations Research*, 51, 283-300.
- Bonczek, R.H., Holsaple C. W. and Whinston A.B., 1981. *Foundations of Decision Support Systems*. Academic Press, New York.
- Bowman, E. H., 1959. The scheduling sequence problem. *Operations Research*, 7, 621-624.
- Burke, E.K, de Werra D., and Kingston J., 2004. Applications to timetabling, In: *Handbook of Graph Theory*, Section 5.6, 445-474, CRC Press London.
- Burke, E.K., McCollum B., Meisels A., Petrovic S. and Qu R., 2007. A graph-based hyper-heuristic for educational timetabling problems. *European Journal of Operational Research*, 176, 177–192.

- Burke, E.K., Mareceka J., Parkesa A.J. and Rudová H., 2010. Decomposition, reformulation and diving in university course timetabling. *Computers & Operations Research*, 37, 582-597.
- Cacchiani, V., Caprara A., Roberti R. and Toth P., 2013. A new lower bound for curriculum – based course timetabling. *Computers & Operations Research*, 40, 2466–2477.
- Castro, P.M., Barbosa-Po’voa A.P., Matos H. and Novais A.O., 2004. Simple Continuous-Time Formulation for Short-Term Scheduling of Batch and Continuous Processes. *Industrial & Engineering Chemistry Research* 43, 105-118.
- Cerda, J. and Henning G.P., 1997. A Mixed-Integer Linear Programming Model for Short-Term Scheduling of Single-Stage Multiproduct Batch Plants with Parallel Lines. *Industrial & Engineering Chemistry Research* 36, 1695-1707.
- Ceschia, S., Di Gaspero L. ve Schaerf, A., 2012. Design, engineering, and experimental analysis of a simulated annealing approach to the post-enrolment course timetabling problem, *Computers & Operations Research*, 39, 1615–1624.
- Chiarandini, M., Birattari M., Socha K. and Rossi-Doria O., 2006. An effective hybrid algorithm for university course timetabling. *Journal of Scheduling*, 9, 403-432.
- Cooper, T.B. and Kingston J.H., 1996. The complexity of timetable construction problems. *Practice and Theory of Automated Timetabling Lecture Notes in Computer Science*, 1153, 281-295.
- Cura, T., 2007. Timetabling of faculty lectures using simulated annealing algorithm. *İstanbul Ticaret Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 12, Güz 2007/2, 1-20.
- Daskalaki, S., Birbas T. and Housos E., 2004. An integer programming formulation for a case study in university timetabling, *European Journal of Operational Research*, 153, 117-135.
- Demir, Y. and Çelik C., 2016. Müfredat bazlı Akademik zaman çizelgeleme probleminin çözümüne tam sayılı doğrusal programlama yaklaşımı. *Journal of The Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, 31(1), 145-159.
- Demir, Y. and İşleyen S.K., 2013. Evaluation of mathematical models for flexible job-shop scheduling problems. *Applied Mathematical Modelling*, 37(3), 977-988.
- Di Gaspero, L. and Schaerf L., 2003. A Multi-neighbourhood local search with application to course timetabling”, *Proceedings of the 4 th International Conference On The Practice and Theory of Automated Timetabling (PATAT-2002)*, *Lecture notes in computer science*, 2740, Springer-Verlag, 262–75.
- Di Gaspero, L., Schaerf A. and McCollum, B., 2007. The Second International Timetabling Competition (ICT-2007) Curriculum-based Course Timetabling (Track 3).
- Dimopoulou, M. and Miliotis P., 2001. Implementation of a university course and examination timetabling system. *European Journal of Operational Research*, 130, 202-213.
- Dimopoulou, M. and Miliotis P., 2004. An automated university course timetabling system developed in a distributed environment: A case study. *European Journal of Operational Research*, 153, 136–147.
- Fenk, X., Lee Y. and Moon I., 2016. An integer program and a hybrid genetic algorithm for the university timetabling problem. *Optimization Methods and Software*, 32(3), 625-649.

