



ÇOK AMAÇLI DERS ÇİZELGELEME PROBLEMİNİN ÇÖZÜMÜ İÇİN METASEZGİSEL
YAKLAŞIM ÖNERİSİ

Esra CAN

Yüksek Lisans Tezi

Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı

Ocak - 2019

ÇOK AMAÇLI DERS ÇİZELGELEME PROBLEMİNİN ÇÖZÜMÜ İÇİN METASEZGİSEL
YAKLAŞIM ÖNERİSİ

Esra CAN

Kütahya Dumlupınar Üniversitesi
Lisansüstü Eğitim Öğretim ve Sınav Yönetmeliği Uyarınca
Fen Bilimleri Enstitüsü Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalında
YÜKSEK LİSANS TEZİ
Olarak Hazırlanmıştır.

Danışman: Prof. Dr. Özden ÜSTÜN

Ocak-2019

KABUL VE ONAY SAYFASI

Esra CAN'ın YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak hazırladığı ÇOK AMAÇLI DERS ÇİZELGELEME PROBLEMİNİN ÇÖZÜMÜ İÇİN METASEZGİSEL YAKLAŞIM ÖNERİSİ başlıklı bu çalışma, jürimizce Kütahya Dumlupınar Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Öğretim ve Sınav Yönetmeliğinin ilgili maddeleri uyarınca değerlendirilerek kabul edilmiştir.

09/01/2019

Prof. Dr. Önder UYSAL
Enstitü Müdürü, Fen Bilimleri Enstitüsü

Prof. Dr. Özden ÜSTÜN
Bölüm Başkanı, Endüstri Mühendisliği Bölümü

Prof. Dr. Özden ÜSTÜN
Danışman, Endüstri Mühendisliği Bölümü

Sınav Komitesi Üyeleri

Prof. Dr. Özden ÜSTÜN
Endüstri Mühendisliği Bölümü, Kütahya Dumlupınar Üniversitesi

Doç. Dr. Tuğba SARAÇ
Endüstri Mühendisliği Bölümü, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi

Dr. Öğr. Üyesi Derya Deliktaş
Endüstri Mühendisliği Bölümü, Kütahya Dumlupınar Üniversitesi

ETİK İLKE VE KURALLARA UYGUNLUK BEYANI

Bu tezin hazırlanmasında Akademik kurallara riayet ettiğimizi, özgün bir çalışma olduğunu ve yapılan tez çalışmasının bilimsel etik ilke ve kurallara uygun olduğunu, çalışma kapsamında teze ait olmayan veriler için kaynak gösterildiğini ve kaynaklar dizininde belirtildiğini, Yüksek Öğretim Kurulu tarafından kullanılmak üzere önerilen ve Kütahya Dumlupınar Üniversitesi tarafından kullanılan İntihal Programı ile tarandığını ve benzerlik oranının % 9 çıktığını beyan ederiz. Aykırı bir durum ortaya çıktığı takdirde tüm hukuki sonuçlara razı olduğumuzu taahhüt ederiz.

Prof. Dr. Özden ÜSTÜN

Esra CAN

ÇOK AMAÇLI DERS ÇİZELGELEME PROBLEMİNİN ÇÖZÜMÜ İÇİN METASEZGİSEL YAKLAŞIM ÖNERİSİ

Esra CAN

Endüstri Mühendisliği, Yüksek Lisans Tezi, 2019

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Özden ÜSTÜN

ÖZET

Zaman Çizelgeleme problemleri, eğitim kurumlarından havayolu şirketlerine, hızlı yemek sektöründen kongre organizasyon faaliyetlerine kadar gerçek hayatta yaygın şekilde karşılaşılan problemlerdir. Bu problem, değişen kısıt ve amaç fonksiyonu yapıları ve çözümlerinin zorluğu nedeniyle hem uygulayıcıların hem de akademisyenlerin yoğun ilgisini çekmektedir. Polinom zamanda çözülemeyen NP-Zor problemler sınıfına giren çizelgeleme problemlerinde çözüm sürecinde karşılaşılan zaman kayıplarını ortadan kaldırmak, ortaya çıkan fazla sayıda kısıt, değişken ve veri ile başedebilmek için sezgisel algoritmalara başvurulmaktadır. Bu çalışmada, Kütahya Dumlupınar Üniversitesi Endüstri Mühendisliği Bölümü Lisans normal öğretim ders programı hazırlama problemi için bir matematiksel model önerilmiş ve sezgisel yaklaşımlardan olan Yasaklı Arama (YA) Algoritması'ndan yararlanılmıştır. Problem birden fazla amaca sahip olduğu için çok amaçlı optimizasyon problemi olarak ele alınmıştır. Oluşturulan iki amaç fonksiyonundan birincisinde öğrencilerin toplam ders çakışması en küçüklenirken, diğerinde Analitik Hiyerarşi Prosesi (AHP) ile belirlenen öğretim elemanı tercihleri toplamı en büyüklenmeye çalışılmıştır. Amaç fonksiyonlarını birleştirmek için Konik Skalerleştirme Yöntemi kullanılmıştır. Elde edilen veriler kullanılarak YA Yöntemi ile probleme uygun bir algoritma tasarlanmış, Excel Visual Basic programlama dili kullanılarak bir yazılım geliştirilmiştir. Yapılan deney sonuçları, Minitab Programı kullanılarak Varyans Analizi ile değerlendirilmiş, sonuçlar karşılaştırılmış ve en tatmin edici çözüm bulunmaya çalışılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Analitik Hiyerarşi Prosesi, Deney Tasarımı, Konik Skalerleştirme, Optimizasyon, Yasaklı Arama, Zaman Çizelgeleme.

METAHEURISTIC APPROACH FOR THE SOLUTION OF THE MULTIOBJECTIVE COURSE SCHEDULING PROBLEM

Esra CAN

Industrial Engineering, MSc. Thesis, 2018

Thesis Supervisor: Prof. Dr. Özden ÜSTÜN

SUMMARY

Timetabling problems are commonly encountered in the real life from education institutions to airline companies, from fast food sector to congress organization activities. These problems draws the attention of both practitioners and academicians due to different conditions, structures of constraints and objective functions and difficulties for obtaining optimal solutions of the problem. In the real life timetabling problems are generally difficult to obtain optimal solutions due to structures. Scheduling problems are an NP-hard problem. In this study, a mathematical model was proposed for the preparation of undergraduate program in Kütahya Dumlupınar University Department of Industrial Engineering and usage of the Tabu Search Algorithm. Because the problem has more than one objective, it is considered as a bi-objective optimization problem. One of objective functions is to minimize the students' course overlap and the other one is to determine the preferences of instructors by using AHP Method. Conic scalarization method was used to combine objective functions. By using the obtained data and the developed mathematical model, a software has been developed in Excel Visual Basic which is designed to solve the problem with the Tabu Search Algorithm. Variance Analysis was performed by using Minitab Program and results were compared and the most satisfactory solution was tried to be found.

Keywords: Analytic Hierarchy Process, Conic Scalarization, Experimental Design, Optimization, Tabu Search, Timetabling.

TEŞEKKÜR

Öncelikle çalışmam boyunca, engin görüş ve önerileri ile beni yönlendiren, sonsuz sabırla dinleyen, her konuda yardımcı olan, desteğini hiçbir zaman esirgemeyen, tüm sorularıma hoşgörüyüyle yaklaşan, kendisinden çalışmanın yanı sıra problemleri çözme ve yönetme konusunda da çok şey öğrendiğim hem mesleki hem de insani anlamda örnek aldığım çok değerli, kıymetli tez danışmanım Sayın Prof. Dr. Özden ÜSTÜN' e sonsuz teşekkür ederim.

Bu çalışmanın hazırlanmasında çalışmam ile ilgili yeni fikir ve ufuklar açan, büyük bir sabır, güler yüz ve hoşgörüyüyle yol gösteren, tüm bilgisini tereddüt etmeden paylaşan, danışmanım olmamasına rağmen gerektiğinde benim için değerli vaktini hiç çekinmeden ayıran, bilgi, deneyim ve donanımı ile çalışmalarına fazlasıyla katkı sağlayan, hakkını hiçbir zaman ödeyemeyeceğim çok kıymetli, değerli hocam Sayın Öğr. Gör. Şahin SAĞLAM'a sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Çalışmam süresince karşılaştığım problemlerde her zaman yardımcı olan, güler yüzle, sabırla beni dinleyen ve manevi anlamda da desteğini esirgemeyen Sayın Dr. Öğr. Üyesi Derya DELİKTAŞ'a teşekkür ederim.

Değerli vaktini ayırarak tez sınav jürimde yer alan saygıdeğer hocam Sayın Doç. Dr. Tuğba SARAÇ'a çok teşekkür ederim.

Varlıkları için her zaman şükrettiğim, hep yanımda ve arkamda dimdik duran, hayatımın her anında sevgi, hoşgörü, şefkat ve güvenlerini hissettiğim, bu günlere gelmemdeki emeklerini asla ödeyemeyeceğim, Sevgili annem emekli öğretmen Nebahat CAN'a, Sevgili babam emekli öğretmen Osman CAN'a, canım ablalarım Dr. Öğr. Üyesi Fatma CAN'a ve Uzman Dr. Hale Nur CAN'a bu süreçte bana olan inançlarını kaybetmedikleri ve bir gün çalışmamın başarıyla sonuçlanacağına inandıkları için sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
ÖZET	v
SUMMARY	vi
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	x
ÇİZELGELER DİZİNİ	xi
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	xii
1. GİRİŞ	1
2. ÇİZELGELEME PROBLEM TÜRLERİ.....	3
2.1. Çizelgeleme Problemleri.....	3
2.1.1. Zaman çizelgeleme problemleri.....	4
2.1.2. Ders çizelgeleme problemleri	4
3. DERS ÇİZELGELEME PROBLEMİ LİTERATÜR TARAMASI.....	5
4. DERS ÇİZELGELEME PROBLEMİ ÇÖZÜMÜNDE KULLANILAN YÖNTEMLER.....	14
4.1. Tamsayılı Doğrusal Programlama	14
4.2. Metasezgisel Yöntemler	14
4.2.1. Genetik algoritmalar	15
4.2.2. Tavlama benzetimi	15
4.2.3. Yerel arama algoritmaları.....	15
4.2.4. Yasaklı (Tabu) arama.....	16
5. ANALİTİK HİYERARŞİ PROSESİ UYGULAMA ADIMLARI.....	21
5.1. İkili Karşılaştırma Matrisi	22
5.2. Matris Tutarlılıklarının Hesaplanması.....	25
6. ÇOK AMAÇLI OPTİMİZASYONDA SKALERLEŞTİRME YÖNTEMLERİ.....	26
6.1. Ağırlıklı Toplam Yöntemi	26
6.2. Konik Skalerleştirme Yöntemi.....	27
7. DERS ÇİZELGELEME PROBLEMİNİN YAPISI VE ÇÖZÜM İÇİN ÖNERİLEN MATEMATİKSEL MODEL	28
7.1. Problem Tanımı	28

İÇİNDEKİLER (devam)

	<u>Sayfa</u>
7.2. İki Amaçlı 0-1 Tamsayılı Ders Zaman Çizelgeleme Matematiksel Modeli (TDZÇM) ...	30
8. AHP, KONİK SKALERLEŞTİRME ve YASAKLI ARAMA BÜTÜNLEŞİK YAKLAŞIMI	37
8.1. AHP ile Öğretim Elemanı Tercihlerinin Belirlenmesi.....	38
8.2. Ders Çizelgeleme Probleminin Çözümünde Yasaklı Arama Algoritması	40
8.2.1. Çözümün uygulanma adımları	40
8.2.2. TDZÇM kısıtları göz önüne alınarak ders zaman çizelgesinin rassal gösterim şeklinin belirlenmesi (başlangıç çözümünün oluşturulması)	40
8.2.3. Konik Skalerizasyon Yöntemi ile Amaç Fonksiyonlarının birleştirilmesi ve hesaplanması.....	47
8.2.4. Yasaklı arama algoritması'nı ile eniyileme	48
9. KONİK AMAÇ FONKSİYONUNU ENİYİLEMEK İÇİN DENEY TASARIMI	53
9.1. Varyans Analizi	55
10. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	61
KAYNAKLAR DİZİNİ.....	62
EKLER	
EK 1. Ders Çizelgeleme Problemi Çözümünde Kullanılan Yöntemler ve Yılları	
EK 2. Öğretim Elemanlarının Endüstri Mühendisliği Ders Programı Tercihlerini Belirleyen Kriterlere Ait İkili Karşılaştırma Anketi	
EK 3. Derslerin Çakışma Sayıları Matrisi	
EK 4. En İyi Amaç Fonksiyonu Değerini Veren Ders Çizelgesi	
ÖZGEÇMİŞ	

ŞEKİLLER DİZİNİ

<u>Sekil</u>	<u>Sayfa</u>
3.1. Ders çizelgeleme problemi çözümünde kullanılan yöntemler ve yayın sayıları	6
3.2. Ders çizelgeleme probleminin yıllara göre yayın sayıları.....	6
5.1. Üç seviyeli analitik hiyerarşi modeli.....	22
8.1. Uygulama akış şeması.....	37
8.2. Ders programlama arayüz ekranı	52
8.3. Ders programlama hareket oranları atama arayüz ekranı.....	52
9.1. Amaç Fonksiyonu ile Tabu Uzunluğu Varyans Analizi.....	56
9.2. Amaç Fonksiyonu ile Ardıştırma Sayısı Varyans Analizi	56
9.3. Amaç Fonksiyonu ile Program Oluşturma Yüzdeleri Varyans Analizi	57
9.4. Amaç Fonksiyonu ile Başlangıç Çözümü Varyans Analizi	57
9.5. Amaç Fonksiyonu ile Deney Uygulama Prosedürleri Varyans Analizi.....	57
9.6. Ardıştırma Sayısı Değişkeni anlamlılık düzeyleri.....	58
9.7. Başlangıç Çözümü Alternatifleri anlamlılık düzeyleri.....	59
9.8. Değişkenlerin Amaç Fonksiyonu üzerinde etkileri	59

ÇİZELGELER DİZİNİ

<u>Cizelge</u>	<u>Sayfa</u>
5.1. İkili karşılaştırma ölçeği.....	23
5. 2. Rassal indeks-matris boyutu	25
7. 1. Haftalık gün ve ders saatleri.....	28
7.2. Müfredatta bulunan zorunlu ve seçmeli dersler	33
8.1. Matematik II dersi öğretim elemanı saat tercihleri matrisi	38
8.2. Matematik II dersi öğretim elemanı saat tercihleri	39
8.3. Matematik II dersi öğretim elemanı gün tercihleri matrisi	39
8.4. Matematik II dersi öğretim elemanı gün tercihleri.....	40
8.5. Derslerin oturumlarının numaralandırılması	41
8.6. Derslerin ders saatleri adedince sıralanması	42
8.7. Derslere rassal sayı atanması	43
8.8. Derslerin rassal sayılara göre küçükten büyüğe sıralanması.....	44
8.9. Rassal ders programı oluşturulması	45
8.10. Rassal olarak oluşturulan ders programı	46
8.11. İkili hareket	49
8.12. Basit hareket.....	50
9.1. Deney faktörleri ve düzeyleri.....	54

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

<u>Simgeler</u>	<u>Açıklamalar</u>
i	Ders Sayısı
i'	Alttan Alınan Dersler
j	Günler
k	Günlük Ders Saatleri
l	Öğretim Elemanı
IZ	Zorunlu Dersler
IS	Seçmeli Dersler
D_i	i dersinin haftalık toplam ders saati
T	Öğretim elemanının gün tercihi
H	Öğretim elemanının saat tercihi
V	i ve i' nün çakışması durumu
$f_1(x)$	Birinci Amaç Fonksiyonu
$f_2(x)$	İkinci Amaç Fonksiyonu
W_i	Karar Kriterlerinin Ağırlık Puanları Vektörü
W	Karar Kriterlerinin Ağırlık Puanları Matrisi
λ	Karar Seçenekleri Toplam Puanları Öncelik Değerleri
Σ	Toplam
α	Koninin Tepe Açısını Belirleyen Parametre
$f_k(x)$	x Amaç Fonksiyonuna Ait Referans Noktası
w_k	k amacının ağırlığı
β	Ders Taşıma Hareket Oranları

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ (devam)

<u>Kısaltmalar</u>	<u>Açıklama</u>
AHP	Analitik Hiyerarşi Prosesi
ANP	Analytical Network Process (Analitik Ağ Prosesi)
ANOVA	Analysis of Variance (Varyans Analizi)
Minitab	İstatistiksel Analiz Yazılımı
CI	Consistency Index (Tutarlılık İndeksi)
RI	Random Index (Rassal İndeks)
CR	Consistency Ratio (Tutarlılık Oranı)
TDZÇM	0-1 Tamsayılı Ders Zaman Çizelgeleme Matematiksel Modeli
OBS	Öğrenci Bilgi Sistemi
NP	Non Polinomial (Polinom olmayan)

1. GİRİŞ

Günümüzde yönetim bilişim teknolojileri, hızlı şekilde gelişme ve ilerleme kaydetmesine rağmen hala birçok sektörde çalışmalar bilgisayar yazılımları yerine elle yapılmakta olup ciddi zaman kayıplarına yol açmaktadır. Bunun sonucu olarak birtakım hatalar ortaya çıkmakta ve verimlilikte kayıplar oluşmaktadır. Oldukça fazla zaman ve emek harcanmasına rağmen, elle yapılan çizelgelerin büyük bir bölümü tatmin edici sonuçlar ortaya koyamamaktadır.

Çizelgeleme sürecinde ortaya çıkan problemlerin ve kayıpların engellenerek akışın aksamadan sağlanması, sistemin amaçlarına göre zaman çizelgesinin en iyilenmesiyle mümkün olmaktadır. Zaman Çizelgeleme, bir karar verme süreci olup kaynaklara belirli bir zaman aralığında gerekli atamaların yapılmasını sağlayan, verimli zaman kullanımını amaçlayan bir yaklaşımdır. Bu yaklaşımı, genel atama problemlerinden farklı kılan nokta kaynakların atanacakları zaman aralıklarının önem arz etmesidir. Genel olarak zaman çizelgesi oluşturmak, NP-zor problem sınıfına girer. Bu durum makul (polinom) bir sürede çözme yönteminin bilinmemekte olduğuna, çözüme ulaşmak için gerekli sürenin hızla (üstel olarak) arttığına işaret eder. NP-zor problemler sınıfında bulunan ulaşım, personel, sağlık ve eğitim çizelgeleme, zaman çizelgelemenin alt başlıkları olarak incelenmektedir (Cooper ve Kingston, 1995). Özellikle eğitim kurumlarında karşılaşılan zaman çizelgeleme problemlerinin çözümünde kaynakların belirli zaman aralıklarına uygun şekilde atanması gerekmektedir.

Bu çalışmada eğitim kurumlarında yaygın olarak karşılaşılan ve çözülmesi zor bir problem olan ders programı hazırlanması problemine, analitik ve sezgisel çözüm yaklaşımları getirilmeye çalışılmıştır. Problem boyutuna bağlı olarak kısıt ve değişken sayısının hızla artması, uygun çözüm sayısının üstel olarak artması ve problemin çözümünün zor olması, kesin çözüm yöntemlerinin yetersiz kalmasına sebep olmuş, literatürde de zaman çizelgeleme problemlerinin çözümü için sıklıkla kullanılan sezgisel yöntemlere başvurmayı gerekli kılmıştır. Bu şekilde daha esnek ve hızlı sonuçlar elde edilmesi amaçlanmıştır. Eğitim kurumlarında artan öğrenci sayıları, alt ve üst sınıftan alınan derslerin çakışması, öğretim elemanı tercihleri, sahip olunan ders ekipmanları gibi birtakım kısıtların varlığı problemin çözümünde esnek bir yapıya ihtiyaç duyulmasına yol açmış ve sezgisel yöntemlerin kullanımını yaygınlaştırmıştır.

Eğitim kurumları içerisinde ekonomik sistemdeki firmaların ihtiyaç duyduğu nitelikli insan kaynağı yetiştiren üniversiteler önemli bir yere sahiptir. Üniversiteler, uzmanlık alanlarına göre fakülte ve bölümlere ayrılmakta ve bölümlerde farklı seviyelerde önlisans, lisans, yüksek lisans ve doktora programlarında eğitim faaliyetlerini sürdürmektedir. Bölümlerin eğitim

hedeflerine ulaşması programlarında yer alan derslerin etkin ve verimli olarak sürdürülmesiyle mümkün olmaktadır. Bölümün sahip olduğu öğretim elemanı, haftalık ders saatleri, sınıflar, sınıf kapasiteleri gibi kaynakların etkin kullanımı ancak paydaşların görüşleri doğrultusunda iyi hazırlanmış ders çizelgeleri ile mümkün olmaktadır. Bu çalışmada Kütahya Dumlupınar Üniversitesi Endüstri Mühendisliği Bölümü Lisans ders programı hazırlama problemi için bir matematiksel model önerilmiş ve sezgisel yaklaşımlardan olan YA Algoritması'ndan yararlanılmıştır. Problem ele alınırken belirlenen kısıtlar dâhilinde iki amaçlı bir model oluşturulmuştur. Ders programı oluşturma probleminde birinci amaç fonksiyonunda dersleri çakışan toplam öğrenci sayıları Öğrenci Bilgi Sistemi'nden (OBS) çekilerek en küçüklenmeye, ikinci amaç fonksiyonunda öğretim elemanlarının tercihlerinin belirlenmesi için bir anket oluşturulmuş ve buradan elde edilen sonuçlar AHP ile değerlendirilerek gün ve saat öncelikleri toplamı en büyüklenmeye çalışılmıştır. Bu yolla elde edilen tercih öncelikleri, amaç fonksiyonu yapısında kullanılmıştır. Konik Skalerleştirme Metodu'yla iki amaç fonksiyonu tek bir amaç fonksiyonu haline getirilmiştir. Çalışmada YA Algoritması probleme uyarlanarak, en iyi çözüm elde edilmeye çalışılmıştır. Problemdeki faktör ve düzeylerin belirlenmesi için deney tasarımına ihtiyaç duyulmuş, tasarlanan model için uygun deney tasarımı yapılmış ve yapılan deney sonuçları, Varyans Analizi'yle değerlendirilmiştir.

Çalışmanın ikinci bölümünde ders çizelgeleme problemleri ve çözüm yöntemlerinden bahsedilmiştir. Üçüncü bölümde, AHP yaklaşımı anlatılmış ve bir örnekle açıklanmıştır. Çok Amaçlı Optimizasyon dördüncü bölümde ele alınmış, ders çizelgeleme problemi ile ilgili literatürde yapılan çalışmalar beşinci bölümde detaylandırılmıştır. Problemin matematiksel model önerisine altıncı bölümde yer verilmiş, problem için önerilen bütünleşik yaklaşıma yedinci bölümde giriş yapılmış, YA Algoritması sekizinci bölümde detaylandırılarak, dokuzuncu bölümde probleme yönelik deney tasarımı ve Varyans Analizi anlatılmıştır.

2. ÇİZELGELEME PROBLEM TÜRLERİ

Çizelgeleme, mevcut durumun iyileştirilmesi adına gerçekleştirilen bir dizi sistematik yaklaşımlar bütünüdür (Eisenberg, 1997). Kaynakların zamana ve amaçlara göre verimli kullanılmasını esas alır ve çeşitli uygulama alanları bulunmaktadır.

2.1. Çizelgeleme Problemleri

Çizelgeleme, belli kısıtlar altında, belirli hedefleri gerçekleştirmek için kaynakların kullanıcılara verimlilik esasına dayanarak tahsis edilmesidir (Wren, 1996). Büyüksünnetçi (2006) çizelgeleme problemlerine nerede ve nasıl karşılaşıldığı ile ilgili şöyle demektedir.

“Çizelgeleme problemleri klasik atölye çizelgelemeden iş gücü ve hizmet planlamaya, ürün montaj hattı dengelemeden, lojistik kaynak ataması ve çizelgelemesine kadar birçok alanda karşımıza çıkmaktadır”.