- Ferland, J.A., and Fleurent, C., 1994. SAPHIR: A Decision Support System for Course Scheduling. *Interfaces*, 24(2), 105-115.
- Floudas, C.A. and X. Lin. 2004. Continuous-time versus discrete-time approaches for scheduling of chemical processes: a review. *Computers and Chemical Engineering*, 28, 2109-2129.
- Foulds, L.R. and Johnson D.G., 2000. SlotManager: a microcomputer-based decision support system for university timetabling. *Decision Support Systems*, 27, 367-381.
- Frangouli, H., Harmandas V. and Stamatopoulos P., 1995. UTSE: Construction of Optimum Timetables for University Courses - A CLP Based Approach. In: *Proceedings of the 3rd International Conference on the Practical Applications of Prolog PAP'95*, Paris, 225-243.
- Gökçen, H., 2007. *Yönetim Bilgi Sistemleri*, Palme Yayıncılık, Ankara.
- Gunadhi, H., Anand V.,J. and Yong Y.W., 1996. Automated Timetabling Using an Object-oriented Scheduler. *Expert Systems With Applications*, 10(2), 243-256.
- Gunawan, A., Ng K.M. and Poh K.L., 2007. Solving the teacher assignment-course scheduling problem by a hybrid algorithm. *International Journal of Mechanical, Aerospace, Industrial and Mechatronics Engineering*, 1(9), 259-264.
- Gülcü A., 2006. Yapay zeka tekniklerinden genetik algoritma ve tabu arama yöntemlerinin eğitim kurumlarının haftalık ders programlarının hazırlanmasında kullanımı, Yüksek Lisans Tezi, Marmara Üniversitesi, Fen Bilimler Enstitüsü.
- Gülcü, A., 2014. A comprehensive timetabling at Marmara University, Doktora Tezi, Marmara Üniversitesi, Fen Bilimler Enstitüsü.
- Henz, M. and Würtz J., 1996. Constraint-based timetabling a case study. *Applied Artificial Intelligence*, 10(5), 439-453.
- Hinkin, T.R. and Thompson G., 2002. SchedulExpert: Scheduling Courses in the Cornell University School of Hotel Administration. *Interfaces*, 32(6), 45-47.
- Ierapetritou, M.G. and Floudas C.A., 1998. Effective Continuous-Time Formulation for Short-Term Scheduling. 1. Multipurpose Batch Processes. *Industrial & Engineering Chemistry Research*, 37, 4341-4359.
- Johnson, D., 1993. A Database Approach to Course Timetabling, *The Journal of the Operational Research Society*, 44(5), 425-433.
- Keen, P. G. W. and Morton S., 1978. *Decision Support Systems: An Organizational Perspective*. Reading, MA: Addison-Wesley.
- Keha, A. B., Ketan K. and Fowler W., 2009. Mixed integer programming formulations for single machine scheduling problems. *Computers & Industrial Engineering*, 56(1), 357-367.
- Köçken, H.G., Özdemir R., ve 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.
- Lach, G. and Lübbecke M.E., 2012. Curriculum based course timetabling: new solutions to Udine benchmark instances. *Annals of Operations Research*, 194, 255-272.
- Lewis, R., Paechter B. and McCollum, B., 2007. Post enrolment based course timetabling: a description of the problem model used for track two of the second international timetabling competition. *Cardiff Accounting and Finance Working Papers A2007/3*, Cardiff University, Wales. ISSN: 1750-6658, v1.0.

- Lin, X. and Floudas, C.A., 2002. Continuous-Time Optimization Approach for Medium-Range Production Scheduling of a Multiproduct Batch Plant. *Industrial & Engineering Chemistry Research*, 41, 3884-3906.
- Little, J. D. C., 1970. Models and Managers: The Concept of a Decision Calculus. *Management Science*, 16(8) , 466-485.
- Lu, J., Zhang, G., Ruan D. and Wu F., 2007. Multi-Objective Group Decision Making: Methods Software and Applications with Fuzzy Set Technigues, Singapore: Imperial Collage Press.
- Lü Z. ve Hao J., 2010. Adaptive Tabu Search for course timetabling. *European Journal of Operational Research*, 200, 235–244.
- Manne, A. S., 1960. On the job-shop scheduling problem. *Operations Research*, 8, 219-223.
- Marakas, G. M., 1999. *Decision Support Systems: In the Twenty First Century*, Prentice Hall, New Jersey.
- Maravelias, C.T. and Grossmann I.E., 2003. New General Continuous-Time State-Task Network Formulation for Short-Term Scheduling of Multipurpose Batch Plants. *Industrial & Engineering Chemistry Research*, 42, 3056-3074.
- Mareček, J., 2009. Course timetabling with integer programming, Doktora tezi, Masaryk University.
- Martin, C.H. 2004. Ohio University's College of Business Uses Integer Programming to Schedule Classes. *Interfaces* 34(6, 460-465.
- Miranda, J., 2010. eClasSkeduler: A Course Scheduling System for the Executive Education Unit at the Universidad de Chile. *Interfaces*, 40 (3), 196-207.
- Miranda, J., Rey P.A. and Robles J.M., 2012. udpSkeduler: A Web architecture based decision support system for course and classroom scheduling. *Decision Support Systems*, 52, 505-513.
- MirHassani, S. A., 2006. A Computational Approach to Enhancing Course Timetabling with Integer Programming. *Applied Mathematics and Computation*, 175, 814-822.
- Müller, T., 2005. Constraint-based timetabling. PhD thesis, Faculty of Mathematics and Physics, Charles University, Prague, Czech Republic.
- Nothegger, C., Mayer A., Andreas C. A. and Raidl G.R., 2012. Solving the post enrolment course timetabling problem by ant colony optimization. *Annals of Operations Research*, 194, 325-339.
- Özak, O. ve Saraç, T., 2013. Haftalık ders programının oluşturulması problemi için bir matematiksel model. 9. Endüstri İşletme Mühendisliği Kurultayı, Eskişehir, 77-88.
- Öztürk, Z. K., 2010. Eğitimsel Zaman Çizelgeleme Problemleri İçin Çözüm Yaklaşımları ve Web Tabanlı Bir Karar Destek Sistemi Önerisi, Doktora Tezi, Osmangazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Eskişehir.
- Paechter, B., Rankin R.C., Cumming A., Fogarty T.C., 1998. Timetabling the Classes of an Entire University with an Evolutionary Algorithm. *Lecture Notes in Computer Science*, 1498, 865-874.
- Pan, C-H., 1997. A study of integer programming formulations for scheduling problems. *International Journal of Systems Science*, 28, 33-41.

- Petrovic, S., and Burke E.K., 2004. University timetabling, In J. Leung, editor, Handbook of Scheduling: Algorithms, Models, and Performance Analysis, Chapter 45. Chapman Hall/CRC Press.
- Pinedo, M., 1995. Scheduling Theory, Algorithms and Systems. Prentice-Hall, Inc., 378 p, New Jersey, USA.
- Pinto, J.M. and Grossmann I.E., 1995. A Continuous Time Mixed Integer Linear Programming Model for Short Term Scheduling of Multistage Batch Plants. Industrial & Engineering Chemistry Research, 34, 3037-3051.
- Power, D.J., 2007. A Brief History of Decision Support Systems. DSSResources.COM, World Wide Web, <http://DSSResources.COM/history/dsshhistory.html>, version 4.0, March 10.
- Qualizza, A., Serafini P., 2004. A Column Generation Scheme for Faculty Timetabling. International Conference on the Practice and Theory of Automated Timetabling, 161-173.
- Sánchez-Partida, D., Luis, M-F. L.J. and Olivares-Benítez, E., 2013. Modeling and solving a timetabling problem considering time windows and consecutive periods. 5th International Conference on Applied Operational Research, Lizbon-Portugal, 5, 25–32.
- Schaerf, A., 1999. A survey of automated timetabling. Artificial Intelligence Review, 13 (2), 87-127.
- Schimmelpfeng, K., and Helber S., 2007. Application of a real-world university-course timetabling model solved by integer programming. OR Spectrum, 29, 783-803.
- Shiau, D., 2011. A hybrid particle swarm optimization for a university course scheduling problem with flexible preferences. Expert Systems with Applications. 38, 235-248.
- Socha, K., Knowles J. and Sampels M., 2002. A MAX-MIN ant system for the university course timetabling problem. Proceedings of the 3rd International Workshop on Ant Algorithms Lecture Notes in Computer Science, 2463, 1-13.
- Sprague, R.H., Carlson E.D., 1982. Building effective decision support systems, Crolrier Computer Science Library.
- Stallaert, J., 1997. Automated Timetabling Improves Course Scheduling at UCLA. Interfaces, 27(4), 67-81.
- Sundaramoorthy, A. and Karimi I.A., 2005. A simpler better slot-based continuous-time formulation for short-term scheduling in multipurpose batch plants. Chemical Engineering Science, 60, 2679 -2702.
- TBD Kamu-BİB Kamu Bilişim Platformu XII, 2010. Kamuda Karar Destek Sistemlerinin Kullanımı ve Bir Model Önerisi. TBD Kamu-BİB Kamu Bilişim Platformu 12, 13-16 Mayıs, Antalya.
- Thepphakorn, T., Pongcharoen P. and Hicks C., 2014. An ant colony based timetabling tool. International Journal of Production Economics, 149, 131-144.
- Turban, E., 1993. Decision Support and Expert Systems: Management Support Systems, Macmillan Publishing Company , Third Edition, New York.
- Tümüklü, M.U., 2010. Ders programı hazırlamaya yönelik bir matematiksel programlama yaklaşımı. Yüksek Lisans Tezi, Erciyes Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü.

- Unlu, Y., Mason S. J., 2010. Evaluation of mixed integer programming formulations for non-preemptive parallel machine scheduling problems. *Computers & Industrial Engineering*, 58, 785-800.
- Vermuyten, H., Lemmens B., Marques I., and Beliën J., 2016. Developing compact course timetables with optimized student flows. *European Journal of Operational Research*, 251, 651-661.
- Wagner, H. M., 1959. An integer linear programming model for machine scheduling. *Naval Research Logistics Quarterly*, 6, 131-140.
- Zehra, K.Ö., 2010. Solution Approaches for Educational Timetabling Problems and a Web Based Decision Support System Proposal. Ph.D. Thesis, Osmangazi Üniversitesi, Eskişehir.



ÖZGEÇMİŞ

1983 yılında Elazığ’da doğdu. İlk, orta ve lise öğrenimini Malatya’da tamamladı. 2006 yılında Gazi Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Endüstri Mühendisliği Bölümünde lisans eğitimini tamamladı. 2010 yılında Atatürk Üniversitesi’nde araştırma görevlisi olarak göreve başladı. Aynı üniversitede Fen Bilimleri Enstitüsü Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalında yüksek lisans eğitime başladı. Evli ve iki çocuk babası olan Yunus Demir, halen Atatürk Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Endüstri Mühendisliği Bölümünde araştırma görevlisi olarak çalışmaktadır.