Hizmet sektöründe ve eğitim kurumlarının kaynaklarının planlanmasında, sıklıkla çizelgeleme problemlerinin çözülmesi gerekir. Kurumların kendilerine özel birtakım değişken ve kısıt yapıları olduğu için genel bir modelleme yapmak mümkün olmamaktadır (Botsalı, 2000). Ders çizelgeleme problemlerinin çözüm sürecinde eğitmenler, öğrenciler ve yönetimin istek ve önceliklerini barındıran dinamik bir yapı olması, problemin çözümünü zorlaştırmaktadır. Bu nedenle problemin çözümü için literatürde önerilen yaklaşımlar ve çözüm yöntemleri çeşitlilik göstermektedir. Kısıt programlama, graf tabanlı yaklaşımlar, yerel arama teknikleri, melez yaklaşımlar ve meta sezgisel yaklaşımlar bu problemlerin çözümünde kullanılan yaklaşımlar arasındadır (Palamutçuoğlu, 2008).

Çizelgeleme problemlerinin çözümünde kesin çözüm yöntemleri, tam sayılı programlama, karma tam sayılı programlama, dinamik programlama, dal-sınır algoritması ve lineer programlama gibi analitik çözüm yöntemlerini içermektedir. Sezgisel veya metasezgisel yöntemler, büyük boyutlu problemlerin çözümünde deterministik yöntemlere göre daha fazla tercih edilmektedir. Sezgisel veya metasezgisel algoritmalar; Genetik Algoritma (GA), Yapay Arı Kolonisi Algoritması (Artificial Bee Colony- ABC), Karınca Kolonisi Algoritması (KKA), Tavlama Benzetimi (TB), Yasaklı Arama (YA-Tabu Search Algorithm) Algoritması gibi çeşitli algoritmalarından oluşmaktadır (Şimşek, 2017). Bu yaklaşımlardan bazılarına ileriki bölümlerde yer verilmiştir.

2.1.1. Zaman çizelgeleme problemleri

Zaman çizelgeleme problemleri, çizelgeleme problemlerinin özel bir halidir. Bir dizi faaliyetin çeşitli kısıtlar doğrultusunda, kaynaklara ve belirli zaman periyoduna atanması olarak ifade edilen, bir kaynak atama problemidir (Özyandı, 2010). NP-Zor sınıfında yer alan zaman çizelgeleme problemlerinin sıklıkla karşılaşılan örnekleri arasında; hemşire, doktor nöbet çizelgelemesi, personel çizelgeleme, sınav ve ders programları hazırlama yer almaktadır (Güngör, 2002; Louly, 2012; Brunner vd., 2009). Bu problemlerin çözümü için; kısıt programlama yaklaşımları, yerel arama teknikleri, graf tabanlı yaklaşımlar, popülasyon tabanlı yaklaşımlar, melez yaklaşımlar ve üst sezgisel yaklaşım yöntemleri önerilmektedir (Burke vd., 2001; Özyandı'dan, (2010).

2.1.2. Ders çizelgeleme problemleri

Ders çizelgeleme problemleri zaman çizelgeleme problemleri sınıfında olup, her sınıf için açılacak derslerin atanacak saatlerinin istenilen kısıtlar sağlanarak belirlenmesi esasına dayanmaktadır (Rossi-Doria ve Paechter, 2003). Genel ders zaman çizelgeleme problemleri karmaşık yapıları sebebiyle tamsayı programlama, dinamik programlama gibi deterministik yöntemlerle çözülmeye çalışıldığında sağlıklı sonuçlar elde edilmesi pek mümkün olmamaktadır. Öte yandan eğitim kurumlarında değişiklik gösteren kısıtlar ve hususi değişkenler sebebi ile ders çizelgeleme problemlerini genel bir yapıya oturtmak mümkün olmamıştır. Bu sebeple zaman çizelgeleme problemlerinde deterministik yöntemler yerine genellikle sezgisel yöntemlere başvurulmaktadır (Palamutçuoğlu, 2008).

Ders çizelgesi oluşturulurken, programı yapılacak kurumun açılan bütün derslerinin saatlerinin belirlenmesi, hazırlanan ders çizelgesinin belirlenen ihtiyaçları, kısıtları karşılaması öncelikli kuraldır (Bayata, 2012). Bu kısıtlar genellikle “zorunlu (sıkı)” ve “esnek (yumuşak)” olmak üzere iki şekilde tanımlanmaktadır. Zorunlu kısıtlar her durumda sağlanması gerekli olan, mecburiyet arz eden kısıtlardır (Burke vd. 2007). Bir grup öğrencinin aynı zamanda iki farklı derse atanamaması, bir öğretim elemanının aynı zaman periyodunda iki farklı derse atanamaması, tüm derslerin uygun bir zaman dilimine yerleştirilmesi ve planlanan toplam ders miktarının mevcut derslik sayısından fazla olmaması gibi kısıtlar zorunlu kısıt sınıfına girmektedir (Botsalı, 2000). Esnek kısıtlar ise kritik bir durum oluşturmayan, mümkün olduğunca sağlanması gereken kısıtlardır (Burke vd. 2007). Esnek kısıtlara dersler arası boş saatlerin mümkün olduğunca kısa tutulması, öğretim görevlisi tercihleri örnek gösterilebilir.

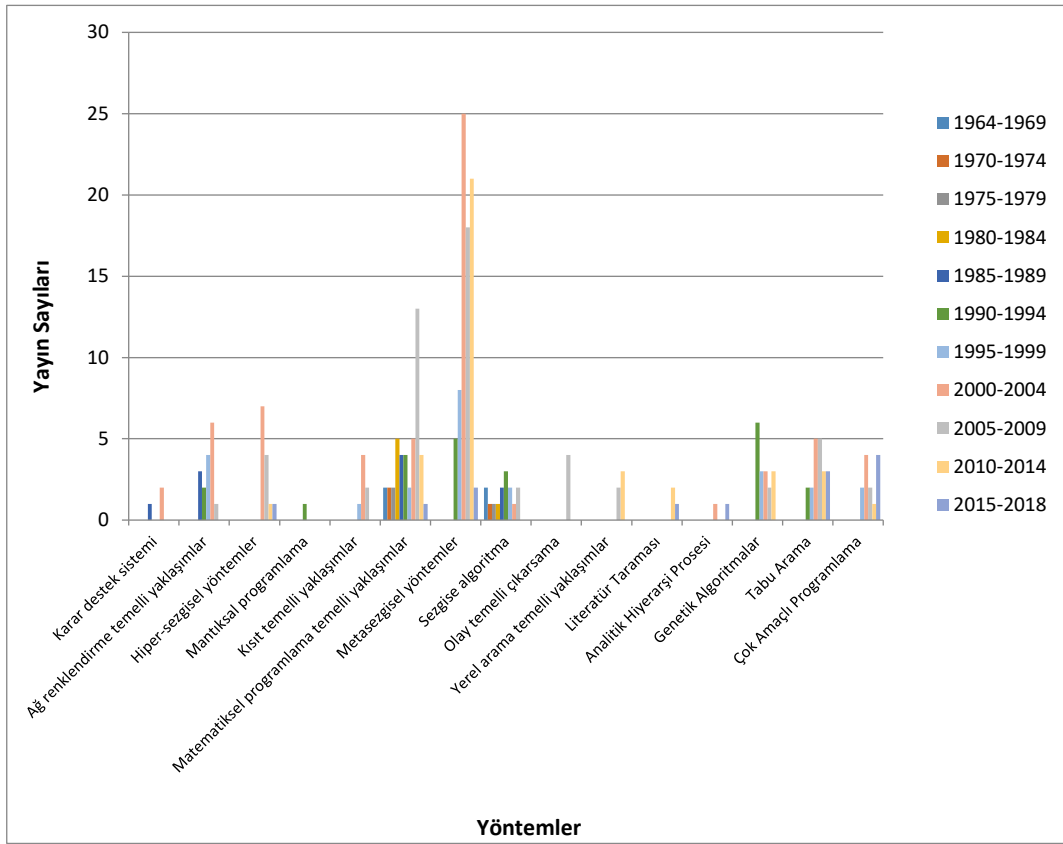
3. DERS ÇİZELGELEME PROBLEMİ LİTERATÜR TARAMASI

Ders çizelgeleme problemi literatürde, yıllar içinde yapılan çalışmaların giderek arttığı bir problem türüdür. Birçok araştırmacıya çalışma konusu olan bu problem, 1960 yılından itibaren sıkça üzerinde durulan zor ve önemli bir çizelgeleme dalıdır. Ders çizelgeleme problemleri için birçok çözüm yöntemi önerilmiş ve önerilmeye devam edilerek çeşitlendirilmektedir. “Ders çizelgeleme” ve “zaman çizelgeleme”, anahtar kelimeleri ile yapılan arama sonucu bu yaklaşımlardan, matematiksel modelleme, sezgisel yaklaşımlar, yerel arama, evrimsel algoritmalar, kısıt temelli yaklaşımlar gibi çeşitli çözüm yöntemlerinin yıllara göre dağılımı, yapılan çalışma sayıları belirlenmiş, çizelge ve grafikler halinde gösterilmiştir.

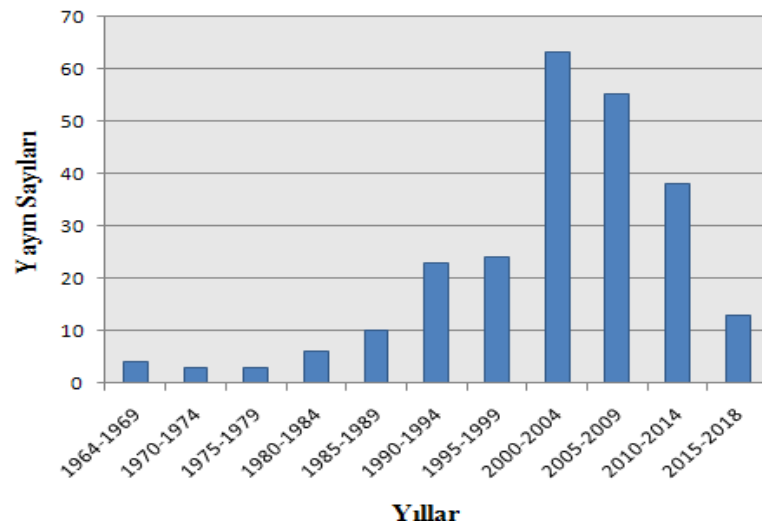
Ders çizelgeleme probleminde kullanılmış olan yöntemlerden bazılarının yıl bazında çalışma sayıları belirlenmiştir. Oluşturulan çizelgedeki çalışma sayıları genel bir gösterim olup, tüm çalışmaları kapsamamaktadır. Yapılan çalışmaların sayısı yıl bazında değil, 3-5 yıl aralığında toplam sayılar şeklinde ele alınarak grafike edilmiş, ayrıntılı olarak EK 1’de gösterilmiştir.

Ders çizelgeleme problemi çözümünde matematiksel programlama yaklaşımının 2000’li yıllara doğru bir azalış gösterdiği, metasezgisel çözüm yaklaşımlarının ise artış gösterdiği görülmektedir. Çalışmamızda kullandığımız YA ve Çok Amaçlı Programlama yaklaşımlarının ise 1990 yılından sonra daha fazla kullanıldığı görülmektedir.

Şekil 3.1 çalışmaların üçer yıllık periyotlarda, hangi yıllar arasında ve hangi sayıda yapıldığını gösteren grafiklerdir. Şekil 3.2 ise ders çizelgeleme probleminin yıllara göre çalışma sayılarını gösterir.



Şekil 3.1. Ders çizelgeleme problemi çözümünde kullanılan yöntemler ve yayın sayıları.



Şekil 3.2. Ders çizelgeleme probleminin yıllara göre yayın sayıları.

Üniversite ders-zaman çizelgeleme problemi, üzerinde çeşitli çalışmaların yapıldığı ve çözümlerin çeşitlendirilmesi ve daha iyi çözümlere erişilmesi amacıyla çalışılmaya devam edilen en iyi çözümün bulunması zor bir problemdir. Bu tür problemlerin çözümü için farklı yaklaşımlar kullanılmıştır. Bu konuyla ilgili yapılan çalışmalar incelenmiş, çalışmamızla daha yakından ilişkili olanlara yer verilmiş ve özetlenmeye çalışılmıştır.

Badri (1996), ders çizelgeleme problemi için çok amaçlı 0-1 tamsayılı bir programlama modeli önerdiği çalışmasında, öğretim elemanlarının ders ve saat tercihlerini karşılamayı amaçlamaktadır. İki aşamalı eniyileme prosedürünün ilk aşamasında öğretim elemanlarının tercihleri en üst düzeyde tutularak bu doğrultuda öğreticiler derslere atanmış, ikinci aşamada ise oluşturulan ders-derslik kombinasyonları mevcut zaman dilimlerine atanmak için tasarlanmıştır. Öğretim elemanları öncelik tercihlerini belirtilen derslikler için ağırlıklandırma yoluyla yapmışlardır. United Arab Emirates Üniversitesi'nde gerçekleştirilen çalışmada başarılı sonuçlar elde edildiği görülmüştür.

Boronic (2000), Monmouth Üniversitesi İşletme Fakültesi'ndeki idarecilere lisans dersleri için bölüm ders programı planlama konusunda yardımcı olan çok amaçlı bir hiyerarşik matematiksel model sunmuştur. Matematiksel model, dersler için öğrenci kaydını gerçekleştiren bir ayrık olay simülasyon modeli ile birlikte kullanılır. Modelin sonuçları, beklenen öğrenci ders çakışmalarını en aza indirmek, ek fakülte-derslik kullanımını kısıtlamak ve İşletme Fakültesi'ndeki önemli öncelikleri ele alan fakülte programları önermektedir.

Botsalı (2000), ders çizelgeleme probleminde matematiksel modelleri ve kısıt programlamayı bir arada kullanmıştır. Öncelikle kısıt programlama ile derslerin günlere atanması ve gün içinde derslerin saatlere atanması gerçekleştirilmiş, son olarak da matematiksel programlama kullanılarak derslerin sınıflara atanması işlemi gerçekleştirilmiştir.

Dimopoulou ve Militois (2001), ders çizelgeleme problemlerinin en önemli sorunlarından biri olan çakışma sorununu ortadan kaldırmaya yönelik geliştirdikleri tamsayılı programlama modelinde, öğretim elemanlarına atanan derslerin çakışmalarını önceden engelleyen bir veri setini girdi olarak vermiş, çalışmada matematiksel modelden elde ettikleri çözümü, daha sonra sezgisel bir yöntemin başlangıç çözümü olarak kullanarak nihai çözüme erişmişlerdir.

Özdemir ve Gasimov (2004) çalışmalarında, doğrusal olmayan çok amaçlı bir programlama problemi olan fakülte ders atama problemi için genel bir model sunmuşlardır. Problemin kararsızlığı nedeniyle, basit ağırlıklandırma skalerizasyon tüm Pareto optimal çözümleri bulmayı garanti etmemiştir. Bu nedenle, AHP, Konik Skalerizasyon ve Modifiye

Gradyent Yöntemi'nden oluşan yeni geliştirilen üç aşamalı bir işlem önerilmiştir. Bu yaklaşım, ilk kez bir konveks olmayan çok amaçlı fakülte ders atama problemini çözmek için kullanılmıştır.

Daskalaki ve Birbas (2005), ders çizelgeleme problemlerinin çözümü için iki aşamalı yumuşatılmış bir tamsayı programlama modeli geliştirmişlerdir. Modelin ilk aşamasında çok zaman alan ardışıklık kısıtları için yumuşatılma işlemi yapılmış, ikinci aşamasında ise bu kısıtların iyileştirilmesi yapılmıştır. Çalışma neticesinde, çözümler tek aşamalı modelle karşılaştırılmış ve çözüm süresinin iki aşamalı model ile oldukça kısaldığı ve çözüm kalitesinde herhangi bir azalma olmadığı gösterilmiştir.

Al-Yakoob ve Sherali (2006), Kuveyt Üniversitesi'nde kullanılmak üzere tipik bir akademik sınıf planlama problemi üzerine öğretim elemanlarını sınıflara atamak için matematiksel programlama modelleri sunulmaktadır. Sınıflar için zaman dilimlerinin başlangıçta verildiği varsayılır ve sonuçta ortaya çıkan problemi çözmek için bir tamsayı programlama modeli oluşturulur; bu da, öğretim elemanlarının bireysel ve toplu memnuniyetsizliklerini adil bir şekilde en aza indirmeyi amaçlar. Uygulamada elde edilen sonuçların kalitesini arttırmak için bir model modifiye edilmiş, verimli tesis kullanımı ile ilgili kısıtlamalar ve idari olarak düzenlenmiş maksimum değişiklik sayısına izin verilerek, sınıflar için zaman dilimleri değiştirilebilir hale getirilmiştir.

Günalay ve Şahin (2006), hedef programlama yöntemini kullanarak üniversite ders çizelgeleme problemini öğretim elemanı tercih kısıtlamaları ile incelemiş ve planlayıcı için bir karar destek sistemi (KDS) sunmuşlardır. Kurulan hedef programlama modelinde amaç, öğretim elemanı tercihleri ve ders yüklerinden oluşacak sapmaları minimize etmektir. Problemin çözümüne yönelik önerilen sistem örnek bir uygulamadan elde edilen verilerle test edilmiştir.

Burke ve arkadaşları (2007), çizelgelemede yaygın olarak kullanılan yapısal kurgusal grafik renklendirme sezgiseli seti üzerine basit genel bir hiper-sezgisel sunmuştur. Hiper-sezgisel çerçeve içinde, sınav ve ders çizelgeleme problemlerinde çizelgeleri oluşturmak, kullanılan grafik buluşsal yöntemlerin permütasyonlarını bulmak için kullanılan bu yöntemde oluşturulan düğümlerin renklendirme işlemi için YA algoritması kullanılarak ders çizelgeleri elde edilmiştir. Çalışmada kullanılan sezgiseller arama uzayını ve bilgisayar çalışma zamanını oldukça arttırmaktadır. Öte yandan, gerçekleştirilen deneyler neticesinde bu algoritma ile daha iyi ve kabul edilebilir sonuçlar elde edildiği görülmüştür. Gelecekteki çalışma, daha geniş bir çizelge oluşturma ve çizelgeleme problemleri yelpazesinde uygulanabilen metodolojileri kullanarak bu hiper-sezgisel çerçeveyi genişletecektir.

Ismayilova ve arkadaşları (2007), fakülte ders-zaman dilimi atama problemi üzerinde yaptıkları çalışmada hem yönetimin hem de eğitmenlerin tercihlerini dikkate alan çok amaçlı 0-1 doğrusal programlama modeli geliştirmişlerdir. Çok amaçlı yapıda her iki modelin formülize edilmesi ve çözülmesi, problemlerin büyüklüğü, farklı doğaları ve çatışan amaçları bakımından zordur. Problemlerle ilgilenen eğitmenler, dersler ve zaman dilimleri ile ilgili farklı tercihlere sahip olabilirler. AHP ve Analitik Ağ Prosesi (ANP), farklı ve çatışan amaçları ağırlıklandırmak için kullanılmıştır. Skalerize problemler standart optimizasyon paket programları kullanılarak çözülmüş, AHP ve ANP ağırlıklarına karşılık gelen çözümler karşılaştırılmıştır.

Kalender (2007) çalışmasında, JAVA ve XML teknolojileri kullanarak ihtiyaç duyulan kısıtların kolayca girilebildiği, çözümlerin üretilebildiği, otomatik ders programı hazırlayan bir uygulama geliştirmiştir. Üst-sezgisel bir yaklaşım kullanılan bu uygulamada en uygun yaklaşımı bulmak için farklı basit üst-sezgisel algoritmalar test edilmiştir. Testler için gerçek ve rastgele oluşturulmuş veriler kullanılmıştır. Varolan bir üst-sezgiselden yeni bir sezgisel oluşturulmuştur. Önerilen sezgiselin daha iyi çalıştığı gözlemlenmiştir.

Pongcharoen ve arkadaşları (2008), üniversite ders zaman çizelgesi için GA'lar, TB ve rassal aramanın gömülü olduğu Stokastik Optimizasyon Zaman Çizelgesi Aracı'nı (SOZÇA) geliştirmişlerdir. Bu algoritma, gerçekleştirilemeyen tüm zaman çizelgelerinin düzeltilmesini sağlayan bir onarım sürecini içeren ve çakışmaları engelleyen, mekânların sınıfları karşılamak için yeterince büyük olmasını sağlayan bir algoritmadır. Algoritmalar zaman çizelgelerini yumuşak kısıtlamalar açısından değerlendirir. Öğrenci hareketini en aza indirerek öğrenciler ve öğretim görevlileri için zaman çizelgelerindeki parçalanmaları önler ve sınıfların zamanlaması için öğretim elemanlarının tercihlerini de göz önünde bulundurur. Algoritmalar, işbirliğine dayalı bir üniversiteden alınan iki takvim verileri kullanılarak test edilmiştir. Hem GA hem de TB ile çok iyi çizelgeler elde edildiği görülmüştür. Ancak GA'dan elde edilen sonuçların TB'den %54 daha hızlı olduğu tespit edilmiştir.

Gunawan ve arkadaşları (2008), ele aldıkları öğretim görevlisi atama ve ders çizelgeleme problemini aynı anda çözebilen yeni bir matematiksel programlama modeli üzerinde çalışmışlardır. Matematiksel modellemenin çözüm uzayı büyük olan problemleri çözmeye yetersiz kalmasından dolayı, sezgisel algoritmalarla yararlanmak üzere içerisinde hem TB hem de YA algoritmasını birleştiren melez bir algoritma önerilmiştir. Bu algoritmada, her iki sezgisel metodun da yararlı özellikleri daha iyi çözümler elde etmek için kullanılmış, algoritmanın performansını değerlendirmek için birkaç rastgele üretilmiş problem örneği ile uygun çözüm zamanlarında başarılı sonuçlar elde edildiği görülmüştür.

Aladağ ve arkadaşları (2009) çalışmalarında, uygun ders çizelgelerinin hazırlanabilmesi için YA algoritmasını kullanmışlardır. YA probleminde basit ve takas adı verilen hareketlerin etkileri tanımlanan iki yeni komşuluk yapısı esas alınarak incelenmiştir. Hacettepe Üniversitesi İstatistik Bölümü ders programındaki güz dönemi ders çizelgeleme problemi, bu hareketlere ek olarak farklı iki komşuluk yapısı daha önerilerek dört komşuluk yapısı kullanılarak çözülmüş ve bu yapılardan elde edilen sonuçların karşılaştırılması Varyans Analizi ile yapılmıştır. Çalışma neticesinde oldukça iyi sonuçlar elde edilmiştir.

Tokmak (2011), ders çizelgeleme probleminin çözümüne yönelik C# programlama dilinde, ABC (Artificial Bee Colony Algorithm) kullanmış, sert ve yumuşak kısıtlar dikkate alınarak, kullanıcı etkileşimli arayüze sahip bir program geliştirmiştir. Çalışmalar sonucunda kullanılan algoritma ile uygun bir ders çizelgesi oluşturulmuş ve bu çizelgelerin raporları alınmıştır.

Abdullah ve Turabieh (2012), üniversite çizelgeleme problemlerine Tabu tabanlı memetik yaklaşım içinde çok komşuluklu yapıların kullanımı hakkında yaptıkları çalışmada, üniversite çizelgeleme problemleri için geliştirilmiş bir algoritma olarak bir YA algoritması ile genetik bir algoritmayı melezleyen tabu tabanlı bir memetik algoritma önermişlerdir. Bu algoritma, arama sürecinde çözüm kalitesinde önemli gelişmeler sağlamak amacıyla bir dizi komşuluk yapısı üzerinde kullanılmıştır. Çaprazlama ve mutasyon operatörleri popülasyondan seçilen çözümlere uygulandıktan sonra, optimizasyon işlemi sırasında problem alanlarına bağımlı olmayan komşuluk yapılarının seçimini kontrol etmek için gömülmüştür. Algoritma, daha iyi çözümler üretemeyen komşuluk yapılarını cezalandırmaktadır. Yaklaşım, iki üniversite zaman çizelgesi karşılaştırmalı veri kümesi üzerinde test edilmiştir. Bu yaklaşım basit ama etkili olmakla birlikte, bir takım iyi sonuçlar üretmeyi başarmıştır.

Gunawan ve arkadaşları, (2012) üniversitelerde bir ders çizelgeleme problemini açıklamakta olup, burada ana ders çizelgesi esas alınarak, öğrencilerin ders kayıtlarından kaynaklanan çakışmaların dikkate alınmasına gerek görülmemiştir. Hem öğretmen atamasını hem de ders çizelgelemeyi birleştiren problemin çözümünde ilk çözüm, Lagrange gevşemesine dayanan bir matematiksel programlama yaklaşımıyla elde edilir. Bu çözüm, gerçeğe yakın bir tavlama algoritması ile daha da geliştirilir. Önerilen yöntem, Endonezya'daki çeşitlilik örnekleri üzerinde, aynı zamanda daima rastgele oluşturulmuş veri kümeleri üzerinde test edilmiş ve karşılık gelen hesaplama sonuçları elde edilmiştir.

Hooshmand ve arkadaşlarının (2013) çalışmasında okul çizelgeleme problemi, haftalık bir takvimde bir dizi ders (derslerin, öğretmenlerin ve sınıfların kombinasyonu) zamanlamak

şeklinde tanımlanabilir. Bu çalışma, liseler için zaman çizelgeleri üretmenin yeni bir yolunu sunmaktadır. Algoritmanın; önceden zamanlama, başlangıç aşaması ve YA yoluyla optimizasyondan oluşan üç aşaması vardır. İlk aşamada, aynı anda programlanacak ders grupları oluşturmak için grafik tabanlı bir algoritma kullanılmış, daha sonra başlangıç çözümü ardışık açgözlü sezgisel bir yöntemle oluşturulmuştur. Son olarak, çözüm sıklık bazlı çeşitlendirme temelli YA Algoritması kullanılarak optimize edilmiştir. Algoritma, İran liselerinden toplanan bir dizi gerçek data üzerinde test edilmiştir. Deneyler, önerilen algoritmanın kabul edilebilir zaman çizelgeleri oluşturabileceğini göstermektedir.

Fong ve arkadaşları (2014) çalışmalarında, üniversite zaman çizelgesi problemini çözmek için büyük bir toplulukla ABC'nin bir kombinasyonu olan yeni bir melez yöntem önermişlerdir. ABC, son yıllarda tanıtılan nüfusa dayalı bir yöntemdir. Birçok arama tabanlı yaklaşımı olduğu gibi, arama ve işleme becerilerinin genel arama sürecinin yavaş yakınsamasına yol açan zayıf yönleri de vardır. Bu nedenle ABC nin tanımlanmış zayıf yönlerini telafi etmek için hibridizasyon önerilmektedir. Ayrıca, emperyalist rekabet algoritmalarından esinlenilerek, ABC algoritmasının global keşif kabiliyetini arttırmak için bir asimilasyon politikası uygulanmıştır. Buna ek olarak, Nelder-Mead simplex arama yöntemi (NMGD), soruna neden olan arama bölgesini ince ayarlama hibrid yöntemin kullanım kabiliyetini arttırmak amacıyla algoritma içine dahil edilmiştir. Önerilen yöntem, iki farklı kıyaslama veri kümesinde (sınav ve ders zaman çizelgesi oluşturma veri kümeleri) test edilmiş, istatistiksel analiz T-testi yapılmış ve önerilen yaklaşımın performansı temel ABC algoritmasına göre önemli ölçüde daha iyi bulunmuştur. Son olarak, deneysel sonuçlar, literatürdeki en yeni yöntemlerle karşılaştırılmış; elde edilen sonuçlar bazı durumlarda mevcut en iyi sonuçlardan bazılarını geçmeyi başarmıştır.

Al-Yakoob ve Sherali (2015) bu çalışmada, Kuveyt'in eğitim sisteminde yükseköğretimde açık bir sorun olan öğretmenleri sınıflara ve zaman aralıklarına atamakla ilgili bir vaka çalışması yapmışlardır. Haftalık öğretmen programlarını üretmek, pratik ölçekli gerçekçi test örnekleri için sağlıklı değildir. Bu makalede, altta yatan probleme iki ayrışma yaklaşımı önerilmiştir. İlk aşamada, sınıflar için haftalık zaman dilimlerini belirleyen, ikinci aşamada öğretmenleri sınıflara atayan iki aşamalı bir modelleme çözümü yaklaşımı sunulmaktadır. Modelin kendisinde haftalık çizelgeler oluşturmak yerine, karışık tamsayı programlama formülasyonu önerilmiştir. Tüm olası çizelgelerden oluşan haftalık programların geçerli kombinasyonları seçilmiş ve kendi özgün yapısından yararlanmak için bir sütun üretim çözüm çerçevesi çalışması tasarlanmıştır. Hesaplanan sonuçlar, gerçek ve gerçeğe dayalı test problemlerini kullanarak önerilen çözüm yaklaşımları için değerlendirilmiştir.

Öztürk ve arkadaşları (2015), üniversite ders çizelgeleme problemi için çok kriterli bir karar verme modeli oluşturmuştur. Problem çok amaçlı olarak ele alınmış, derslik kapasiteleri ve öğretim elemanlarının ders saatlerine yönelik tercihleri göz önünde bulundurulmuştur. Modelde müfredatta bulunan derslerin hangi günde ve hangi zaman diliminde yapılacağına ilişkin öğretim elemanları tarafından belirlenmiş memnuniyet katsayıları mevcuttur. Öğretim elemanları tarafından tercihleri en çok 3, en düşük 1 olacak şekilde 1-3 skalası üzerinden belirlenmiş ve toplam memnuniyet amaç fonksiyonunda en büyüklenmeye çalışılmıştır. Anadolu Üniversitesi'nde gerçekleştirilen çalışma, kullanıcı tercihlerini dikkate alarak geliştirilen bir matematiksel model ile ağırlıklı toplam skalerleştirme yöntemi kullanılarak çözüldüğünde, tatmin edici çözümler elde edilebilmiştir.

Méndez-Díaz ve arkadaşları (2016), Arjantin Buenos Aires'teki özel bir üniversitede gerçek hayat probleminden kaynaklanan yeni bir çizelgeleme problemi üzerinde çalışmışlardır. Bu çalışmada, kayıt sonrası ders zamanlama sorununu genelleştiren, bir ILP (tamsayılı doğrusal programlama) modelini ve bu formülasyona dayalı sezgisel bir yaklaşımı önermekte olan sorunu detaylı bir şekilde açıklamışlardır. Bu algoritma, gerçek verilerden edinilen örnekler üzerinde uygulanmış ve test edilmiştir. Bu yaklaşımın uygulanabilirliği ve kaliteli çözümler ürettiği çalışma sonucunda gösterilmiştir.

İslam ve arkadaşları (2016) çalışmalarında, bir üniversite için ders programı ve sınav takvimi oluşturmak için YA Algoritması'nı kullanarak Üniversite Zaman Planlama Çizelgesi oluşturmuşlardır. Her üniversitede, ders programı ve sınav takvimi hazırlanırken farklı bir problem grubuyla karşı karşıya kalındığı ve birçok kısıtlama var olduğundan, problem öğrenci ve fakülte bazlı ele alınmıştır. Problem çözümünde çeşitli skorum yöntemleri kullanılarak mümkün bir çözümün nasıl elde edebileceği anlatılmış ve maliyet fayda analizi yapılmıştır. Bölüm görevlileri, program görevlileri ve öğretim elemanlarına zaman kazandırılması, öğrenci sınıf çakışmalarının ve sınav çakışmalarının en aza indirgenmesi amaçlanmıştır.

Saviniec ve arkadaşları (2017), bir lisedeki çizelgeleme problemini ele almıştır. Problem, belirli taleplerin ihlallerini en aza indirmek amacıyla sınıflar ve öğretmenler arasındaki eşleşmeler için haftalık takvimlerin oluşturulmasından meydana gelmektedir. Bu makalede, Yinelemeli Yerel Arama ve Değişken Komşuluk Araması metasezgisel çerçevelerine dayalı yumuşak bir bilgi işlem yaklaşımı önerilmiştir. Algoritmalar, etkili bir arama gerçekleştirmek için yeni komşuluk yapılarını ve yerel arama yordamlarını içermektedir. Yedi ortak örnekle ve büyük durumlarda dahil olmak üzere 34 gerçek hayat örneğiyle yeni bir veri kümesi kullanılarak sorunun varyantları için önerilen algoritmalar doğrulanmıştır. Sonuçlar, önerilen algoritmaların her iki

durumda da en gelişmiş yaklaşımlardan daha iyi olduğunu ve 41 adet test edilmiş örneğin 38'inde en iyi çözümleri bulduğunu göstermektedir.

Sağır çalışmasında, fakülte-kurs-zaman dilim atama problemini çözmek için bir yaklaşım sunmaktadır. Katılımcı tercihlerine odaklanan problemde, çok amaçlı matematiksel programlama modellerine dayanan iki etkileşimli adım tanımlanmaktadır. Öncelikle ders-zaman atama problemini çözmek için iki aşamalı bir yaklaşım uygulanmıştır ve daha sonra derslere öğretim elemanı atama problemine geçilmiştir. Birinci aşamadaki zaman çizelgesinde, öğretim elemanlarından, vermek istedikleri dersleri tercih etmeleri istenir. Öğretim elemanlarının ortalama memnuniyet seviyeleri, idari tercih seviyeleri ve üst öğretim yüklerinden sapmalar ile ilgili üç amaç tanımlanmıştır. Hedefler aynı öneme sahip olmadığından, bunları ölçmek için bir ANP modeli kullanılmaktadır. Çalışma sonucunda iyileşme kaydeden sonuçlar elde edildiği görülmüştür (<http://www.isahp.org>).

4. DERS ÇİZELGELEME PROBLEMİ ÇÖZÜMÜNDE KULLANILAN YÖNTEMLER

Çözüm aşamasında karşılaşılan zorluklar nedeniyle ders çizelgeleme problemlerine çeşitli yaklaşımlar önerilmiştir. Hemen hemen her alanda karşılaşılan çizelgeleme problemleri için önerilen bazı yaklaşımlar aşağıda tanımlanmıştır.

4.1. Tamsayı Doğrusal Programlama

Ders çizelgeleme problemlerinin çözümünde kullanılan yöntemlerin başında matematiksel programlama yaklaşımı gelmektedir. Matematiksel programlama çeşitli alt dallarda incelenmektedir. Doğrusal programlama, tamsayı programlama ve karışık tamsayı programlama bu alt dallara örnek gösterilebilir. Bir optimizasyon probleminin çözümü için kullanılacak en etkili yöntemlerden biri olan matematiksel programlama; probleme ilişkin bilinmeyenler olan değişkenlerin ve kısıtların amaç fonksiyonunu oluşturduğu optimize odaklı bir modelleme yöntemidir. Bu modellemede amaç, belli kısıtlar altında, amaç fonksiyonunu eniyileyecek değerlerin belirlenmesidir (Altunay, 2015).

Çok boyutlu ve karmaşık yapıda olan ders çizelgeleme problemlerinin literatür çalışmaları incelendiğinde bu yaklaşımın fazlaca tercih edilmediği görülmektedir. Fakat günümüzde çeşitli bilgisayar yazılımlarının gelişmesiyle bu çözüm yaklaşımı ders çizelgeleme problemlerinin çözümü için de sıklıkla kullanılmaktadır (Daskalaki vd., 2004).

4.2. Metasezgisel Yöntemler

Metasezgisel yaklaşımlarda yeni bir başlangıç çözümünün ardından, yeni bölgede elde edilen en iyi hedef işlev değerine sahip çözüm kaydedilir. Kullanıcı tarafından belirlenen sabit sayıda artırmadan sonra kayıtlı olandan daha iyi bir çözüm elde edilmezse, bu kaydedilen çözüm tekrar incelenir. Arama bölgeye odaklanırken yapılan yineleme sayısı, başka bir deyişle, aramanın yerel en iyi çözüme ne kadar dönüldüğü belirlenir. Bu sayıda yineleme için, yerel en iyi çözümden daha iyi bir çözüm bulunamazsa, arama başka bir bölgeyi keşfetmeye başlar. Yeni bir başlangıç çözümü üretilir ve bu noktadan itibaren algoritma tekrar çalışmaya başlar. Böylece, aramanın çözüm alanındaki farklı bölgeleri incelemesi sağlanır (Aladağ vd., 2009). İlerleyen bölümlerde bazı metasezgisel yöntemler açıklanmıştır.

4.2.1. Genetik algoritmalar

Genetik Algoritmalar ilk olarak John Holland ve çalışma grubu tarafından 1975'te ortaya atılmıştır. Holland, çalışmalarında bir genetik bileşeni kullanarak, bir makine öğrenme tekniğini geliştirmiştir. David E. Goldberg ise 1989 yılında çalışmalarında GA'nın doğrusal olmayan (nonlinear) çok değişkenli eniyileme problemlerinin çözümlenmesinde kullanılan bir algoritma olduğunu göstermiştir (Yiğit, 2006). Goldberg' e göre GA'lar, sezgisel bir arama tekniği olup parametre kodlama prensiplerini esas alan, rastlantısal ve deterministik arama tekniklerini birlikte kullanan bir arama metodolojisidir (Goldberg, 1975). Geleneksel optimizasyon tekniklerinin aksine, GA'lar kendileri yerine parametrelerin kodlanması ile çalışırlar. İyi çözümleri geliştirmek ve doğal seçimi gerçekleştirmek için, iyi çözümleri ve kötü çözümleri birbirinden ayırmak için bir önlem almak gerekir. Bu önlem, matematiksel bir model veya bir bilgisayar simülasyonu olan objektif bir işlev olabilir veya insanların kötü olanlardan daha iyi çözümler seçtiği öznel bir işlev olabilir. GA'lar, bir arama sorununun karar değişkenlerini belirli kararlılık alfabelerinin sonlu uzunluk dizelerine kodlar. Arama probleminin aday çözümleri olan dizeler kromozomlar, alfabe olarak genler, genlerin değerleri alel olarak adlandırılır. GA'lar kromozom, gen, popülasyon, uygunluk oranı, seçim, çaprazlama ve mutasyon gibi bir dizi parametreler ile karakterize edilmektedir (Sastry vd., 2005).

4.2.2. Tavlama benzetimi

Tavlama Benzetimi Algoritması, pek çok değişkene sahip fonksiyonların en büyük veya en küçük değerlerinin bulunması ve özellikle pek çok yerel en küçük değere sahip doğrusal olmayan fonksiyonların en küçük değerlerinin bulunması için tasarlanmış bir sezgisel yaklaşımdır. Yöntem bir termodinamik sistemin örnek durumlarını üretmek için bir Monte Carlo metodu olan Metropolis-Hastings algoritmasının uyarlanmasıdır. TB yöntemi termodinamiğe dayalı bir simülasyon algoritmasına dayanmaktadır. Adı ve esin kaynağı metalürjide tavlama işleminin fiziksellik sürecinden gelmektedir; soğutulduğu zaman birçok parçacığın fiziksel bir sistemde toplanmasını gerektirir. Diğer olasılıksal yaklaşımlar gibi en iyi çözümün en kısa zamanda üretimini sağlar. Özellikle matematiksel modellerle gösterilemeyen kombinasyonel problemlerin eniyileme uygulamalarında tercih edilir (Aycan, 2008).

4.2.3. Yerel arama algoritmaları

Yerel arama algoritmalarında amaçlanan, arama uzayında istenen kısıtlara sahip veya amaç fonksiyonunu eniyileyen durumu bulmaktır. Hafızada mevcut durum tutulur. Kısıtlı bir hafızaya gerek duyulur. Mevcut durum düzeltilmeye çalışılır (<http://compe.hku.edu.tr>).

Yerel Arama' da üç önemli kavram vardır.

- Bir başlangıç noktası
- Noktanın komşuları
- Başlangıç noktasından komşulara, oradan da diğer komşulara geçecek bir algoritma tasarlanmalıdır.

Problem çözümü için uygulanacak yerel arama adımları şu şekildedir:

Adım 1. Rastgele bir s başlangıç çözümüyle başla.

Adım 2. Komşulukları incele.

Adım 3. Daha iyi bir komşuluk değeri varsa (s') o değeri tut.

Adım 4. Şimdiye kadar bulunan en iyi çözümse $s=s'$ olarak ata.

Adım 5. Adım 2' ye dön, döngüyü tekrarla. (Pinedo, 2008)

4.2.4. Yasaklı (Tabu) arama

Yasaklı Arama'nın temeli Fred Glover'in önerdiği fikirlere dayanmaktadır. Son yıllarda, Glover'in 1986'da ilk kez önerdiği buluşsal yöntem olan YA uygulamalarını sunan yüz kadar çalışma, yöneylem araştırması literatüründe çeşitli kombinatoriyal problemlere çözüm olmuştur. Birçok durumda, açıklanan yöntemler, en iyi duruma çok yakın çözümler sunsa da ve eldeki zor problemleri çözmek için en etkili çözüm olmasa da en iyiye yakın yöntemlerdir. Bu başarılı yaklaşımlar, birçok ortamda karşılaşılan büyük kombinasyonel sorunlara iyi çözümler getirmek için kullanılan yöntemler arasında YA'yı son derece popüler hale getirmiştir (Islam vd., 2016).

YA; başlangıç çözümü, hareket prosedürü, aday liste stratejileri, hafıza, tabu yıkma kriterleri, durdurma koşulları gibi bazı elemanları içeren sezgisel bir algoritma yaklaşımıdır. YA algoritmasında olası çözümler, belirlenen çözümün komşuluklarından oluşmaktadır (Altunay ve Eren, 2017).

YA'da hafızayı kullanmanın yolu, komşuluk hareketlerinin bir alt kümesini yasak olarak sınıflandırmaktır (Glover vd., 1995). Geçerli çözüme ulaşmak için bir komşuluk yapısı tespit edilir (Reeves, 1993). Yasak hareketleri kaydeden bir yasak listesi tutulur. Şimdiye kadar herhangi bir komşuluk yapısı çözümünden daha iyi bir çözüm ile sonuçlanacak bir tabu hareketi daha tatmin edici bir değerlendirmeye sahipse, tabu sınıflandırması geçersiz kılınabilir (Glover vd., 1995).

Aday listesi

En iyi hamlenin seçilmesi mevcut çözümü daha iyileştirebilen veya bu çözümü sağlayamayan, iyi hareketlerin optimum veya optimal çözümlere ulaşma olasılığının daha yüksek olduğu varsayımına dayanmaktadır. Belirli bir tekrarlama teşebbüs edilen kabul edilebilir çözüm seti, aday listeleri oluşturmaktadır. YA, aday listesinden en iyi çözümü seçer. Aday liste boyutu, kalite ve performans arasında bir dengedir.

Hareketin tersine çevrilmesini önlemek için, bu hareketlerin seçilen özelliklerini yasaklı yapan tabu kısıtlaması kullanılır. Tabu kısıtlamaları, her yinelemede hala mümkün olan en iyi hamleyi yaparken aramanın yerel en iyi noktalarının ötesine geçmesini sağlar. Tabu kısıtlamaları, hareketin tersine çevrilmesini önlemek için hareket özniteliklerini depolayan bir yasak listesi tarafından zorlanmaktadır. Yasak listesi ilişkili bir boyuta sahiptir ve kabul edilen hamle penceresinde görselleştirilebilir. Bu pencerede hareketleri geri alma eğiliminde olanlar yasaktır (Youssef vd., 2000).

Yasaklı arama hafızası

YA'da, kısa dönem ve uzun dönem olmak üzere iki tip hafıza kullanımı vardır. Kısa dönem hafıza metodunda son yapılan hareketlerin yasak listesine alınması sağlanarak bu hareketlerin yakın zamanda yapılması engellenir ve aramanın yerel bir alana takılması önlenmeye çalışılır. Uzun dönem hafıza kullanımında başlangıçtan itibaren arama ile ilgili bilgiler tutulduğundan, daha kapsamlı bilgi depolanması sağlanmış olmaktadır (Glover ve Laguna, 1997).

Kısa dönem hafıza stratejileri

Kısa dönem hafızada yakınlık tabanlı hafıza temelli yakın dönemde elde edilen çözümler tutulmakta ve sonraki adımlarda yasak listesinde bulunan elemanların bulunduğu bölgede araştırılma yapılması engellenmiş olmaktadır. Sürekli güncellenen bir yapıya sahiptir (Glover ve Laguna, 1997).

Uzun dönem hafıza stratejileri

Problem çözümlerinde bilgilerin daha uzun süre hafızada tutulmasına dayanan uzun dönem hafıza stratejileri ile araştırmanın bütünü ile ilgili bilgiler tutulabilmekte ve iyi çözümler etrafında yoğunlaşıp, iyi olmayan çözümlerin tekrarlanması engellenebilmektedir. Yoğunlaştırma (intensification) stratejileri, varolan çözümü iyi olarak belirlenmiş çözüme benzeyecek şekilde hareket seçimi yapmaya zorlamaktadır. Birbirine benzerlik gösteren

çözümlerin oluşmasını engellemek amacıyla yoğunlaştırma içinde bazı değişiklik (diversification) stratejileri kullanılabilir (Glover ve Laguna, 1997).

Yasak listesinde tutulma

Tabuya seçilmiş her bir eleman, belirli bir artırma süresi boyunca yasak listesinde tutulur. Bu süre tamamlanınca bu eleman listeden çıkarılır. Bu hareket sonucu elde edilen çözümlerde tekrardan çözüm uzayındaki yerlerini alır. Bu şekilde daha sonra meydana gelen iteratif hareketlerde bu elemanları kapsayan çözümler ziyaret edilebilir. Yasak listesine alınan bir hareketin listede tutulma süresi problem yapısına göre belirlenmelidir. Literatürde çeşitli tabu tutulma stratejileri kullanılmıştır. Bu stratejilerin bazıları, listeye ilk giren elemanın ilk çıkması (FIFO-first in first out), yasak olan bir hareketin, mevcut artırmaya kadar bulunmuş en iyi çözümden daha iyi bir çözümün elde edilmesini sağladığı tespit ediliyorsa, yasak olmasına rağmen gerçekleştirilmesi şeklindedir. İlk giren ilk çıkar prensibinde belirlenen iterasyon sayısına ulaşıldığında tabu yıkılarak tekrar çözüm olarak seçilebilmektedir. Bu strateji YA Algoritması'nın tek bir çözümde takılı kalmasının önüne geçilmesi bakımından önemlidir (Glover ve Laguna, 1997).

Tabuda kalma süresine ya da tabu uzunluğuna verilen değerin düşük olması algoritmanın yerel lokasyonda takılmasına sebep olabileceken, yüksek değerlerin verilmesi de çözümlerin kalitesini olumsuz yönde etkileyebilmektedir (Glover ve Laguna, 1997).

Komşuluk yapısı

Komşuluk yapısı oluşturmak YA'nın en önemli bileşenlerinden olup, amaç fonksiyonu değerini eniyileyecek hareketin seçilmesi esasına dayanır. Bir sonraki çözüm için araştırılacak komşuluklar yasak durumu kontrol edilerek yeniden belirlenmektedir. Çözüm araştırılırken tüm komşuluklara bakılması daha iyi sonuçların elde edilmesi açısından önemlidir. Fakat bu durum zaman kayıplarına yol açabilmektedir. Bu sebeple komşuluk yapısı daha stratejik yaklaşımlarla hem iyi çözümlerin bulunmasını kolaylaştıracak hem de süre kaybını azaltacak şekilde tasarlanmalıdır.

Literatürde çözüm aranan problemin amaç fonksiyonu değerini eniyileyecek çeşitli hareket mekanizmaları üzerine çalışmalar bulunmaktadır. En iyi çözüm araştırılırken sıklıkla kullanılan takas hareketi, rastgele iki girdinin seçilerek birbiriyle yer değiştirilmesi ile oluşturulur. Birçok kombinatoriyal problemde kullanılan ikili hareket, çift yönlü değişim hareketi olarak da adlandırılır. Algoritmanın aynı en iyi çözüm bölgesine geri dönmesine izin verilmez ve bu şekilde bir çeşitlendirme etkisi oluşturulur. Komşuluk operatörünün bazı diğer uygulamaları ile aynıdır

(Costa, 1994). Basit hareket ise rastgele seçilen girdilerin her ardıştırmada rastgele taşınması ile gerçekleştirilir.

Aspirasyon (Tabu yıkma) kriteri

YA'da bazen çok cazip hareketler yasaklanabilmektedir ya da arama sürecinin genel bir durgunluğuna neden olabilmektedir. Bu nedenle tabunun iptal edilmesine izin verecek algoritmik yapılar kullanmak gereklidir. Bunlara aspirasyon kriterleri denir. Tanımlanan aspirasyon kriteri, şimdiye kadarki en iyi çözümü bulan ardıştırmanın tabu durumunu kaybedeceği şeklinde ifade edilmektedir. En basit ve en çok kullanılan aspirasyon kriteri hareket tabu olsa bile, mevcut en iyi bilinen çözümün amaç fonksiyonu değerinden daha iyi bir çözüm ile sonuçlanırsa hareketine izin verilmesidir. Çok daha karmaşık aspirasyon değerlendirme kriterleri önerilmiş ve başarıyla uygulanmıştır (Gendreau ve Potvin 2010).

Durdurma kriteri

YA Algoritması'nın belirli bir ardıştırma sayısına ulaştığında durdurulması, durdurma kriteri olarak tanımlanır. Yapılandırılmış olan çözüm algoritmasında belirlenen en büyük ardıştırma sayısına ulaşıldığında, algoritma durdurulur (Gendreau ve Potvin 2010).

YA Algoritması'nın ardıştırmaları, durdurma koşulu sağlanana kadar devam eder. Bu koşullar;

- Belirlenen komşu çözümün komşusunun olmaması,
- Belirlenmiş olan en büyük ardıştırma sayısına ulaşılması,
- İstenilen bir çözüm değerine ulaşılması,
- Mevcut en iyi çözümde daha fazla iyileştirme yapılamamasıdır (Güden vd., 2005).

YA Algoritması için uygulanacak adımlar şu şekildedir:

Adım 1: Rastgele bir ilk çözüm oluşturulur.

Adım 2: Çözümün aday çözüm listesi komşuları belirlenir ve bu komşu çözümlerin amaç fonksiyonu değerleri hesaplanır.

Adım 3: Çözümler karşılaştırılır, tabu koşullarından birinin ihlal edildiği ya da aspirasyon koşullarından en az birinin sağlandığı şekilde çözüm seçilir.

Adım 4: Eğer elde edilen uygun en iyi çözümün değeri, o zamana kadarki en iyi uygunluk değerinden daha iyiye yeni çözüm en iyi olarak tutulur.

Adım 5: Yasak listesi ve aspirasyon kriteri güncellenir.

Adım 6: Durdurma kriteri sağlanmışsa durulur, değilse Adım 2'ye gidilir (Hertz, 1992).



5. ANALİTİK HİYERARŞİ PROSESİ UYGULAMA ADIMLARI

Thomas L. Saaty tarafından geliştirilen AHP, uzmanların, karar vericilerin kararlarına dayanarak ikili karşılaştırmalar yoluyla öncelik ölçeklerini tayin etmek için kullanılan birçok kriterli karar verme yöntemidir. Ayrık ve ikili karşılaştırmalardan oranlar elde etmek için kullanılır. Bu kıyaslamalar gerçek ölçümlerden veya ikili karşılaştırmalar yoluyla uzmanların görüşleri yoluyla alınır. AHP, birçok kriteri aynı anda dikkate alarak bir sentez veya sonuca ulaşmak için sayısal hesaplamalar yapmak suretiyle çözüme ulaşılmasını sağlayan hiyerarşik bir yapıdır. En geniş uygulamalarına çok kriterli karar vermede, planlamada ve kaynak tahsisinde rastlanmaktadır (Saaty, 1987).

Organize bir şekilde bir karar vermek ve öncelikleri oluşturmak için, karar verme süreci aşağıdaki adımlarla çözümlenmelidir.

Adım 1. Problemin tanımlanması,

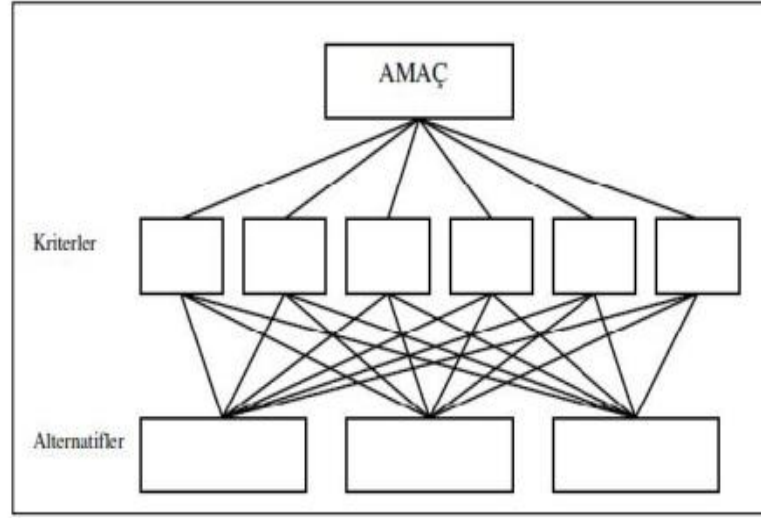
Adım 2. Karar vermede, hiyerarşik yapının kurulması,

Adım 3. Karşılaştırma matrislerinin oluşturulması ve Saaty'nin 1-9 ölçeği ile alternatiflerle kriterlerin ikili karşılaştırmalarının yapılması (Üst düzeydeki her bir öge kendisiyle hemen altındaki seviyedeki öğeleri karşılaştırmak için kullanılır),

Adım 4. Her kriterin hemen altındaki seviyedeki öncelikleri ölçmek için karşılaştırmalardan elde edilen öncelikleri kullanılması,

Adım 5. Ardından aşağıdaki seviyedeki her bir öge için ölçüm değerlerinin eklenmesi ve bütünsel önceliğinin hesaplanması (Saaty, 2008).

En alttaki seviyedeki alternatiflerin nihai öncelikleri elde edilinceye kadar bu ölçme ve ilave etme işlemine devam edilir. Analitik Hiyerarşi Modeli Şeması Şekil 5.1'de gösterilmiştir (Saaty ve Vargas, 2012).



Şekil 5.1. Üç seviyeli analitik hiyerarşi modeli (Saaty ve Vargas, 2012).

5.1. İkili Karşılaştırma Matrisi

Karar vericiler tarafından belirlenen kriterler arasında ikili karşılaştırmalar yapılır. Bu karşılaştırmayı yaparken yararlanılması için Thomas L. Saaty tarafından ikili karşılaştırmada kullanılan bir ölçek geliştirilmiştir. AHP yöntemi, bu karşılaştırma skalasını kullanarak ikili karşılaştırmalarla hiyerarşideki karar noktalarına ilişkin önem derecelerini yüzde dağılımlara dönüştürmektedir. Bu ölçekte karar kriterleri ve karar alternatifleri her bir karar kriterine göre ikili karşılaştırmalarla, 1 ile 9 arasında değerler alacak şekilde belirlenmiştir (Saaty, 1990a). İkili karşılaştırmalarda değerlerin anlamları Çizelge 5.1’de gösterilmiştir.

Çizelge 5.1. İkili karşılaştırma ölçeği (Saaty, 1990a).

Değer	Tanım	Açıklama
1	Eşit önem	İki faaliyet amaca eşit düzeyde katkıda bulunuyor.
3	Orta derecede önem	Tecrübe ve yargı bir faaliyeti diğerine orta derecede tercih ettiriyor.
5	Kuvvetli derecede önem	Tecrübe ve yargı bir faaliyeti diğerine kuvvetli bir şekilde tercih ettiriyor.
7	Çok kuvvetli derecede önem	Bir faaliyet güçlü bir şekilde tercih ediliyor ve baskınlığı uygulamada rahatlıkla görülüyor.
9	Mutlak derecede önem	Bir faaliyetin diğerine tercih edilmesine ilişkin kanıtlar büyük güvenilirliğe sahip.
2, 4, 6, 8	Ara değerler	İki ardışık yargı arasındaki değerler
1/9	Mutlak derecede önemsiz	Bir faaliyetin diğerine tercih edilmemesi için kanıtlar büyük güvenilirliğe sahip
1/7	Çok kuvvetli derecede önemsiz	Bir faaliyetin güçlü bir şekilde tercih edilmediği uygulamada görülüyor.
1/5	Kuvvetli derecede önemsiz	Tecrübe ve yargı bir faaliyeti diğerine kuvvetli derecede tercih ettirmiyor.
1/3	Orta derecede önemsiz	Tecrübe ve yargı bir faaliyeti diğerine orta derecede tercih ettiriyor.
1	Eşit önem	İki faaliyet amaca eşit düzeyde katkıda bulunuyor.
1/8, 1/6, 1/4, 1/2	Ara değerler	İki ardışık yargı arasındaki değerler

Karşılaştırmaların ardından bir kriter için dört alternatifin ikili karşılaştırma matrisi A aşağıdaki gibi ifade edilir.

$$A = \begin{bmatrix} 1 & 1/a_{21} & 1/a_{31} & 1/a_{41} \\ a_{21} & 1 & 1/a_{32} & 1/a_{42} \\ a_{31} & a_{32} & 1 & 1/a_{43} \\ a_{41} & a_{42} & a_{43} & 1 \end{bmatrix}$$

a_{ij} : ilgili kriter açısından i . alternatifin j . alternatife göre tercih önceliğini,

$1/a_{ji}$: ilgili kriter açısından j . alternatifin i . alternatife göre tercih önceliğini göstermektedir.

Çalışmada matrisin normalleştirilmesi işleminde ilk olarak her bir matris sütunun toplamı bütün sütun elemanlarının değerine tek tek bölünerek aşağıdaki gibi formülize edilir.

B_i , kriterlerin yüzde önem değerleri hesaplandıktan sonra elde edilen matristir.

$$A = \begin{bmatrix} 1 & 1/a_{21} & 1/a_{31} & 1/a_{41} \\ a_{21} & 1 & 1/a_{32} & 1/a_{42} \\ \dots & \dots & 1 & \dots \\ a_{n1} & a_{n2} & \dots & 1 \end{bmatrix}, b_{ij} = a_{ij} / \left(\sum_{i=1}^n a_{ij} \right), (j=1, 2, \dots, n), B_i = \begin{bmatrix} b_{11} \\ b_{21} \\ \vdots \\ b_{n1} \end{bmatrix}. \quad (1)$$

Bu şekilde normalleştirilmiş matriste her satırın B_i aritmetik ortalaması bulunur. Karşılaştırma matrisi oluşturulduktan sonra matrisin satır değerlerinin ortalamasının alınmasıyla ağırlıklar belirlenir.

$$C = \begin{bmatrix} 1 & 1/b_{21} & 1/b_{31} & 1/b_{41} \\ b_{21} & 1 & 1/b_{32} & 1/b_{42} \\ \dots & \dots & 1 & \dots \\ b_{n1} & b_{n2} & \dots & 1 \end{bmatrix}, w_i = \left(\sum_{j=1}^n c_{ij} \right) / n, \quad W = \begin{bmatrix} w_1 \\ w_2 \\ \vdots \\ w_n \end{bmatrix}. \quad (2)$$

w_i , i . alternatifin göreceli öncelik değerini göstermektedir.

Ağırlık vektörü ilgili olduğu kriterin karşılaştırma matrisi ile çarpılır ve öncelik vektörü elde edilir. İkili karşılaştırmalar matrisi (A matrisi) ile göreceli öncelik vektörünün (W vektörü) matris çarpımından ağırlıklandırılmış toplam sütun vektörü (D vektörü) elde edilir.

w_j , göreceli öncelik vektörünün j . elemanını ifade etmektedir.

$$D = [a_{ij}]_{n \times n} * [w_i]_{n \times 1} = [d_i]_{n \times 1}$$

$$D = \begin{bmatrix} 1 & 1/a_{21} & 1/a_{31} & 1/a_{41} \\ a_{21} & 1 & 1/a_{32} & 1/a_{42} \\ \dots & \dots & 1 & \dots \\ a_{n1} & a_{n2} & \dots & 1 \end{bmatrix} x \begin{bmatrix} w_1 \\ w_2 \\ \vdots \\ w_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} d_1 \\ d_2 \\ \vdots \\ d_n \end{bmatrix}, D = \sum_{j=1}^n a_{ij} w_j, (i = 1, 2, \dots, n). \quad (3)$$

D vektörü ile W vektörünün karşılıklı elemanlarının bölümünden " e_i " değerleri elde edilir. e_i değerlerinin aritmetik ortalaması ile özdeğer (λ_{max}) hesaplanır.

$$e_i = \frac{d_i}{w_i}, (i = 1, 2, \dots, n) \text{ ve } \lambda_{max} = \left(\sum_{j=1}^n e_i \right) / n. \quad (4)$$

Burada λ_{max} en büyük öz değer, e_i öz değer hesaplanmasında kullanılan sütun vektörü, d_i ağırlıklandırılmış toplam vektörü, n matris boyutunu göstermektedir (Tüter, 2013).

5.2. Matris Tutarlılıklarının Hesaplanması

Matris tutarlılıkları hesaplanırken aşağıdaki adımlar izlenmektedir.

Adım 1: İkili karşılaştırma matrisinin 1. sütununu ilgili göreceli öncelik değeriyle çarp.

Adım 2: Adım 1'i diğer sütunlar içinde tekrarla.

Adım 3: Adım 1 ve Adım 2'se elde edilen vektörleri topla.

Adım 4: Adım1-3'de elde edilen toplam vektörünün her bir bileşenini ilgili öncelik değerine böl.

Adım 5: Adım 4'te bulunan değerlerin ortalamasını bul. Ortalama değer, λ olsun.

Adım 6: Tutarlılık indeksini hesapla $CI = (\lambda - n) / (n-1)$,

Burada n , $n \times n$ kare matrisin (ikili karşılaştırmalar matrisi) boyutudur.

Adım 6 Devamı:

-Rassallık indeksini (RI) hesapla:

$$RI = 1.98 (n-2)/n$$

-Tutarlılık oranını (CR) hesapla.

$$CR = CI / RI$$

-Eğer CR, 0.10'dan küçük ise matrisi tutarlı olarak kabul et, değilse matrisi gözden geçir.

Adım 7: Bütün ikili karşılaştırma matrisleri için Adım 1-6'yı tekrarla (Wind ve Saaty, 1980: 641-658).

Karşılaştırma matrisinin boyutuna göre RI değerleri Çizelge 5.2'de verilmiştir.

Çizelge 5.2. Rassal indeks-matris boyutu (Saaty, 1990b).

Matrisin Boyutu (n)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Rassal İndeks (RI)	0	0	0,58	0,90	1,12	1,24	1,32	1,41	1,45	1,49	1,51	1,48	1,56	1,57	1,59

6. ÇOK AMAÇLI OPTİMİZASYONDA SKALERLEŞTİRME YÖNTEMLERİ

Birden fazla amaç fonksiyonuna sahip olabilen mühendislik problemlerinde çelişen amaçlar olduğundan, bu amaçları optimize eden tek bir çözüm (ideal çözüm) bulunamayabilmektedir. Birden fazla amacın eş zamanlı olarak eniyilenmesi çok amaçlı optimizasyon olarak adlandırılır. Bu yüzden çok amaçlı optimizasyon problemlerinin çözümlerinde, birbirlerine amaç fonksiyonu değerleri açısından baskınlığı bulunmayan ve en az bir amaç açısından en az diğer bütün çözümler kadar iyi olan Pareto Optimal Çözümler olarak adlandırılan kavram kullanılmaktadır. Tüm amaçlar ele alındığında, diğer karar seçeneklerinden daha iyi olan çözüm, Pareto Optimal Çözümler'dir (Chankong ve Haimes, 1983).

Çok amaçlı optimizasyon problemlerinde, birden fazla kriterin söz konusu olduğu, özellikle bu kriterlerin birbirleriyle çeliştiği problemlerde farklı çözüm alternatifleri söz konusu olur. Çok amaçlı optimizasyon probleminde skalerleştirme yöntemlerinde amaçlar tek bir amaçta birleştirilir (Kaya ve Fırlalı, 2016).

6.1. Ağırlıklı Toplam Yöntemi

Ağırlıklandırma yöntemi, çok amaçlı optimizasyon problemlerinde sıklıkla kullanılan bir yaklaşım olup, amaçlar için karar vericinin tercihlerine göre farklı veya aynı ağırlıkların (w_i) kullanılması yoluyla oluşturulur. Karar verici, ağırlık değerlerini tespit eder ve önemli gördüğü amacın değerini ağırlıklandırma yoluyla belirler (Atlas, 2008). Problemdaki amaçlara verilen değişken ağırlık değerleri, farklı pareto çözümlerin elde edilmesini sağlar. Algoritmanın birçok kez çalıştırılmasıyla birden fazla pareto optimal çözüm elde edilebilmektedir. Ağırlıklandırma yaklaşımlarından olan Sabit Ağırlıklandırma, birden fazla amacı, tek amaçlı problem haline dönüştürürken sabit ağırlıklar (w_i) kullanır ve bu ağırlıkların toplamı 1 olmak zorundadır. Aşağıdaki eşitlik, p adet amaç fonksiyonuna sahip çok amaçlı problemin, tek amaç haline getirilmesini sağlar (Kaya ve Fırlalı, 2016).

$$F(x)=w_1f_1(x)+w_2f_2(x)+\dots+w_pf_p(x), \quad (5)$$

$$w_1+ w_2 + \dots + w_p =1, w_i \geq 0, i=1,2,\dots,p,$$

şeklinde olmalıdır.

6.2. Konik Skalerleştirme Yöntemi

Gasimov tarafından çok amaçlı problem çözümleri için geliştirilen Konik Skalerleştirme Yöntemi, amaç uzayının dışbükey veya dışbükey olmadığı durumlarda zayıf ve has etkin çözümlerin tamamının elde edilmesini sağlamaktadır (Gasimov, 2001:189-198). Çok geniş bir problem sınıfına hitap eden bu yöntem ile karar vericinin tercihlerini dikkate alan amaç fonksiyonu ağırlıkları ile referans noktası ($R_k, k=1,2,\dots,p$) göz önünde bulundurulmaktadır. Bu yöneme göre skaler enküçikleme probleminin en iyi çözümü aşağıdaki Eşitlik (6)'daki gibidir (Üstün, 2007).

$$\text{Enk } \alpha \sum_{k=1}^p |f_k(x) - R_k| + \sum_{k=1}^p w_k (f_k(x) - R_k) \quad (6)$$

$(\alpha, w) \in \{0 \leq \alpha < w_k, k=1,2,\dots,p\}$ şartı sağlanmalıdır.

Ağırlıklı Toplam Yöntemi ve Konik Skalerleştirme Yöntemi dışında ε -Kısıt, Uzlaşık Programlama ve Çebişev Skalerleştirme gibi başka yöntemlerde mevcuttur (Miettinen, 1999).

7. DERS ÇİZELGELEME PROBLEMİNİN YAPISI VE ÇÖZÜM İÇİN ÖNERİLEN MATEMATİKSEL MODEL

Ders Çizelgeleme Problemi incelenirken, işlenecek verinin fazla olması ve çeşitliliği sebebiyle çözüm için problem yapısının iyi analiz edilmesi gerekmektedir. Ele alınan problemin tüm bileşenleri detaylıca araştırılmalı ve tanımlanmalıdır. Bu bölümde toplanan veriler ile uygun matematiksel model önerilmeye çalışılmıştır.

7.1. Problem Tanımı

Kütahya Dumlupınar Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Endüstri Mühendisliği Bölümü normal öğretim ders programı, haftada 5 gün ve günde 10 saat olarak düzenlenmektedir. Haftada 50 saat ders işlenmektedir. Ders saatleri arasında 10 dakikalık molalar mevcuttur. Programda 62 ders (bitirme projesi ve staj dersleri hariç), 34 öğretim elemanı ve çizelgelenecek olan 9 derslik bulunmaktadır. Bazı öğretim üyeleri birden fazla derse girmektedir. Bölümün ders programı 1. sınıf, 2. sınıf, 3.sınıf, 4. sınıf normal öğretim öğrencilerini kapsamaktadır. Haftalık ders programının gün ve ders saatleri Çizelge 7.1. 'de verilmiştir.

Çizelge 7.1. Haftalık gün ve ders saatleri.

Gün Saat	Pazartesi	Salı	Çarşamba	Perşembe	Cuma
08:00-09:00	1	11	21	31	41
09:00-10:00	2	12	22	32	42
10:00-11:00	3	13	23	33	43
11:00-12:00	4	14	24	34	44
12:00-13:00	5	15	25	35	45
13:00-14:00	6	16	26	36	46
14:00-15:00	7	17	27	37	47
15:00-16:00	8	18	28	38	48
16:00-17:00	9	19	29	39	49
17:00-18:00	10	20	30	40	50

Bu çalışmada Kütahya Dumlupınar Üniversitesi Endüstri Mühendisliği Bölümü ders programı çizelgelemesi problemi incelenmiş ve çözümlenmeye çalışılmıştır. Endüstri Mühendisliği Bölümü; birinci öğretim, ikinci öğretim lisans programları ve yüksek lisans programlarıyla eğitim-öğretim faaliyetlerini sürdürmektedir. Bölümde yarıyıl boyunca geçerli olacak ders programı, her yarıyıl başında görevlendirilen araştırma görevlileri tarafından el ile

yapılmaktadır. Problem ile ilgili veriler, bölümün 2016-2017 Eğitim Öğretim Bahar yarıyılına ait ders programı üzerinden sağlanmıştır. Bu aşamada programın hazırlanmasında görevli olan kişilerle görüşülerek, ders programı oluşturma süreci analiz edilmiştir. Bölümün fiziksel olanakları, akademik personel ile ilgili kısıtlamaları ve öğretim işleyişi incelenmiş ve aşağıdaki bilgiler elde edilmiştir:

- Endüstri Mühendisliği Bölümü'nde, hafta içi beş gün saat sekiz (08:00) ile yirmi iki (22:00) saatleri arasında, hafta sonu bazı dersler için cumartesi 08:00-22:00 saatleri arası normal ve ikinci öğretim dersleri yapılmaktadır.

- Bölüm için kullanılabilir 6 adet derslik, bir yöneylem araştırması laboratuvarı, bir ergonomi laboratuvarı ve iki amfi bulunmaktadır. Yöneylem Araştırması Laboratuvarı'nda 17+1 adet Bilgisayar ve Endüstri Mühendisliği ile ilgili yazılım programları mevcuttur. Ergonomi Laboratuvarı, ergonomi ile ilgili ölçümler yapmak için kullanılan cihazları içermektedir. Bu fiziki mekânların kullanıma uygun olduğu günler ve günler içerisindeki zaman aralıkları önceden bilinmektedir.

- Ders planı içerisinde bulunan derslerin hangi tür fiziki mekânda (derslik veya laboratuvar) işleneceği önceden bilinmektedir.

- Dersi alacak öğrenci sayısı bölüm tarafından tahmini olarak belirlenmekte ve buna bağlı olarak her bir ders için uygun kapasiteli fiziki mekânlar tanımlanmaktadır.

- Bölümün ders planında yer alan dersler; Zorunlu, Sosyal Seçmeli (Sos. Seç.) ve Teknik Seçmeli (Tek. Seç.) Dersler olmak üzere üç kategoriye ayrılır.

- Bölümün ders planı sekiz yarıyıldan oluşmakta, bu yarıyıllarda hangi derslerin bulunduğu bilinmekte ve her bir öğrenci grubunun alması gereken dersler, ders planı kapsamında önceden belirlenmektedir.

- Ders programında yer alacak bazı derslerin yer ve zaman atamaları, haftalık ders programı oluşturulmadan önce belirlenebilmektedir.

- Ders programını düzenleyen araştırma görevlileri, yarıyıl başlamadan önce her öğretim elemanı ile irtibata geçerek verecekleri dersleri ve bu dersleri hangi zaman aralıklarında verebileceklerini bildirmelerini ister.

- Elli dakika süren eğitim - öğretim çalışması, bir ders saati olarak tanımlanır.

- Dersler ders saatine bağlı olarak birden fazla oturumda işlenebilmekte ve derslerin oturum sayıları bölüm tarafından belirlenmektedir. İki ve üç ders saati uzunluğunda olan dersler

tek oturumda, dört ders saati uzunluğunda olan dersler iki artı iki olmak üzere iki oturumda, beş ders saati uzunluğunda olan dersler ise üç artı iki olmak üzere iki oturumda işlenebilmektedir. Bazı derslerin bölünmeksizin dört saat olarak işlenebilmesi de mümkündür. Bunun sonucunda öğretim planını aksatmamak için şu noktalara dikkat edilmektedir.

i) Ders planında ilgili yarıyılıda (bahar veya güz) açılması gereken tüm zorunlu dersler açılmalıdır.

ii) Yeterli sayıda bölüm seçimlik dersi açılmalıdır.

iii) Öğretim elemanlarının zorunlu ders yükleri olabildiğince tamamlanmalıdır.

Ders çizelgelemesi problemi şu varsayımlar altında incelenmiştir:

- Her dersi alan öğrenci sayıları önceden bilinmektedir.
- Hangi dersin hangi öğretim üyesi tarafından verileceği önceden bilinmektedir.
- Derslik kapasiteleri önceden bilinmektedir.
- Her dersin kaç oturumda yapılacağı ve her oturumun süresi önceden bilinmektedir.
- Hangi dersin hangi derslikte verileceği önceden bilinmektedir.

7.2. İki Amaçlı 0-1 Tamsayılı Ders Zaman Çizelgeleme Matematiksel Modeli (TDZÇM)

Çalışmada ders programının oluşturulması amacıyla bir matematiksel model kurulmuştur. Probleme ilişkin değişkenler, kısıtlar ve parametreler oluşturulmuş, bu doğrultuda problem yapısına uygun amaç fonksiyonları tanımlanmıştır.

İndisler, Karar Değişkeni, Parametreler ve Kümeler

İndisler

$I = \{i \mid i = 1, 2, \dots, m\}$: Dersler,

$J = \{j \mid j = 1, 2, \dots, n\}$: Günler,

$K = \{k \mid k = 1, 2, \dots, r\}$: Günlük ders saatleri,

$N = \{n \mid n = 1, 2, \dots, t\}$: Öğrenci grubu,

$L = \{l \mid l = 1, 2, \dots, u\}$: Öğretim elemanı,

$I' = I, J' = J, K' = K.$

Karar değişkenleri

$$x_{ijk} = \begin{cases} 1; & i. \text{ ders, } j. \text{ günün, } k. \text{ ders saatine atanırsa;} \\ 0; & \text{diğer durumlarda;} \end{cases}$$

Parametreler

D_i : i . dersin haftalık toplam ders saati,

$V_{i,i'}$: i dersi ile i' dersi çakışan öğrenci sayısı,

T_{ij} : i . dersin öğretim elemanının j . gün tercih önceliği,

H_{ik} : i . dersin öğretim elemanının k . saat tercih önceliği.

Modelde kullanılan alt kümeler

I_w : Ders saatleri ve günleri sabit ve değişmez dersler,

I_l : l . öğretim elemanının vermiş olduğu dersler,

K_{lj} : l . öğretim elemanının j . günde ders vermek istemediği ders saatleri,

W_{lj} : l . öğretim elemanının j . günde sabit ve değişmez ders saatleri,

I_Z : Zorunlu dersler,

I_S : Seçmeli dersler.

Kısıtlar

a) Öğretim Elemanı Kısıtları

1. Öğretim elemanları ders vermek istemedikleri veya ders veremeyecekleri saatlerini önceden bildirebilmektedir. Bu kısıt genelde tercihe bağlı yumuşak bir kısıt olarak ele alınmasına rağmen bizim çalışmamızda sıkı bir kısıt olarak modelde yer almaktadır.

$$x_{ijk} = 0, \forall i \in I_l, (j, k) \in K_{lj}. \quad (7)$$

2. Ders saatleri ve günleri sabit ve değişmez derslere ait olan gösterim Eşitlik (8) 'deki gibidir.

$$x_{ijk} = 1, \forall i \in I_w, (j, k) \in W_{I_j}, \quad (8)$$

3. Bir öğretim elemanının bir dönem içerisinde vermiş olduğu derslerin ders saatleri çakışmamalıdır. Bu kısıt tüm öğretim elemanları için sağlanmak zorunda olan sıkı kısıtlardandır.

$$\sum_{i \in I_1} x_{ijk} \leq 1, \forall (j, k). \quad (9)$$

b) Müfredat Dönemi Kısıtları

Müfredat planında bir sınıfın güz veya bahar dönemine ait derslerinin, ders saatlerinde çakışma olmamalıdır. Elde edilecek çizelgenin geçerli olabilmesi için, aynı sınıf derslerinin çakışmaması ve ilgili sınıf öğrencilerin o döneme ait zorunlu dersleri herhangi bir problem yaşamadan alabilmeleri gerekmektedir. Bu kısıt sıkı kısıtlardandır. Aynı zamanda ilgili dönemde müfredatta yer alan seçmeli ders grubunda açılan derslerin de zorunlu ve diğer seçmeli grubundaki derslerle çakışmaması gerekmektedir. Tüm derslere birer numara verilmiş, zorunlu ve seçmeli ders kümeleri bu numaralarla ifade edilmiştir.

Çizelge 7.2. Müfredatta bulunan zorunlu ve seçmeli dersler.

Zorunlu Dersler	Ders No	Seçmeli Dersler	Ders No
Matematik II (Mat. II)	1	Sos. Seç. Ders II/ Girişimcilik	
Fizik II (Fiz. II)	2	Sos. Seç. Ders II/ Çevre Yönetim Sistemleri	20
Teknik Resim (Tek. Res.)	3	Sos. Seç. Ders II/ Kentsel Yapıda Çağdaş Yaklaşımlar	21
Genel Ekonomi (Gen. Eko.)	4	Tek. Seç. Ders II/ Nesneye Dayalı Programlama	22
Türk Dili II	5	Tek. Seç. Ders II/ Servis Sistemleri	23
Bilgisayar Programlama (Bilg.Prog.)	6	Tek. Seç. Ders II/ Mesleki İngilizce II	24
İngilizce II (İng II)	7	Tek. Seç. Ders IV/ Veri Tabanı Yönetim Sistemleri	25
İstatistik I	8	Tek. Seç. Ders IV/ Lojistik Yönetimi	26
Üretim Yöntemleri	9	Tek. Seç. Ders IV/ Yatırım Proje Analizi	27
Termodinamik	10	Tek. Seç. Ders IV/ Hücreyel İmalat Sistemleri	28
Sayısal Analiz	11	Tek. Seç. Ders VI/ Çizelgeleme Uygulamaları	29
Atatürk İlke ve İnkılâpları Tarihi II (A.İ.I.T)	12	Tek. Seç. Ders VI/ Deney Tasarımı	30
Üretim Yönetimi	13	Müh. Projesi / Tedarik Zinciri Projesi	31
Kalite Kontrol	14	Müh. Projesi / Modern Üretim Sistemleri Projesi	32
Yöneylem Araştırması II (Yön. Araş. II)	15	Müh. Projesi / Üretim Planlama ve Ekonomi Projesi	33
Mühendislik Ekonomisi (Müh. Eko.)	16	Müh. Projesi / Yöneylem Araştırması Projesi	34
Sistem Benzetimi (Sist. Ben.)	17	Müh. Projesi / Yönetim Projesi	35
Yönetim ve Organizasyon	18	Müh. Tasarımı / Tedarik Zinciri Tasarımı	36
Ergonomi	19	Müh. Tasarımı / Modern Üretim Sistemleri Tasarımı	37
		Müh. Tasarımı / Üretim Planlama ve Ekonomi	38
		Tasarımı	39
		Müh. Tasarımı / Yöneylem Araştırması Tasarımı	40
		Müh. Tasarımı / Yönetim Tasarımı	41

Zorunlu Dersler

1) $I_{Z1}=\{i \mid i=1, 2, 3, 4, 5, 6, 7\}$ Kütahya Dumlupınar Üniversitesi Endüstri Mühendisliği Bölümü 1.Sınıf Bahar Döneminde verilen dersler,

2) $I_{Z2}=\{i \mid i=8, 9, 10, 11, 12\}$ Kütahya Dumlupınar Üniversitesi Endüstri Mühendisliği Bölümü 2. Sınıf Bahar Döneminde verilen dersler,

3) $I_{Z3}=\{i \mid i=13, 14, 15, 16, 17\}$ Kütahya Dumlupınar Üniversitesi Endüstri Mühendisliği Bölümü 3.Sınıf Bahar Döneminde verilen dersler,

4) $I_{Z4}=\{i \mid i=18, 19\}$ Kütahya Dumlupınar Üniversitesi Endüstri Mühendisliği Bölümü 4.Sınıf Bahar Döneminde verilen derslerdir.

$$I_Z= \{I_{Z1} \cup I_{Z2} \cup I_{Z3} \cup I_{Z4}\}$$

Seçmeli Dersler

1) $I_{S1}=\{i \mid i = 20, 21, 22\}$ Kütahya Dumlupınar Üniversitesi Endüstri Mühendisliği Bölümü 2. Sınıf Bahar Dönemi öğrencilerine verilen seçmeli dersler,

2) $I_{S2}=\{i \mid i = 23, 24, 25\}$ Kütahya Dumlupınar Üniversitesi Endüstri Mühendisliği Bölümü 3. Sınıf Bahar Dönemi öğrencilerine verilen seçmeli dersler,

3) $I_{S3}=\{i \mid i= 26, 27, 28, 29\}$ Kütahya Dumlupınar Üniversitesi Endüstri Mühendisliği Bölümü 4. Sınıf Bahar Dönemi öğrencilerine verilen 1. Grup seçmeli dersler,

4) $I_{S4}=\{i \mid i= 30, 31\}$ Kütahya Dumlupınar Üniversitesi Endüstri Mühendisliği Bölümü 4. Sınıf Bahar Dönemi öğrencilerine verilen 2. Grup seçmeli dersler,

5) $I_{S5}=\{i \mid i= 32, 33, 34, 35, 36\}$ Kütahya Dumlupınar Üniversitesi Endüstri Mühendisliği Bölümü 4. Sınıf Bahar Dönemi öğrencilerine verilen 3. Grup seçmeli dersler,

6) $I_{S6}=\{i \mid i= 37, 38, 39, 40, 41\}$ Kütahya Dumlupınar Üniversitesi Endüstri Mühendisliği Bölümü 4.Sınıf Bahar Dönemi öğrencilerine verilen 4. Grup seçmeli derslerdir.

$$I_S= \{I_{S2} \cup I_{S3} \dots \cup I_{S_n}\}$$

Müfredatta bulunan dördüncü sınıf, 3. ve 4. grup seçmeli dersler (I_{S5}, I_{S6}) cumartesi günü çizelgelendiği için kısıtlarda yer almamaktadır.

c) Derslerin Çakışmama Kısıtları

1. Sınıf Bahar Dönemi Dersleri için

$$\sum_{i \in I_{Z1}} x_{ijk} \leq 1, \forall (j, k) \quad (10)$$

2. Sınıf Bahar Dönemi Dersleri için

$$x_{i'jk} + \sum_{i \in I_{Z2}} x_{ijk} \leq 1, \forall (j, k), \forall i' \in I_{S1} \quad (11)$$

3. Sınıf Bahar Dönemi Dersleri için

$$x_{i'jk} + \sum_{i \in I_{Z3}} x_{ijk} \leq 1, \forall (j, k), \forall i' \in I_{S2} \quad (12)$$

4. Sınıf Bahar Dönemi Dersleri için

$$x_{i'jk} + x_{i''jk} + \sum_{i \in I_{Z4}} x_{ijk} \leq 1, \forall (j, k), \forall i' \in I_{S3}, \forall i'' \in I_{S4} \quad (13)$$

$Z \cup S = I$

d) Ders Kısıtları

1. Bölüm tarafından önceden belirlenen müfredat derslerinin tamamının ders saati kadar atama yapılmalıdır. Bu kısıt modelde olması zorunlu olan sıkı bir kısıttır. Bu kısıt her ders için aşağıdaki gibi oluşturulmuştur.

$$\sum_{j=1}^n \sum_{k=1}^r x_{ijk} = D_i, \forall i \quad (14)$$

2. Bölüm için kullanılabilir 9 derslik (6 sınıf, 1 laboratuvar, 2 amfi) olması varsayımı altında; aynı ders saatinde 9'dan fazla ders olamaması kısıtı da sıkı bir kısıt olarak yer almaktadır.

$$\sum_{i=1}^m x_{ijk} \leq 9; \forall (j, k) \quad (15)$$

3. Ders bütünlüğünün bozulmaması için; ders bloklarının arasında başka bir ders olmamalıdır. Bunun için ardışıklık kısıtlarından faydalanılmıştır. Bu kısıtlar zorunlu olan sıkı kısıtlardandır.

$$x_{ijk} - x_{ij(k+1)} - x_{ij(k-1)} \leq 0, \forall(i, j, k) \quad (16)$$

4. İki ders saatinin art arda atanmasını garantileyen kısıt aşağıdaki gibidir.

$$-x_{ijk} + x_{ij(k+1)} - x_{ij(k+2)} \leq 0, \forall(i, j, k) \quad (17)$$

Karar değişkeninin 0-1 tamsayı değişkenlerden oluştuğunu gösteren kısıt da modele sıkı bir kısıt olarak dâhil edilmiştir. Bu kısıt aşağıda verildiği gibidir:

$$x_{ijk} : 0-1 \text{ tamsayı}, \forall(i, j, k) \quad (18)$$

Amaç Fonksiyonları

1) Amaç fonksiyonu 1 - Öğretim elemanı tercihlerinin toplamının enbüyüklenmesi:

Bu fonksiyon öğretim elemanı tercihlerinin toplamını enbüyükleyen amaç fonksiyonudur. Bu amaç fonksiyonu ile öğretim elemanlarının tercihleri, ders programına mümkün olan en iyi şekilde yansıtılmaya çalışılmaktadır.

$$\text{Enb } f_1(x) = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n \sum_{k=1}^r (T_{ij} + H_{ik}) x_{ijk} \quad (19)$$

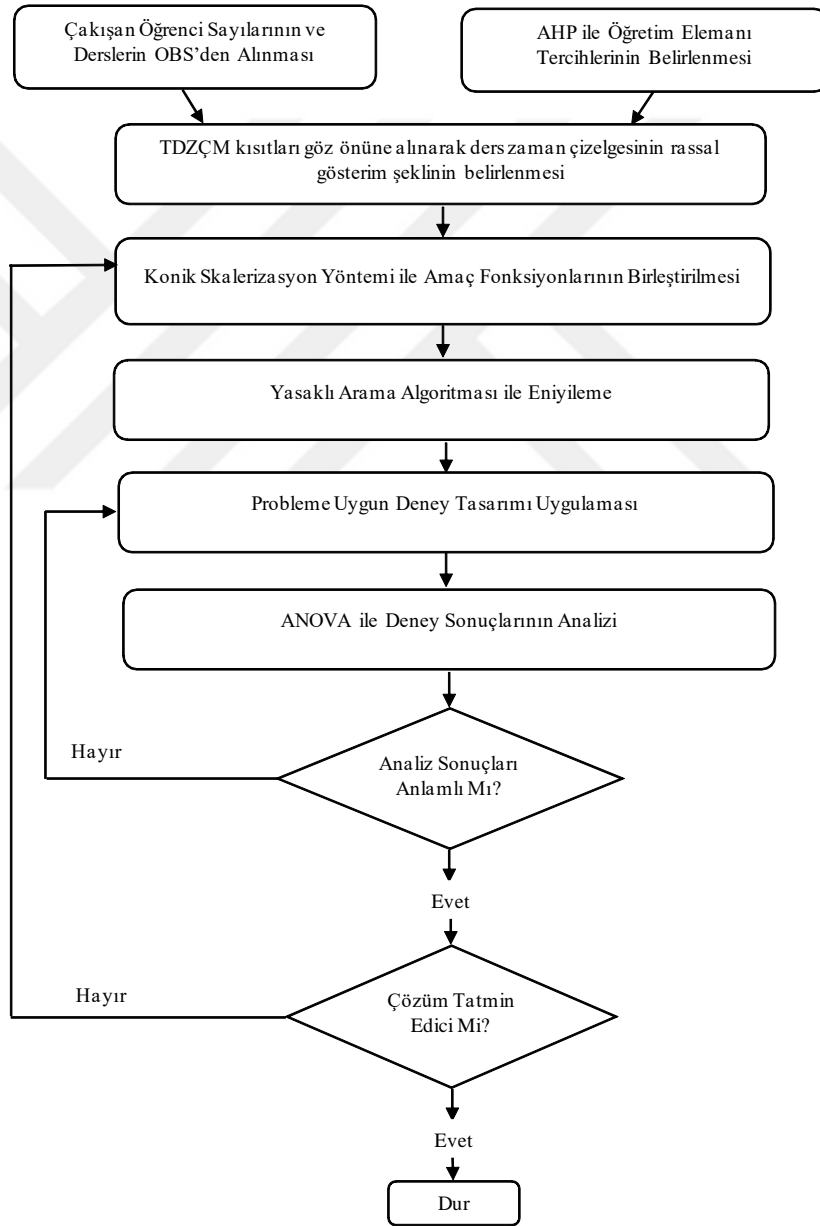
2) Amaç fonksiyonu 2- Toplam çakışan öğrenci sayısının en küçüklenmesi:

Ardışık sınıfların çakışan öğrenci sayıları toplamını en küçükleme amaçlanır.

$$(20) \quad \text{Enk } f_2(x) = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n \sum_{k=1}^r \sum_{i'=1}^m \sum_{j'=1}^n \sum_{k'=1}^r V_{ii'} x_{ijk} x_{i'j'k'}$$

8. AHP, KONİK SKALERLEŞTİRME ve YASAKLI ARAMA BÜTÜNLEŞİK YAKLAŞIMI

Ders Çizelgeleme Problemi 'ne çözüm getirmede bir takım yöntemler kullanılmış, uygun yaklaşımlar araştırılmıştır. AHP, YA ve Konik Skalerleştirme Yöntemleri kullanılarak önerilen bütünleşik yaklaşımın detaylı çözüm adımları Şekil 8.1'de gösterilmiştir.



Şekil 8.1. Uygulama akış şeması.

8.1. AHP ile Öğretim Elemanı Tercihlerinin Belirlenmesi

Problemin amaç fonksiyonlarından birincisi olan ve eniyilenmesi hedeflenen öğretim görevlilerinin ders günü, ders saati, derslik tercihlerinin belirlenmesinde, AHP yöntemine başvurulmuştur. Öğretim elemanlarına bir anket sunularak belirlenen kriterlerin ikili karşılaştırmalarını yapmaları istenmiştir. Bölümde ders veren 25 öğretim elemanına ders programı hazırlanmadan önce düzenlenen anket doğrultusunda tercihleri sorulmuş ve elde edilen veriler Expert Choice programına girilerek tutarlılık oranları analiz edilmiştir. Belirlenen karar kriterlerinin analizleri yapılmış ve ikili karşılaştırma matrislerinin tutarlılık oranlarının 0,1'e eşit ve küçük olduğu hesaplanmış ve tutarlı bulunmuşlardır.

Örneğin, Matematik II dersini veren öğretim elemanının saat tercihlerinin öncelik hesabının yapılmasında kullanılan tercih matrisi Çizelge 8.1'de verilmiş ve kolon toplamları hesaplanmıştır.

Çizelge 8.1. Matematik II dersi öğretim elemanı saat tercihleri matrisi.

Kriterler	08:00-09:00	09:00-11:00	11:00-13:00	13:00-15:00	15:00-17:00
08:00-09:00	1	1/6	1/3	1	1
09:00-11:00	6	1	5	7	6
11:00-13:00	3	1/5	1	6	6
13:00-15:00	1	1/7	1/6	1	2
15:00-17:00	1	1/6	1/6	1/2	1
Kolon Toplamı	12	1,676	6,666	15,5	16

Bileşenler sütun toplamlarına bölünerek aşağıdaki normalleştirilmiş matris elde edilmiştir.

M_n =Normalleştirilmiş matrisi ifade eder.

$$M_n = \begin{bmatrix} 0,083 & 0,099 & 0,049 & 0,064 & 0,062 \\ 0,500 & 0,590 & 0,750 & 0,451 & 0,375 \\ 0,250 & 0,110 & 0,150 & 0,387 & 0,375 \\ 0,083 & 0,083 & 0,024 & 0,064 & 0,125 \\ 0,083 & 0,099 & 0,024 & 0,032 & 0,062 \end{bmatrix}$$

Normalleştirilmiş matriste satır ortalamalarının bulunmasıyla saat tercihlerinin öncelik matrisi elde edilmiş olur.

$M_{s\ddot{o}}$ = Saat öncelik matrisi olmak üzere,

$$M_{s\ddot{o}} = \begin{matrix} \text{Saat-Öncelik Matrisi} & \text{Saatler} \\ \left[\begin{array}{c} 0,074 \\ 0,552 \\ 0,244 \\ 0,072 \\ 0,056 \end{array} \right] & \begin{array}{l} 08 : 00 - 09 : 00 \\ 09 : 00 - 11 : 00 \\ 11 : 00 - 13 : 00 \\ 13 : 00 - 15 : 00 \\ 15 : 00 - 17 : 00 \end{array} \end{matrix}$$

şeklinde elde edilir.

Öncelik matrisinden elde edilen veriler ile öğretim elemanı saat tercihleri Çizelge 8.2’deki gibi belirlenmiş olur.

Çizelge 8.2. Matematik II dersi öğretim elemanı saat tercihleri.

Saat	08:00	09:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	17:00
Öncelik	0,074	0,552	0,552	0,244	0,244	0,072	0,072	0,056	0,056	0,056

Matematik II dersini veren öğretim elemanının gün tercihlerinin öncelik hesabının yapılmasında kullanılan tercih matrisi verilmiş ve kolon toplamları hesaplanmıştır.

Çizelge 8.3. Matematik II dersi öğretim elemanı gün tercihleri matrisi.

Kriterler	Pazartesi	Salı	Çarşamba	Perşembe	Cuma
Pazartesi	1	1	1	1	1
Salı	1	1	1	1	1
Çarşamba	1	1	1	1	1
Perşembe	1	1	1	1	1
Cuma	1	1	1	1	1

Öğretim elemanı saat tercihlerinin öncelik matrisi ile Çizelge 8.4 elde edilir.

Çizelge 8.4. Matematik II dersi öğretim elemanı gün tercihleri.

Gün	Pazartesi	Salı	Çarşamba	Perşembe	Cuma
Öncelik	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2

Matematik II dersi, Pazartesi günü saat 08:00'da verildiğinde öncelik matrislerinden elde edilen değerler gün ve saat tercihleri için toplanır:

Örneğin Matematik II dersi, Pazartesi günü saat 08:00'da verildiğinde gün tercihi önceliği 0,2 ve saat tercih önceliği 0,074 olur. Matematik II dersini veren öğretim elemanının toplam tercih önceliği iki değer toplanarak 0,274 olarak hesaplanır.

Böylece ikinci amaç fonksiyonunda kullanılmak üzere öğretim elemanı gün ve saat tercihleri hesaplanmış olur. Uygulanan anket örneği EK 2'de sunulmuştur. Öğrenci Bilgi Sistemi'nden (OBS) alınan bir önceki bahar yarıyılına ait ders öğrenci listelerinden, ardışık sınıfların derslerine göre ikili çakışma sayıları bulunmuş ve EK 3'te verilmiştir.

8.2. Ders Çizelgeleme Probleminin Çözümünde Yasaklı Arama Algoritması

Çalışmanın çözüm aşamasında Endüstri Mühendisliği Bölümü'nden alınan veriler kullanılarak ders çizelgeleme probleminin çözümü için YA Algoritması uygulanmıştır.

8.2.1. Çözümün uygulanma adımları

Tanımlanan problem için bir başlangıç çözüm oluşturulmuş, sonrasında amaç fonksiyonları Konik Skalerleştirme ile tek bir amaç fonksiyonuna dönüştürülmüş, YA ile en iyi çözüm elde edilmeye çalışılmıştır. Problemlerle bağlantılı olarak çözüm aşamalarının çalışma prensibi adım adım aşağıda belirtilmiştir.

8.2.2. TDZÇM kısıtları göz önüne alınarak ders zaman çizelgesinin rassal gösterim şeklinin belirlenmesi (başlangıç çözümünün oluşturulması)

Ders listesi her bir ders numaralandırılarak oluşturulur. İki oturum şeklinde işlenen dersler iki ayrı grup olarak ele alındığı için farklı numara verilmiş ve listelenmiştir. Matematik II dersinin ilk üç saatlik oturumu 1 numaralı sırada yer alırken, iki saatlik oturumu 3 numaralı sırada

yer almaktadır. Çizelge 8.5, derslere birinci sınıf derslerinden başlanarak sırasıyla numara atanmasıyla oluşturulmuştur.

Çizelge 8.5. Derslerin oturumlarının numaralandırılması.

Ders Adı	Ders Saati	Ders Oturum No	Ders Adı	Ders Saati	Ders Oturum No
Matematik II	3	1	Sos. Seç. Ders II	3	15
Fizik II	3	2	Sayısal Analiz	3	16
Matematik II	2	3	A.İ. I.T II	2	17
Teknik Resim	4	4	Üretim Yönetimi	3	18
Fizik II	2	5	Kalite Kontrol	4	19
Genel Ekonomi	3	6	Yöneylem Araştırması II	3	20
Türk Dili II	2	7	Mühendislik Ekonomisi	3	21
Bilgisayar Programlama Şube 1	3	8	Tek. Seç. Ders II	3	22
Bilgisayar Programlama Şube 2	3	9	Yöneylem Araştırması II	2	23
İngilizce II	4	10	Sistem Benzetimi	3	24
İstatistik I	2	11	Tek. Seç. Ders IV	3	25
Üretim Yöntemleri	4	12	Yönetim ve Organizasyon	3	26
Termodinamik	3	13	Tek. Seç. Ders VI	3	27
İstatistik I	2	14	Ergonomi	4	28

Çizelge 8.6’da derslere, saatleri adedince numaralar verilmiştir. Örneğin, ‘Teknik Resim’ dersi haftada 4 saat verilmekte olduğu için 4 kez alt alta yazılmıştır. Ders programında ders aralarında boşlukların bulunması için 37 adet birer ders saatlik boşluklar oluşturulmuştur. Eğer bu boş saatler tanımlanmazsa program, dersleri aralıksız atayacak ve derslerin haftanın ilk günlerine peş peşe yığılması söz konusu olacaktır. Bu durum haftanın ilk günlerine tüm derslerin atanıp son günlerin boş kalmasına ve sağlıklı bir çizelgenin elde edilememesine sebebiyet verecektir. Sabah saat 08:00’den 17:00’a kadar ders blokları arasında boş saat olmadan tam gün ders atanması hem öğretim elemanı hem de öğrenciler açısından verimli olmayacaktır. Boşluklar ders aralarına her bir sınıfa sırayla olmak üzere birer saat olarak atanmış ve bu şekilde programa yerleşmeleri sağlanmıştır. Mühendislik Yönetimi ve Mühendislik Projesi dersleri cumartesi günü işlendiği ve problemde beş günlük ders çizelgelemesi yapıldığı için programda bu derslere yer verilmemiştir.

Çizelge 8.6. Derslerin ders saatleri adedince sıralanması.

Dersler	Ders No	Dersler	Ders No	Dersler	Ders No	Dersler	Ders No	Dersler	Ders No	Dersler	Ders No
Matematik II	1	Bilg. Prog. Şube1	8	Sos.Seç.Ders II	15	Müh. Eko.	21	Ergonomi	28	Boşluk	47
Matematik II	1	Bilg. Prog. Şube1	8	Sos.Seç.Ders II	15	Tek. Seç. Ders II	22	Ergonomi	28	Boşluk	48
Matematik II	1	Bilg. Prog. Şube2	9	Sos.Seç.Ders II	15	Tek. Seç. Ders II	22	Boşluk	29	Boşluk	49
Fizik II	2	Bilg. Prog. Şube2	9	Sayısal Analiz	16	Tek. Seç. Ders II	22	Boşluk	30	Boşluk	50
Fizik II	2	Bilg. Prog. Şube2	9	Sayısal Analiz	16	Yöneylem Araş. II	23	Boşluk	31	Boşluk	51
Fizik II	2	İngilizce II	10	Sayısal Analiz	16	Yöneylem Araş. II	23	Boşluk	32	Boşluk	52
Matematik II	3	İngilizce II	10	AIİT II	17	Sistem Benzetimi	24	Boşluk	33	Boşluk	53
Matematik II	3	İngilizce II	10	AIİT II	17	Sistem Benzetimi	24	Boşluk	34	Boşluk	54
Teknik Resim	4	İngilizce II	10	Üretim Yönetimi	18	Sistem Benzetimi	24	Boşluk	35	Boşluk	55
Teknik Resim	4	İstatistik II	11	Üretim Yönetimi	18	Tek. Seç. Ders IV	25	Boşluk	36	Boşluk	56
Teknik Resim	4	İstatistik II	11	Üretim Yönetimi	18	Tek. Seç. Ders IV	25	Boşluk	37	Boşluk	57
Teknik Resim	4	Üretim Yöntemleri	12	Kalite Kontrol	19	Tek. Seç. Ders IV	25	Boşluk	38	Boşluk	58
Fizik II	5	Üretim Yöntemleri	12	Kalite Kontrol	19	Yönetim ve Organizasyon	26	Boşluk	39	Boşluk	59
Fizik II	5	Üretim Yöntemleri	12	Kalite Kontrol	19	Yönetim ve Organizasyon	26	Boşluk	40	Boşluk	60
Genel Ekonomi	6	Üretim Yöntemleri	12	Kalite Kontrol	19	Yönetim ve Organizasyon	26	Boşluk	41	Boşluk	61
Genel Ekonomi	6	Termodinamik	13	Yöneylem Araş. II	20	Tek. Seç. Ders VI	27	Boşluk	42	Boşluk	62
Genel Ekonomi	6	Termodinamik	13	Yöneylem Araş. II	20	Tek. Seç. Ders VI	27	Boşluk	43	Boşluk	63
Türk Dili II	7	Termodinamik	13	Yöneylem Araş. II	20	Tek. Seç. Ders VI	27	Boşluk	44	Boşluk	64
Türk Dili II	7	İstatistik II	14	Müh. Eko.	21	Ergonomi	28	Boşluk	45	Boşluk	65
Bilg. Prog. Şube1	8	İstatistik II	14	Müh. Eko.	21	Ergonomi	28	Boşluk	46		

Ders sayısı kadar rassal sayı üretilir ve ders listesindeki ilk ders, en küçük rassal sayının olduğu sıraya atanır. Bu işlem listedeki tüm dersler için tekrarlanarak rassal bir ders sırası oluşturulur. Çizelge 8.7' de dersler ve üretilen rassal sayılar gösterilmiştir.

Çizelge 8.7. Derslere rassal sayı atanması.

Ders Adı	Ders No	Rassal Sayı	Ders Adı	Ders No	Rassal Sayı	Ders Adı	Ders No	Rassal Sayı	Ders Adı	Ders No	Rassal Sayı	Ders Adı	Ders No	Rassal Sayı
Matematik II (3)	1	0,002	İstatistik I (2)	14	0,463	Teknik Seç. Ders VI	27	0,919	Boşluk	40	0,440	Boşluk	53	0,847
Fizik II (3)	2	0,070	Sos. Seç. Ders II	15	0,346	Ergonomi	28	0,788	Boşluk	41	0,441	Boşluk	54	0,858
Matematik II (2)	3	0,162	Sayısal Analiz	16	0,694	Boşluk	29	0,137	Boşluk	42	0,461	Boşluk	55	0,863
Teknik Resim	4	0,284	A.İ.T II	17	0,004	Boşluk	30	0,195	Boşluk	43	0,486	Boşluk	56	0,879
Fizik II (2)	5	0,184	Üretim Yönetimi	18	0,105	Boşluk	31	0,197	Boşluk	44	0,521	Boşluk	57	0,882
Genel Ekonomi	6	0,118	Kalite Kontrol	19	0,047	Boşluk	32	0,232	Boşluk	45	0,615	Boşluk	58	0,887
Türk Dili II	7	0,427	Yöneylem Araştırması II (3)	20	0,389	Boşluk	33	0,287	Boşluk	46	0,641	Boşluk	59	0,915
Bilg. Prog. Şube 1	8	0,274	Mühendislik Ekonomisi	21	0,878	Boşluk	34	0,306	Boşluk	47	0,645	Boşluk	60	0,919
Bilg. Prog. Şube 2	9	0,436	Tek. Seç. Ders II	22	0,500	Boşluk	35	0,314	Boşluk	48	0,670	Boşluk	61	0,936
İngilizce II	10	0,532	Yöneylem Araştırması II (2)	23	0,518	Boşluk	36	0,326	Boşluk	49	0,677	Boşluk	62	0,943
İstatistik I (2)	11	0,329	Sistem Benzetimi	24	0,575	Boşluk	37	0,327	Boşluk	50	0,737	Boşluk	63	0,950
Üretim Yöntemleri	12	0,104	Tek. Seç. Ders IV	25	0,633	Boşluk	38	0,369	Boşluk	51	0,748	Boşluk	64	0,956
Termodinamik	13	0,464	Yönetim ve Organizasyon	26	0,053	Boşluk	39	0,411	Boşluk	52	0,768	Boşluk	65	0,989

Atanan rassal sayıların küçükten büyüğe sıralanmasıyla derslerin rassal sayılara göre yeni dizilimi Çizelge 8.8'deki şekilde elde edilir.

Çizelge 8.8. Derslerin rassal sayılara göre küçükten büyüğe sıralanması.

Ders No	Rassal Sayı	Ders No	Rassal Sayı	Ders No	Rassal Sayı	Ders No	Rassal Sayı	Ders No	Rassal Sayı
1	0,002	32	0,232	7	0,427	45	0,615	55	0,863
17	0,004	8	0,274	9	0,436	25	0,633	21	0,878
19	0,047	4	0,284	40	0,440	46	0,641	56	0,879
26	0,053	33	0,287	41	0,441	47	0,645	57	0,882
2	0,070	34	0,306	42	0,461	48	0,670	58	0,887
12	0,104	35	0,314	14	0,463	49	0,677	59	0,915
18	0,105	36	0,326	13	0,464	16	0,694	60	0,919
6	0,118	37	0,327	43	0,486	50	0,737	27	0,919
29	0,137	11	0,329	22	0,500	51	0,748	61	0,936
3	0,162	15	0,346	23	0,518	52	0,768	62	0,943
5	0,184	38	0,369	44	0,521	28	0,788	63	0,950
30	0,195	20	0,389	10	0,532	53	0,847	64	0,956
31	0,197	39	0,411	24	0,575	54	0,858	65	0,989

Rassal sayılara göre sıralanan dersler sınıflara sırayla sayıları adedince yerleştirilmiştir (Çizelge 8.9). “Matematik II” dersi bir no’lu ders olduğu için pazartesi günü, 08:00, 09:00 ve 10:00 ‘uncu saatlere yerleştirilmiştir. İkinci sırada bulunan “Atatürk İlke ve İnkılâpları Tarihi II” dersi ikinci sınıf dersi olduğu için pazartesi günü 08:00 ve 09:00’uncu saatlere atanmıştır. Sırasıyla ders atamaları gerçekleştirilmiş ve 29 no’lu “boşluk” saatine gelindiğinde her sınıfa birer saat olmak üzere boş ders atanmıştır. Ayrıca ders saati 3’ten fazla olan ve iki ayrı oturumda işlenen dersler programa atanırken ders saat sayısı fazla olan dersin önce atanması kabul edilerek yerleştirme sağlanmıştır. Örneğin “Matematik II” dersi 5 saat olup 3+2 oturum şeklinde bölündüğü için bu dersin 3 saatlik oturumu programda önce atanmaktadır. Bu şekilde ders programı çizelgesi oluşturulmuştur (Çizelge 8.9).

Çizelge 8.9. Rassal ders programı oluşturulması.

DERSLER	DERS NO	GÜN	SAAT	ENDÜSTRİ I	ENDÜSTRİ II	ENDÜSTRİ III	ENDÜSTRİ IV
Matematik II	1	PAZARTESİ	08:00	Matematik II 1	A.İ.I.T II 17	Kalite Kontrol 19	Yönetim ve Organizasyon 26
A.İ.I.T II	17		09:00	Matematik II 1	A.İ.I.T II 17	Kalite Kontrol 19	Yönetim ve Organizasyon 26
Kalite Kontrol	19		10:00	Matematik II 1	Üretim Yöntemleri 12	Kalite Kontrol 19	Yönetim ve Organizasyon 26
Yönetim ve Organizasyon	26		11:00	Fizik II 2	Üretim Yöntemleri 12	Kalite Kontrol 19	29
Fizik II	2		12:00	Fizik II 2	Üretim Yöntemleri 12	Üretim Yönetimi 18	30
Üretim Yöntemleri	12		13:00	Fizik II 2	Üretim Yöntemleri 12	Üretim Yönetimi 18	31
Üretim Yönetimi	18		14:00	Genel Ekonomi 6	29	Üretim Yönetimi 18	32
Genel Ekonomi	6		15:00	Genel Ekonomi 6	30	29	33
Boşluk	29		16:00	Genel Ekonomi 6	31	30	34
Matematik II	3		17:00	29	32	31	35

Rastgele sıralanmış ders numaraları ve boşlukların, rassal olarak 1., 2., 3. ve 4. sınıflara yerleştirilmesiyle Çizelge 8.10'daki ders programı elde edilmiştir.

Çizelge 8.10. Rassal olarak oluşturulan ders programı.

GÜN	SAAT	ENDÜSTRİ I	ENDÜSTRİ II	ENDÜSTRİ III	ENDÜSTRİ IV
PAZARTESİ	08:00	Matematik II	A.İ.L.T II	Kalite Kontrol	Yönetim ve Organizasyon
	09:00	Matematik II	A.İ.L.T II	Kalite Kontrol	Yönetim ve Organizasyon
	10:00	Matematik II	Üretim Yöntemleri	Kalite Kontrol	Yönetim ve Organizasyon
	11:00	Fizik II	Üretim Yöntemleri	Kalite Kontrol	
	12:00	Fizik II	Üretim Yöntemleri	Üretim Yönetimi	
	13:00	Fizik II	Üretim Yöntemleri	Üretim Yönetimi	
	14:00	Genel Ekonomi		Üretim Yönetimi	
	15:00	Genel Ekonomi			
	16:00	Genel Ekonomi			
SALI	08:00	Matematik II			
	09:00	Matematik II			
	10:00	Fizik II			
	11:00	Fizik II			
	12:00				
	13:00		İstatistik I		
	14:00		İstatistik I		
	15:00	Bilgisayar Programlama	Sos. Seç. Ders II	Yöneylem Araştırması II	
	16:00	Bilgisayar Programlama	Sos. Seç. Ders II	Yöneylem Araştırması II	
17:00	Bilgisayar Programlama	Sos. Seç. Ders II	Yöneylem Araştırması II		
ÇARŞAMBA	08:00	Teknik Resim			Teknik Seç. Ders IV
	09:00	Teknik Resim			Teknik Seç. Ders IV
	10:00	Teknik Resim			Teknik Seç. Ders IV
	11:00	Teknik Resim			
	12:00				
	13:00		İstatistik I	Teknik Seç. Ders II	
	14:00		İstatistik I	Teknik Seç. Ders II	
	15:00		Termodinamik	Teknik Seç. Ders II	
	16:00		Termodinamik	Yöneylem Araştırması II	
17:00		Termodinamik	Yöneylem Araştırması II		
PERŞEMBE	08:00	Türk Dili II			Ergonomi
	09:00	Türk Dili II		Sistem Benzetimi	Ergonomi
	10:00	Bilgisayar Programlama		Sistem Benzetimi	Ergonomi
	11:00	Bilgisayar Programlama		Sistem Benzetimi	Ergonomi
	12:00	Bilgisayar Programlama			
	13:00				
	14:00				
	15:00		Sayısal Analiz		
	16:00		Sayısal Analiz		
17:00		Sayısal Analiz			
CUMA	08:00	İngilizce II			
	09:00	İngilizce II			
	10:00	İngilizce II			Teknik Seç. Ders VI
	11:00	İngilizce II			Teknik Seç. Ders VI
	12:00				Teknik Seç. Ders VI
	13:00			Mühendislik Ekonomisi	
	14:00			Mühendislik Ekonomisi	
	15:00			Mühendislik Ekonomisi	
	16:00				
17:00					

8.2.3. Konik Skalerizasyon Yöntemi ile Amaç Fonksiyonlarının birleştirilmesi ve hesaplanması

İlk olarak ardışık sınıfların derslerine kaydolun ve bir önceki bahar dönemi dersleri olan öğrencilerin listeleri karşılaştırılarak çakışma matrisi oluşturulur (EK 3). AHP yöntemi ile öğretim üyelerinin tercihleri hesaplanır. Ders programında ikinci sınıftan başlanarak birinci sınıf ve üçüncü sınıf dersleri ile çakışma kontrolü yapılır. Ardışık sınıfların çakışan dersleri tespit edilerek ilk olarak bulunduğu sütunda bir önceki ve bir sonraki sınıftaki derslerle çakışmayacak ve öğretim elemanı tercihlerini en iyi karşılayacak şekilde bir pozisyon bulunmaya çalışılır. Eğer bulunamazsa, ikinci olarak bir önceki ve bir sonraki sınıftaki en az bir ders ile çakışmayacak ve öğretim elemanı tercihlerini en iyi karşılayacak uygun yer pozisyonuna bakılır. Bu aşamada da uygun yer bulunamazsa ders, olabilecek en iyi yere yerleştirilerek çakışma kontrolü ile birlikte öğretim elemanlarının tercihleri de göz önünde bulundurularak atama gerçekleştirilir. Her dersin pozisyon değişiminden sonra amaç fonksiyonu tekrar hesaplanmakta ve yeni değer tutulmaktadır. Yeniden derslerin kendi komşuluğundaki çakışan ders durumunun kontrolü yapıp dersler en uygun yerlere atanarak tekrar amaç fonksiyonu hesaplanmakta ve en iyi atamanın gerçekleştirilmesi sağlanmaktadır. Konik Skalerizasyon yoluyla iki amaç fonksiyonu birleştirilerek tek bir amaç fonksiyonu elde edilmiştir. Formüldeki w_1 ve w_2 ağırlıkları AHP yoluyla belirlenerek 0,5 alınmıştır. Eşitlik (21) kullanılarak amaç fonksiyonu skalerleştirilmiştir.

(8) - (20) k.a.

$$\text{Enk } KS(x) = \alpha \sum_{k=1}^2 |f_k(x) - R_1| + \sum_{k=1}^2 w_k (f_k(x) - R_2) \quad (21)$$

$(\alpha, w) \in \{0 \leq \alpha < w_k, k=1,2\}$ şartı sağlanmalıdır. Parametre değerleri $\alpha=0,49$, $R_1= 100$, $R_2= - 35$ ve $w_1 = w_2 = 0,5$ alınmıştır. Bu durumda Konik Skalerleştirme Amaç fonksiyonu,

$$KS(x) = 0,49*(|f_1(x)-100|+|(-f_2(x)+35)|)+0,5*(f_1(x)-100)+0,5*(-f_2(x)+35)$$

şeklinde elde edilir.

Ders atama işlemi gerçekleştirilirken birden fazla dersi olan öğretim elemanlarının farklı sınıflarda aynı saatteki ders çakışmaları önlenmektedir.

8.2.4. Yasaklı arama algoritması'nı ile eniyileme

Ders Zaman Çizelgeleme problemi, NP-zor bir problemdir (Lai vd., 2006: Özyandı'dan (2010). Probleme en iyi çözümün bulunması problemin boyutuna bağlı olarak çok zor olabilir veya makul sürelerde bulunamayabilir. Bu tip durumlarda sezgisel algoritmalar sıklıkla başvurulan metotlardandır. Çalışmada YA Algoritması ile probleme yönelik çözüm iyileştirilmeye çalışılmış, algoritmanın uygulanma adımları detaylı olarak açıklanmıştır.

Problem çözümü için oluşturulan algoritmanın genel işleyişi aşağıdaki gibidir.

Adım 1. Rastgele bir başlangıç çözümü oluşturulur.

Adım 2. Mevcut çözüm hafızaya alınır.

Adım 3. Rastgele bir ders seçilerek bulunduğu kolonda (aynı sınıftan) uygun bir boşluğa taşınır.

Adım 4. Eğer uygun boşluk yoksa ders taşıma işlemi iptal edilir.

Adım 5. Rastgele iki ders aynı kolondan (aynı sınıftan) seçilir.

Adım 6. Derslerin saat sayısı eşitliği kontrolü yapılır.

Adım 7. Eğer ders saatleri eşitse seçilen derslerin her bir ders saatinin yeri birbiriyle değiştirilir.

Adım 8. Ders değişimi mümkün oluyorsa ve amaç fonksiyonu değerini iyileştiriyorsa bu dersler yasak listesine kaydedilir.

Adım 9. Eğer ders saatleri birbirinden farklıysa ve ders saat sayısı fazla olan ders için önde ve arkada boş zaman dilimi bulunmuyorsa ders değişimi gerçekleşmez.

Adım 10. Eğer ardıştırma sayısı, istenen en büyük değeri aşmadıysa Adım 3'e geri dönlür.

Adım 11. Ders programındaki tüm sınıfların tüm dersleri için bütün prosedürler uygulanıp, tüm yerleşme olasılıkları kontrol edildikten sonra ders yerleştirme işlemi gerçekleştirildiğinde ve en büyük ardıştırma sayısına ulaşıldığında durulur.

Hareket seçimi

Algoritma probleme uygulanırken hareket seçim mekanizması oluşturulur. Ders seçimleri ve yasak listesine ders alınması için iki tür hareket kullanılmıştır. Bu hareketlerden ilki ikili harekettir (swap move). Rastgele oluşturulmuş olan bir ders programı üzerinden rastgele bir sınıf seçilir. Seçilen sınıflardan da rastgele iki ders seçilir. Seçilen derslerin ders saat sayısı eşitliği kontrolü yapılır. Eğer ders saatleri eşit değilse değişimi yapılacak derslerin önünde veya arkasında

yerleştirilecek olan dersin saat sayısı göz önünde bulundurularak yeterli boşluk bulunup bulunmadığına bakılır. Hesaplanan değer, başlangıçta oluşturulan rastgele çözümün amaç fonksiyonu değerinden daha iyiye, bu aşamada seçilen iki dersin, değişimden sonraki yerleri sabit tutulur ve bu dersler yasak listesine alınır.

Çizelge 8.11. İkili hareket.

GÜN	SAAT	ENDÜSTRİ I	ENDÜSTRİ II	ENDÜSTRİ III	ENDÜSTRİ IV
PAZARTESİ	8:00	Matematik II	Atatürk İlke ve İnkılapları Tarihi II	Kalite Kontrol	Yönetim ve Organizasyon
	9:00	Matematik II	Atatürk İlke ve İnkılapları Tarihi II	Kalite Kontrol	Yönetim ve Organizasyon
	10:00	Matematik II		Kalite Kontrol	Yönetim ve Organizasyon
	11:00	Fizik II		Kalite Kontrol	
	12:00	Fizik II		Üretim Yönetimi	
	13:00	Fizik II		Üretim Yönetimi	
	14:00	Genel Ekonomi	Üretim Yöntemleri	Üretim Yönetimi	
	15:00	Genel Ekonomi	Üretim Yöntemleri		
	16:00	Genel Ekonomi	Üretim Yöntemleri		
17:00		Üretim Yöntemleri			
SALI	8:00	Matematik II			
	9:00	Matematik II	İstatistik I		
	10:00	Fizik II	İstatistik I		
	11:00	Fizik II			
	12:00				
	13:00				
	14:00				
	15:00	Bilgisayar Programlama	Sos.Seç. Ders II	Yöneylem Arastırması II	
	16:00	Bilgisayar Programlama	Sos.Seç. Ders II	Yöneylem Arastırması II	
17:00	Bilgisayar Programlama	Sos.Seç. Ders II	Yöneylem Arastırması II		

Uygulanan bir diğer hareket ise derslerin herhangi bir boşluğa taşınmasını esas alan basit harekettir (simple move). Rastgele seçilmiş olan dersin tüm saatlerinin, ders saat sayısına eşit boşluklara rastgele atanması şeklinde gerçekleştirilir.

Çizelge 8.12. Basit hareket.

GÜN	SAAT	ENDÜSTRİ I	ENDÜSTRİ II	ENDÜSTRİ III	ENDÜSTRİ IV
PAZARTESİ	8:00	Matematik II	Atatürk İlke ve İnkılapları Tarihi II	Kalite Kontrol	Yönetim ve Organizasyon
	9:00	Matematik II	Atatürk İlke ve İnkılapları Tarihi II	Kalite Kontrol	Yönetim ve Organizasyon
	10:00	Matematik II		Kalite Kontrol	Yönetim ve Organizasyon
	11:00	Fizik II		Kalite Kontrol	
	12:00	Fizik II		Üretim Yönetimi	
	13:00	Fizik II		Üretim Yönetimi	
	14:00	Genel Ekonomi	Üretim Yöntemleri	Üretim Yönetimi	
	15:00	Genel Ekonomi	Üretim Yöntemleri		
	16:00	Genel Ekonomi	Üretim Yöntemleri		
SALI	8:00	Matematik II			
	9:00	Matematik II	İstatistik I		
	10:00	Fizik II	İstatistik I		
	11:00	Fizik II			
	12:00				
	13:00				
	14:00				
	15:00	Bilgisayar Programlama	Sos.Seç. Ders II	Yöneylem Arastirmasi II	
	16:00	Bilgisayar Programlama	Sos.Seç. Ders II	Yöneylem Arastirmasi II	
17:00	Bilgisayar Programlama	Sos.Seç. Ders II	Yöneylem Arastirmasi II		

Başlangıç ders programı seçimi

Deneyler üç ayrı başlangıç program seçimi ile gerçekleştirilmiştir.

Rastgele başlangıç uygun çözümünün oluşturulması:

- Bütün deney grupları için ilk olarak rassal olarak seçilmiş bir program ile denemeler yapılmıştır.
- İkinci aşamada bütün deneyler için rassal arama ile iyileştirilmiş bir ders program üzerinden deneyler gerçekleştirilmiştir.
- Son aşamada ise her deney için rassal olarak oluşturulan programlar ile deneyler gerçekleştirilmiş ve sonuçlar kaydedilmiştir.

Aday liste stratejisi

Belli bir çözüm belirlemek için bütün komşuluk yapılarının incelenmesi çok fazla zaman alacaktır. Bu nedenle rastgele sınıf seçimi ve rastgele ders seçimi yapılarak en iyi olanı seçilmeye çalışılmıştır. Ders sayısı kadar çözüm içeren bir aday listesi ele alınmıştır.

Hareket oranı seçimi

Hareket atamaları ikili hareket (derslerin yer değiştirmesi) ve basit harekete (boşluğa taşıma hareketi) 0-1 arasında değerler verilerek gerçekleştirilir. Örneğin, hareketlerden ikili

değişim hareketi 0,1 değerini alırken, dersin rastgele bir boşluğa taşınmasını sağlayan basit hareket 0,9 değerini alarak döngü tamamlanır. İkili değişim oranı β (beta) olarak ifade edilirse $1-\beta$ basit hareket oranını verir. $\beta = 0,1; 0,2; 0,5; 0,8$ ve $0,9$ şeklinde ele alınmıştır. Bu aşamadan sonra derslerin tutulacağı bir yasak listesi oluşturulur.

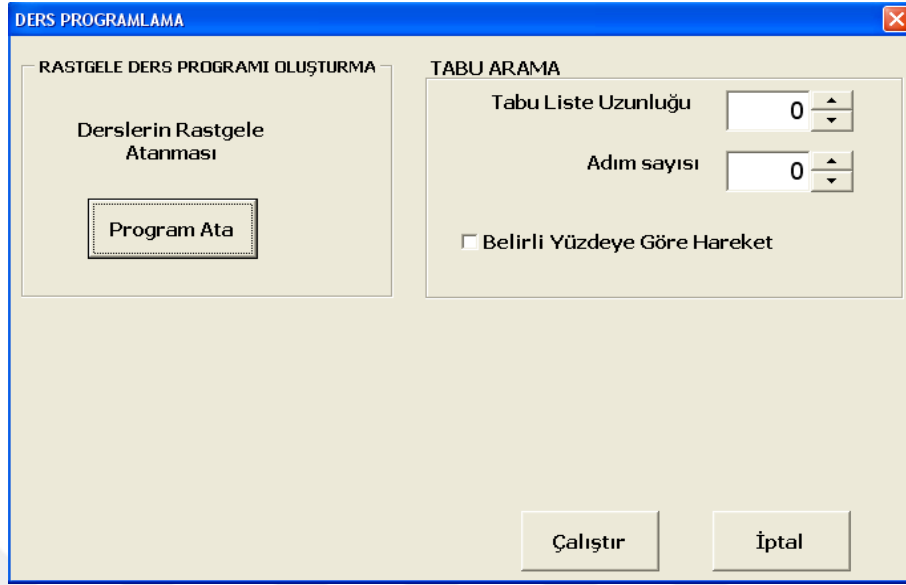
Yasak listesi uzunluğu seçimi

Yasak listesine dersler, belirlenmiş olan tabu uzunlukları girilerek oluşturulur. Çalışmada 4, 6, 8 ve 12 uzunlukta yasak listeleriyle deneyler yapılmıştır. Tabu uzunluğu arttıkça programda yasak listesinde tutulan ders sayısının da artması sebebiyle, ders değişimi gerçekleşmemekte, program kısır döngüye girmekte veya üç saat gibi uzun sürelerde sonlanabilmektedir. Bu nedenle yasak listesi on ikiden fazla bir uzunlukta seçilememiştir. Ardışırma sayısı adedince program çalıştırılmış ve daha sonra bu dersler tabu uzunluğu tamamlandığında ilk giren ilk çıkar (FIFO-first in first out) yaklaşımıyla liste belirtilen tabu uzunluğuna erişince listeden çıkartılarak programda aktif yer değiştiren dersler arasına girmiştir.

Yasaklı dersler

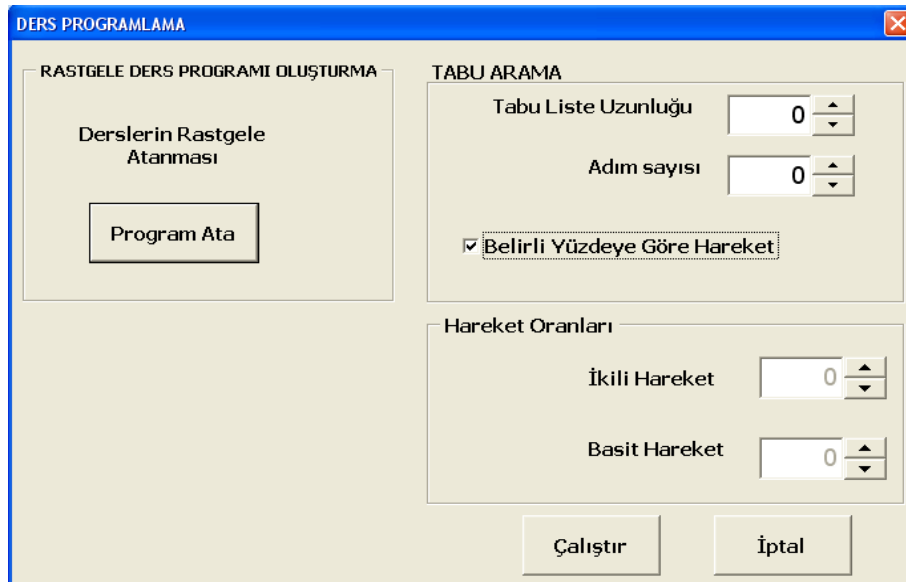
Çözüm başlangıcında yasak listesine alınmış bazı dersler mevcuttur. Programda yeri değişmeyecek dersler bu yasak listesinde bulunmakta, hafızada tutulan bu dersler çakışma olsa bile değişikliğe tabi tutulmamaktadır. Çünkü bu dersler gün ve saat bakımından öğretim görevlilerinin tercihleri doğrultusunda oluşturulan sıkı kısıtlar altındadır. Bu dersler “Genel Ekonomi”, “Sayısal Analiz”, Yönetim ve Organizasyon” dersleridir. Bu derslerin yeri değiştirilmemek koşuluyla çakışan derslerin ataması yapılmaktadır. Derslerin bulunduğu alanlar renklendirilerek kullanıcıya gösterilmektedir.

Programın tanımlanan algoritmaya göre oluşturulan yazılımına ait arayüz ekran görüntüleri Şekil 8.2 ve Şekil 8.3’de gösterilmektedir. YA Algoritması kullanılmaksızın çalıştırılan program için “Program Ata” prosedürü uygulanmaktadır.



Şekil 8.2. Ders programlama arayüz ekranı.

YA için “Tabu Arama” penceresi altındaki “Tabu Liste Uzunluğu” ve “Adım Sayısı” sayaçları kullanılmaktadır. Eğer hareket oranları girilerek deneyler gerçekleştirilecekse, “Belirli Yüzdeye Göre Hareket” kutucuğu işaretlenerek Şekil 8.3’teki “Hareket Oranları” sekmesi altındaki ikili ve basit hareket yüzdeleri girilir ve program çalıştırılır.



Şekil 8.3. Ders programlama hareket oranları atama arayüz ekranı.

9. KONİK AMAÇ FONKSİYONUNU ENİYİLEMEK İÇİN DENEY TASARIMI

Deney tasarımı, istatistiksel analiz için bağımlı değişkendeki değişikliğin sebebi olarak ele alınan bağımsız değişkenin etkilerinin belirlenmesi için kullanılan bir yaklaşımdır. Bu yaklaşımda amaç, sonuç değişkeni üzerinde en etkili değişkenleri belirlemek, ulaşılmak istenen değere en yakın değişkenlerin seviyelerini belirlemek ve kontrolü mümkün olmayan değişkenlerin çıktı üzerindeki etkisinin en aza indirgeneceği değişkenlerin kombinasyonunu oluşturmayı sağlamaktır (Montgomery, 1991).

Deney sonuçlarının analiz edilmesi ve değerlendirilmesi için uygun deney tasarımı araştırılmıştır.

Deney tasarımının adımları şu şekildedir;

Adım 1. Problemin tanımlanması

Adım 2. Problemdeki bağımlı ve bağımsız değişkenlerin belirlenmesi

Adım 3. Faktörlerin belirlenmesi

Adım 4. Faktör seviyelerinin oluşturulması

Adım 5. İstatistikî analizin seçilmesi ve uygulanması

Adım 6. Sonuçların analizi (Montgomery, 1991).

Deney sonuçlarından elde edilen veriler ile gerçekleştirilen testlerde faktörlerin her birinin etkileşimlerinin değerlendirilmesi için Minitab 17. 0 uygulamasının deney tasarımı araçlarından tam faktöriyel ile çalışılmıştır. Tam faktöriyel tasarımda, en az iki veya daha fazla faktör ve bu faktörlere ait en az iki veya daha fazla düzeyin olduğu seviyelerin birbirleri ile çarpımları yoluyla oluşturulan bir kombinasyon elde edilmektedir.

Uygulamada Tabu Uzunluğu için dört seviyeli (4, 6, 8, 12), Ardıştırmaya Sayısı için sekiz seviyeli (10, 20, 100, 200, 400, 600, 800, 1000), Deney Oluşturma Yüzdeleri (Beta) için beş seviyeli (0,1-0,9; 0,9-0,1; 0,2-0,8; 0,8-0,2; 0,5-0,5), Başlangıç Çözümü Alternatifleri için üç seviyeli (normal program, iyi program, rastgele program) olmak üzere toplam 4 faktörlü 20 düzeyli bir deney tasarlanmıştır. Faktörler ve faktör düzeylerinin çizelge olarak gösterimi Çizelge 9.1'de bulunmaktadır.

Çizelge 9.1. Deney faktörleri ve düzeyleri.

Faktörler				
Faktör Düzeyleri	Tabu Uzunluğu	Ardıştırma Sayısı	Deney Oluşturma Yüzdeleri	Başlangıç Çözümü Alternatifleri
	4	10	0,1-0,9	Normal Program
	6	20	0,2-0,8	İyileştirilmiş Program
	8	100	0,5-0,5	Rastgele Program
	12	200	0,8-0,2	
		400	0,9-0,1	
		600		
		800		
		1000		

Deney tasarımında verilen faktörlerden hariç tabusuz ve tabu yüzdesiz olmak üzere iki deney uygulama prosedürü belirlenmiştir. Tabusuz deney prosedüründe her başlangıç çözümü için program 15'er kez çalıştırılarak sonuçlar kaydedilmiştir. Tabu yüzdesiz prosedüründe her başlangıç çözüm alternatifi için program deney oluşturma yüzdeleri girilmeksizin ardıştırma sayısı kadar çalıştırılmıştır.

Çalışmadaki 4 faktör 20 düzeyli deney tasarımı; $3^1 \cdot 4^1 \cdot 5^1 \cdot 8^1$ dizilimindedir. Amaç fonksiyonu bağımlı değişken olup; tabu uzunluğu, ardıştırma sayısı, program oluşturma yüzdeleri, başlangıç çözümü alternatifleri bağımsız değişken olarak ele alınmıştır. Yapılan deneyler yaklaşık iki ay sürmüş “tabu yüzdesiz” ve “tabusuz” prosedüründeki deneylerle birlikte toplam 621 adet test yapılmıştır. Yasak listesi uzunluğu ve ardıştırma sayılarının artması deneylerin uzun sürede tamamlanmasına sebep olmuştur. Ancak ardıştırma sayısı arttığında deney süresi artarken, iyi sonuçlar da elde edilebildiği saptanmıştır. Deney çalışması sonucunda elde edilen değerler Varyans Analizi (ANOVA) yoluyla değerlendirilmiştir.

9.1. Varyans Analizi

Normal dağılıma sahip ikiden çok anakütle ortalamalarının karşılaştırılmasında Varyans Analizi kullanılmaktadır. Varyans Analizi ile bağımsız değişkenlerin bağımlı değişken üzerindeki etkileri araştırılır. Bağımlı ve bağımsız değişkenlerin sayıları Varyans Analizi'nin türünü belirlemektedir. Bağımlı değişken sayısının tek olduğu Varyans Analizi'nde "Tek Yönlü ANOVA" kullanılır. Tek Yönlü ANOVA'da her bir grubun normal dağılımdan geldiği ve göreceli olarak grupların varyanslarının homojen olduğu varsayılmaktadır (Kesici ve Kocabaş, 1998).

İstatistiksel analiz için bir hipotez testi ortaya konulmuştur. Hipotez testleri bir karşılaştırma ve seçim işlemi olduğu için birden fazla hipoteze ihtiyaç duyulur. Bu hipotezlere ise alternatif hipotez denir. Bu durumda başlangıç H_0 hipotezi ve alternatif H_1 hipotezi tanımlanmıştır.

Tek Yönlü Varyans Analizi için hipotezler;

n : Anakütle sayısı,

μ_i : i .yöntemin test ortalaması olmak üzere $i=1, 2, 3, \dots, n$.

$H_0: \mu_1 = \mu_2 = \mu_3 = \dots = \mu_n; \mu_i = \mu_j \quad \forall i, j, \quad i \neq j, \quad i, j=1, 2, 3, \dots, n.$

(Anakütle ortalamaları birbirine eşittir).

$H_1: \mu_i \neq \mu_j, \quad \exists i, j, \quad i \neq j.$

(En az iki tane anakütle ortalamaları birbirine eşit değildir).

Testlerde hata olasılığı için belirli bir değer öngörülür. Bu değer alfa (α) ile ifade edilir ve genellikle 0,05 veya 0,01 gibi küçük değerler alır. İstatistiksel programlar, bir hipotez testi sonucunda gerçekleşen hata miktarını hesaplar ve bu değere P değeri denir. P değeri önceden belirlenmiş α değeri ile karşılaştırılarak hipotezin kabulüne veya reddine karar verilir. $P \leq \alpha$ ise H_0 reddedilir. H_0 'ı reddetmekle gerçekleşen yanlış öngörülenden küçüktür. $P > \alpha$ ise H_0 kabul edilir. Gerçekleşen yanlış öngörülenden küçük olmadığı için H_0 reddedilemez (Scheffe, 1959). Çalışmada anlamlılık düzeyi $\alpha=0,05$ olarak alınmıştır.

Deneylerden elde edilen sonuçlar Varyans Analizi'ne tabi tutulmuş, değişkenlerin ikili karşılaştırılma analizleri gerçekleştirilmiştir. Varyans Analizi ile hangi değişken üzerinde hangi faktörün ne derecede önemli olduğu istatistiksel olarak ortaya konulmaktadır. Beş faktör ile amaç fonksiyonunun değişim değerleri gözlenmiştir. Bu analiz sonucunda iki faktörün anlamlı farklılık ortaya koyduğu gözlemlenmiştir. Bu faktörler "Ardışırma Sayısı" ve "Başlangıç Çözümü

Alternatifleri” değişkenleri olarak belirlenmiştir. Bağımlı değişken ile bağımsız değişkenlerin Varyans Analizi sonuçları açıklamalarıyla gösterilmiştir.

One-way ANOVA: AmacFonksiyonu versus TabuUzunlugu						
Source	DF	SS	MS	F	P	
TabuUzunlugu	4	117979	29495	1,76	0,136	
Error	616	10345332				
16794						
Total	620	10463311				
S = 129,6 R-Sq = 1,13% R-Sq(adj) = 0,49%						

Şekil 9.1. Amaç Fonksiyonu ile Tabu Uzunluğu Varyans Analizi.

Amaç fonksiyonu ile tabu uzunlukları test edildiğinde, düzey sayısı $n=4$ olmak üzere, $\alpha=0,05$ anlamlılık düzeyinde, $P=0,136 > 0,05$ olduğu için analiz sonucu anlamlı farklılık göstermemiştir. Yasak listesi uzunluğunun, amaç fonksiyonu üzerinde anlamlı etkisi bulunmamaktadır. Bu durumda için H_0 hipotezi kabul edilmiştir.

One-way ANOVA: AmacFonksiyonu versus ArdistirmaSayisi						
Source	DF	SS	MS	F	P	
ArdistirmaSayisi	8	1770605	221326	15,58	0,000	
Error	612	8692706	14204			
Total	620	10463311				
S = 119,2 R-Sq = 16,92% R-Sq(adj) = 15,84%						

Şekil 9.2. Amaç Fonksiyonu ile Ardıştırma Sayısı Varyans Analizi.

Amaç fonksiyonu ile Ardıştırma Sayısı testinde $\alpha=0,05$ anlamlılık düzeyinde, $n=8$ düzey sayısında, $P=0,000 < 0,05$ olduğu için test sonuçları anlamlı farklılık göstermiştir. H_0 hipotezi reddedilmiştir.

One-way ANOVA: AmacFonksiyonu versus DeneyOlusturmaYuzdeleri (Beta Değerleri)

Source	DF	SS	MS	F	P
DeneyOlusturmaYuzdeleri	5	137665	27533	1,64	0,147
Error	615	10325646	16790		
Total	620	10463311			

S = 129,6 R-Sq = 1,32% R-Sq(adj)=0,51%

Şekil 9.3. Amaç Fonksiyonu ile Program Oluşturma Yüzdeleri Varyans Analizi.

Amaç fonksiyonu ile Deney Oluşturma Yüzdeleri test edildiğinde, $\alpha=0,05$ anlamlılık düzeyinde, faktör düzey sayısı $n=4$ iken, $P=0,147 > 0,05$ olduğu için değişkenler arasında anlamlı farklılık görülmemiştir. Program oluşturma yüzdelерinin amaç fonksiyonu üzerinde anlamlı etkisi bulunmamaktadır. Sonuç olarak H_0 hipotezi kabul edilmiştir.

One-way ANOVA: AmacFonksiyonu versus BaşlangicCozumu

Source	DF	SS	MS	F	P
BaşlangicCozumu	3	4029770	2014885	193,55	0,000
Error	618	6433541	10410		
Total	620	10463311			

S = 102,0 R-Sq = 38,51% R-Sq(adj) = 38,31%

Şekil 9.4. Amaç Fonksiyonu ile Başlangıç Çözümü Varyans Analizi.

Amaç fonksiyonu ile Başlangıç Çözümü test analizi sonucunda $n=3$ düzey sayısı, $\alpha=0,05$ anlamlılık düzeyinde, $P=0,000 < 0,05$ olduğu için değişken değerleri arasında anlamlı farklılık gözlemlenmiştir. Dolayısıyla H_0 hipotezi reddedilmiştir.

One-way ANOVA: AmacFonksiyonu versus DeneyUygulamaProsedurleri

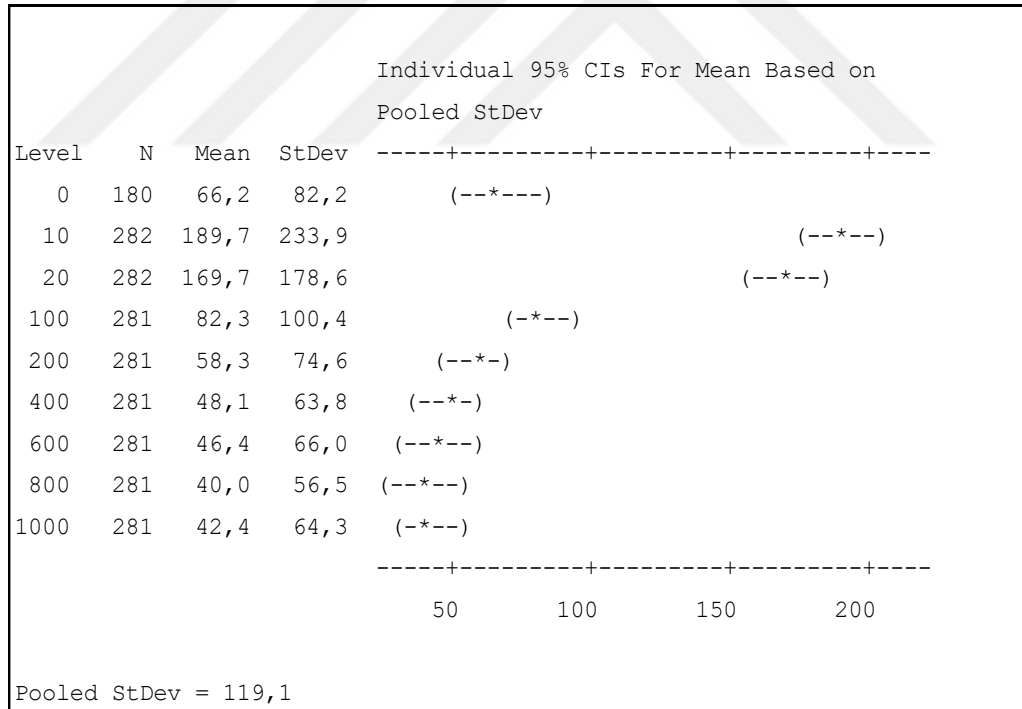
Source	DF	SS	MS	F	P
DeneyUygulamaProsedur	2	61830	30915	1,84	0,160
Error	618	10401481	16831		
Total	620	10463311			

S = 129,7 R-Sq = 0,59% R-Sq(adj)=0,27%

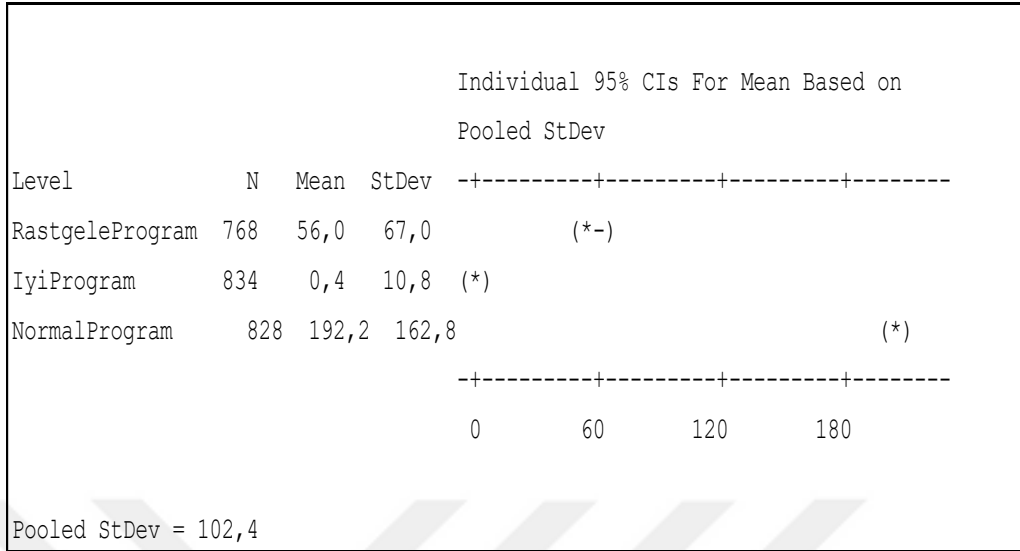
Şekil 9.5. Amaç Fonksiyonu ile Deney Uygulama Prosedürleri Varyans Analizi.

Düzyey sayısı $n=2$, Amaç fonksiyonu ile Denev Uygulama Prosedürleri test edildiğinde $\alpha=0,05$ anlamlılık düzeyinde, $P=0,160 > 0,05$ olduğu için test sonuçlarına göre anlamlı farklılık elde edilmemiştir. Denev Uygulama Prosedürleri değişkeninin amaç fonksiyonu üzerinde anlamlı etkisinin bulunmadığı görülmüştür. Bu durumda H_0 hipotezi kabul edilmiştir.

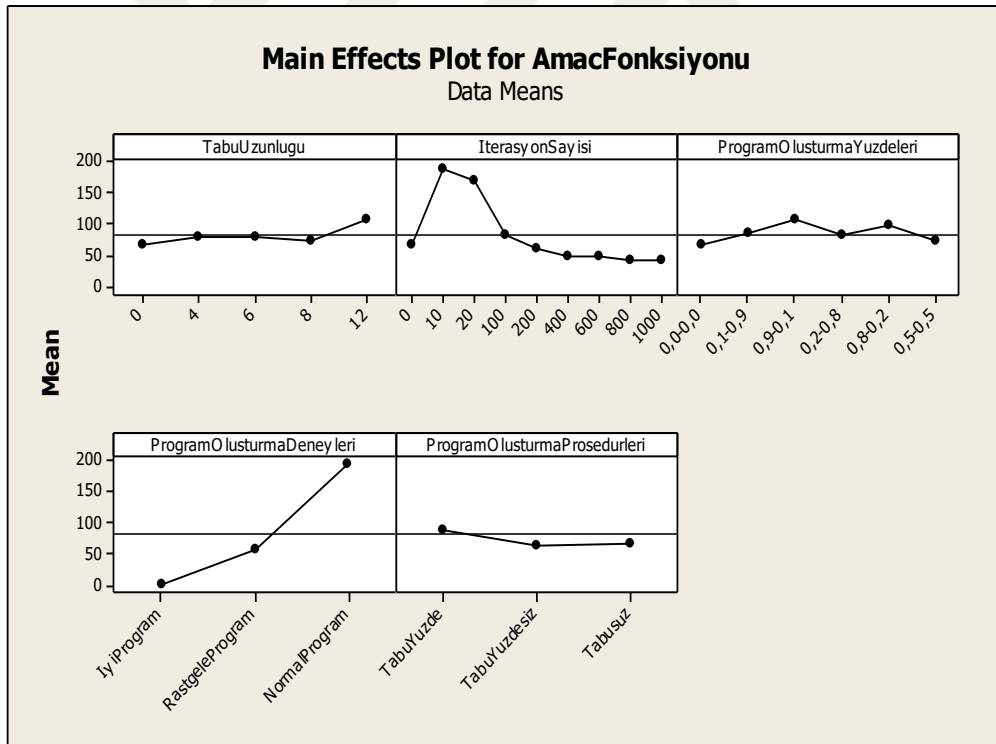
Varyans Analizi'nden elde edilen sonuçlar en az bir grubun diğerinden farklılığını gösterir fakat hangi grubun hangi gruptan farklı olduğunu göstermez. Analiz sonuçlarına göre anlamlı farklılık elde edilen testlerde farkın hangi ortalamalar arasında olduğunu belirlemek mümkündür. Gerçekleştirilen deneyler neticesinde “Ardıştırma Sayısı” değişkeninin anlamlı farklılık gösterdiği görülmüştür. Ardıştırma Sayısı grafiğinde (Şekil 9.8), 800 ardıştırma sayısı değerinin minimum değere sahip olduğu görülmektedir. Anlamlı farklılık gösteren “Başlangıç Çözümü Alternatifleri” değişkeninde ise, “İyi Program” düzeyi, sonrasında “Normal Program” ve en son “Rastgele Program” düzeyi çıktıkları en düşükten en yükseğe sıralanmaktadır (Şekil 9.7). “İyi Program” değişkeni Başlangıç Çözüm Alternatifleri içinde minimum değere sahiptir.



Şekil 9.6. Ardıştırma Sayısı Değişkeni anlamlılık düzeyleri.



Şekil 9.7. Başlangıç Çözümü Alternatifleri anlamlılık düzeyleri.



Şekil 9.8. Değişkenlerin Amaç Fonksiyonu üzerinde etkileri.

Amaç fonksiyonu üzerinde değişken etkilerinin belirlenmesinde Şekil 9.8'deki grafiklerden yararlanılmış, "Ardıştırmaya Sayısı" ve Program Oluşturma Deneyleri" kritik faktörler olarak belirlemiştir. Yapılan deneyler sonucunda en iyi amaç fonksiyonu değeri; 6 tabu uzunluğu,

400 ardıştırma sayısı girilerek, başlangıç çözümü iyi program seçilmek üzere, deney oluşturma yüzdeleri atanmadan (-1,504) olarak elde edilmiştir. Bu deney sonucunda ders çakışması 20, öğretim elemanı tercihi 35,420'tür. Bu test sonucunda elde edilen program EK 4'te bulunmaktadır. Rastgele elde edilen ilk başlangıç çözümünde ders çakışma sayısı 794, öğretim elemanı tercihi 35,715, amaç fonksiyonu değeri ise 686,35 olarak hesaplanmıştır. Bu durumda yapılan deneyler sonucu programda ciddi bir iyileşme elde edildiği görülmüştür.



10. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Ders çizelgeleme problemi, literatürde sıklıkla karşılaşılan, çeşitli yöntemlere başvurularak çözümlenmeye çalışılan zor bir eniyileme problemidir. Literatürde ders çizelgeleme ile ilgili çok sayıda çalışma olsa da problemin doğası gereği ortak kısıt ve amaçların yanında ilgili kurumun kendine has kısıt ve amaçları da bulunmaktadır. Bu nedenle karşılaşılan ders çizelgeleme probleminin iyi analiz edilip modellenmesi gerekmektedir. Çalışmada, problem adım adım ele alınmış, sezgisel bir yaklaşımla çözüm elde edilmeye çalışılmıştır.

Probleme uygun matematiksel model oluşturulmuş, öğretim görevlisi tercihlerini eniyileyen ve öğrenci ders çakışmalarını en küçükleyen ikili amaç fonksiyonu tasarlanmıştır. Öğretim elemanı tercihleri belirlenirken AHP yöntemi kullanılarak bir anket hazırlanmıştır. Anket sonuçları Expert Choice programında analiz edilerek tercih öncelikleri bulunmuştur. Öğrenci ders çakışmaları Öğrenci Bilgi Sistemi'nden çekilerek elde edilmiştir. Amaç fonksiyonları Konik Skalerleştirme ile tek bir amaç fonksiyonuna dönüştürülmüştür.

Problemin çözümünde, sezgisel yaklaşımlardan olan YA Algoritması'na başvurulmuş ve bir yazılım geliştirilmiştir. Farklı tabu uzunlukları, ardıştırma sayıları, başlangıç çözümleri kullanılarak deneyler yapılmış, sonuçlar analiz edilmiştir. İterasyon sayısının artmasıyla deney sürelerinin uzadığı tespit edilmiştir. Test sonuçlarında, derslerin atanması gerçekleştirilirken mevcut deneyler içerisinde en iyi amaç fonksiyonu değerini veren bir ders programı elde edilerek belirgin bir iyileşmenin sağlandığı görülmüştür. Ayrıca yapılan deneylerde konik amaç fonksiyonunu en küçüklemede, ardıştırma sayısının ve başlangıç çözümlerinin anlamlı farklılık ortaya koyduğu gözlemlenmiştir.

Uygulamada öğretim elemanlarına tek tek anket uygulamasını tatbik etmek yerine, gün ve saat tercihlerini girebilecekleri bir arayüz tasarlanarak ileride çalışmanın geliştirilmesi sağlanabilecektir. Önerilen yaklaşımın, farklı metasezgisel yöntemlerle ve skalerleştirme yaklaşımlarıyla karşılaştırılması düşünülmektedir.

KAYNAKLAR DİZİNİ

- Abdullah, S., Turabieh, H. (2012). On the use of multi neighbourhood structures within a tabu-based memetic approach to university timetabling problems. *Information Sciences*, 191, 146-168.
- Aladag Ç., H., Hocaoğlu, G. ve Başaran, M., A. (2009). The effect of neighborhood structures on tabu search algorithm in solving course timetabling problem. *Expert Systems with Applications*, 36(10), 12349–12356.
- Altunay, H. (2015). Ders programı çizelgeleme problemi için 0-1 tamsayılı programlama yaklaşımı, Yüksek Lisans Tezi, Kırıkkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kırıkkale, 106s.
- Altunay, H., Eren, T. (2017). Ders programı çizelgeleme problemi için bir literatür taraması. *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 23(1), 55-70.
- Al-Yakoob, S. M., Sherali, H. D. (2006). Mathematical programming models and algorithms for a class–faculty assignment problem. *European Journal of Operational Research*, 173, 488-507.
- Al-Yakoob, S. M., Sherali, H. D. (2015). Mathematical models and algorithms for a high school timetabling problem. *Computers & Operations Research*, 61, 56-68.
- Atlas, M., (2008). Çok amaçlı programlama çözüm tekniklerinin sınıflandırılması. *Anadolu Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*, 8(1), 47-68.
- Aycan, E. (2008). Kısıtlı programlama ve benzetimli tavlama yöntemleri ile ders programlama probleminin çözülmesi, Yüksek Lisans Tezi, İzmir Yüksek Teknoloji Enstitüsü Mühendislik ve Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir, 89s.
- Badri, M., A. (1996). A Two-stage multiobjective scheduling model for faculty-course-time assignments, *European Journal of Operational Research*, 94, 16–28.
- Bayata, Ö. (2012). Genetik algoritmaların ders çizelgeleme probleminde kullanımı ve eğitim kurumlarında uygulaması, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 127s.
- Boronico J. (2000). Quantitative modeling and technology driven departmental course scheduling. *Omega*, 28(3), 327-346.
- Botsalı, A. R. (2000). Bir ders çizelgeleme problemi: kısıt ve matematiksel programlama uygulaması, Yüksek Lisans Tezi, Bilkent Üniversitesi Mühendislik ve Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 91s.
- Brunner, J. O., Bard, J. F., ve Kolisch, R. (2009). Flexible shift scheduling of physicians. *Health Care Management Science*, 12(3), 285-305.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

Burke, E. K., MacCarthy, B., Petrovic, S. ve Qui, R., (2001). Case-based reasoning in course timetabling: An Attribute Graph Approach. Proceedings of the 4th International Conference on Case-Based Reasoning, Vancouver, Canada, 90-104. Ağustos-Eylül.

Burke, E. K., McCollum, B., Meisels, A., Petrovic, S., Qu, R. (2007). A graph-based hyperheuristic for educational timetabling problems. European Journal of Operational Research, 176, 177-192.

Büyüksünnetçi, A. S. (2006). Tepkin çizelgeleme yaklaşımının akış tipi atölye ortamında etkinliğinin analizi, Yüksek Lisans Tezi, Osmangazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Eskişehir, 120s.

Chankong, V., Haimes, Y. Y. (1983). Multiobjective decision making: Theory and methodology, New York: Elsevier Science Publishing Company.

Cooper T. B., Kingston J. H. (1995). The solution of real instances of the timetabling problem. The Computer Journal 36, 645–653.

Costa, D. (1994). A tabu search algorithm for computing an operational timetable. European Journal of Operational Research Society, 76, 98-110.

Daskalaki, S., Birbas, T., (2005). Efficient solutions for a university timetabling problem through integer programming. European Journal of Operational Research, 160 (1), 106-120.

Daskalaki, S., Birbas, T., Housos, E., (2004). An integer programming formulation for a case study in university timetabling. European Journal of Operational Research, 153, 117- 135.

Dimopoulou, M., Miliotis, P. (2001). Implementation of a University Course and Examination Timetabling System. European Journal of Operational Research, 130, 202-213.

Eisenberg, C. (1997). Reactive job-shop scheduling with a constraint logic algorithm, MSc Thesis, London University, England.

Fong, C.W., Asmuni, H., Mccollum, B., McMullan, P. ve Omatu, S. (2014). A New hybrid imperialist swarm-based optimization algorithm for university timetabling problems. Information Sciences, 283, 1-21. Nowember.

Gasimov, R. N., (2001). Characterization of the benson proper efficiency and scalarization in nonconvex vector optimization. Multiple Criteria Decision Making in the New Millenium, Lecture Notes In Economics And Mathematical Systems, (507), Berlin Heidelberg: Springer-Verlag, 189-198.

Gendreau, M., Potvin J. Y. (2010). Handbook of metaheuristics, International Series in Operations Research & Management Science (146). Almany: Springer Science+Business Media, 41-59.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

Glover, F., Kelly, J. P. ve Laguna, M. (1995). Genetic algorithms and tabu search: Hybrids for optimization. *Computers and Operations Research*, 22, 111-134.

Glover, F., Laguna, M. (1997). *Tabu search*. Kluwer Academic Publishers, 61.

Goldberg, D. E., (1975). *Genetic algorithm in search, Optimization and Machine Learning*. Addison Wesley Publishing Inc, USA.

Gunawan, A., Ng, K. M. ve Poh, K. L., (2008). A hybrid Algorithm for The University Course Timetabling Problem. *Proceedings of the 7th International Conference on the Practice and Theory of Automated Timetabling* 33-50.

Gunawan, A., Ng, K. M., Poh, K. L. (2012). A hybridized Lagrangian Relaxation and Simulated Annealing Method for The Course Timetabling Problem. *Computers & Operations Research*, 39(12), 3074-3088.

Güden, H., Vakvak, B., Özkan, B.E., Altıparmak, F. ve Dengiz, B. (2005). Genel amaçlı arama algoritmaları ile benzetim en iyilemesi: En iyi kanban sayısının bulunması, *Endüstri Mühendisliği Dergisi*, 16(1), 2–15.

Günalay, Y., Şahin, T. (2006). A decision support system for the university timetabling problem with instructor preferences. *Asian Journal of Information Technology*, 5(12), 1479-1484.

Güngör, İ. (2002). Hemşire ve görevlendirme ve çizelgeleme sorununa bir model önerisi. *Süleyman Demirel Üniversitesi İktisadi İdari Bilimler Fakültesi*, 7(2), 77-94.

Hertz, A. (1992). Finding a feasible course schedule using tabu search, *discrete applied Mathematics*, 35, 255-270.

Hooshmand, S., Behshameh, M. ve Hamidi, O. (2013). A tabu search algorithm with efficient diversification strategy for high school timetabling problem. *International Journal Of Computer Science & Information Technology*, 5(4), 21-34. August.

<http://compe.hku.edu.tr/Dosyalar/14112015161205-.pdf>, Erişim Tarihi: Nisan 2018.

<http://www.isahp.org/2007Proceedings/Papers/Working%20Sessions/Project%20Evaluation/MultiobjeMulti%20Course%20Scheduling.pdf>, Erişim Tarihi: Kasım 2018.

Islam, T., Shahriar, Z., Perves, M. A. ve Hasan, M. (2016). University timetable generator using tabu search. *Journal of Computer and Communication*, 4, 28-37.

Ismayilova N. A., Sagir, M., Gasimov, R. N. (2007). A multiobjective faculty–course–time slot assignment problem with preferences. *Mathematical and Computer Modelling*, 46, 1017–1029.

Kalender, M. (2007). Ders çizelgeleme programı. TMMOB Elektrik Mühendisleri Odası İstanbul Şubesi Proje Yarışması (Teknik rapor).

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Kaya, S., Fığlalı, N. (2016). Çok amaçlı optimizasyon problemlerinde pareto optimal kullanımı, *Social Sciences Research Journal*, 5(2), 9-18.
- Kesici, T., Kocabaş, Z. (1998). Biyostatistik. (79). Türkiye: Ankara Üniversitesi Eczacılık Fakültesi Yayınları, 364.
- Lai, L. F, Wu, C. C., Hsueh, N. L., Huang, L. T., Hwang, S. F. (2008). An artificial intelligence approach to course timetabling. *International Journal on Artificial Intelligence Tools*, 17(1), 223-240.
- Louly, M., A. (2012). A goal programming model for staff scheduling at a telecommunications center, *J Math Model Algor*, 12, 167-178.
- Méndez-Díaz, I., Zabala, P. ve Miranda-Bront, J. J. (2016). An ILP based heuristic for a generalization of the post-enrollment course timetabling problem. *Computers & Operations Research*, 76, 195-207.
- Miettinen, K. (1999). *Nonlinear multiobjective optimization*, USA: Kluwer Academic Publishers.
- Montgomery, D. C., (1991). Design and analysis of experiments, (5. baskı), John Wiley Sons, 699.
- Özcan. E., Alkan. A. (2002). Timetabling Using a Steady State Genetic Algorithm. *Proceedings of the 4th International Conference on the Practice and Theory of Automated Timetabling (PATAT02)*, 104-107.
- Özdemir, M. S., Gasimov, R. N. (2004). The analytic hierarchy process and multiobjective 0–1 faculty course assignment. *European Journal of Operational Research*, 157, 398–408.
- Öztürk, Z. K., Kasımbeyli, N., Özdemir, M. S., Acar, M. S., Özçetin, E., Alegöz, M. ve Ceylan, G. (2015). Kullanıcı tercihlerinin dikkate alınması durumunda üniversite ders çizelgeleme Problemi *Endüstri Mühendisliği Dergisi*, 27(1), 2-16.
- Özyandı, G. (2010). Ders çizelgeleme probleminin 0-1 tamsayılı programlama tabanlı uygulaması, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 87s.
- Palamutcuoğlu, T. (2008). Üretim ve hizmet planlamasında çizelgeleme problemlerinin yöneylem teknikleriyle çözümü: Ders ve sınav programlarının optimizasyonu üzerine bir uygulama, Yüksek Lisans Tezi, Celal Bayar Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, Manisa, 232s.
- Pinedo, M., L. (2008). Scheduling theory, algorithms, and systems. (Üçüncü baskı), New York: Springer, 378.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Pongcharoen, P., Promtet, W., Yenradee, P. ve Hicks, C. (2008). Stochastic optimisation timetabling tool for university course scheduling. *International Journal of Production Economics*, 112 (2), 903-918.
- Reeves, C. R. (1993). *Modern heuristic techniques for combinatorial problems*. John Wiley & Sons, Inc., New York, 320.)
- Rossi-Doria, O., Paechter, B. (2003). An hyperheuristic approach to course timetabling problem using evolutionary algorithm. (Teknik Rapor), Napier University, Edinburgh, Scotland, 330.
- Saaty, R. W. (1987). The analytic hierarchy process-what it is and how it is used. *Mathematical Modelling*, 9, (3-5), 161-176.
- Saaty, T. L. (1990a). How to make a decision: the analytic hierarchy process, *European Journal of Operational Research*, 48(1), 9-26.
- Saaty, T. L. (1990b). How to make a decision: the analytic hierarchy process, *European Journal of Operational Research*, 48(1), 15.
- Saaty, T. L. (2008). Decision making with the analytic hierarchy process. *Int. J. Services Sciences*, 1(1).
- Saaty, T. L., Vargas, L. G., (2012). *Models, methods, concepts & applications of the analytic hierarchy process*, *International Series in Operations Researchs & Management Science*. (İkinci baskı). New York: Springer Science+Business Media, 3.
- Sastry K., Goldberg D. ve Kendall G. (2005). Genetic algorithms/ Chapter 4 of *Introductory Tutorials in Optimization and Decision Support Techniques*, Kluwer, Search Methodologies (E. Burke and G. Kendall editörlüğünde). Boston: MA Springer, 97–125.
- Saviniec, L., Constantino, A. A. (2017). Effective local search algorithms for high school timetabling problems. *Applied Soft Computing*, 60, 363-373.
- Scheffe, H., (1999). The analysis of variance, (Birinci Baskı) New York: Wiley-Interscience, 30-80.
- Şimşek, S. (2017). Özdeş ve özdeş olmayan paralel makinelerde çizelgeleme için model önerisi ve bir uygulama, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 137s.
- Tokmak, M. (2011). Yapay arı kolonisi algoritması ile ders çizelgeleme probleminin çözümü, Yüksek Lisans Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Isparta, 62s.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

Turfan, D. (2014). Tabakalı rastgele örneklemede örneklem büyüklüklerinin genetik algoritma ile belirlenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Hacettepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 77s.

Tüter, K., (2013). Analitik hiyerarşi yöntemi ile müşteri memnuniyeti açısından uygun granitin seçimi üzerine bir uygulama, Yüksek Lisans Tezi, Marmara Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, İstanbul, 105.

Üstün Ö., (2007). Çok amaçlı portföy optimizasyon problemi ve çözüm yaklaşımları, Doktora Tezi, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Eskişehir, 178.

Wind, Y., Saaty, T. L. (1980). Marketing applications of analytic hierarchy process. Management Science, 26 (7), 641-658.

Wren, A. (1996). Scheduling, timetabling and rostering - A special relationship? Practice and Theory of Automated Timetabling, Lecture Notes in Computer Science, 1153, 46-75.

Yiğit, T. (2006). Meslek liseleri haftalık ders çizelgelerinin genetik algoritmalar yardımıyla oluşturulması. Gazi Üniversitesi Endüstriyel Sanatlar Eğitim Fakültesi Dergisi, 19, 25-39.

Youssef, H., Sadiq M. S. ve Adiche, H. (2000). Evolutionary algorithms, simulated annealing and tabu search: A comparative study. Engineering Applications of Artificial Intelligence, 14(2001), 167-181.

EKLER

EK 1. Ders Çizelgeleme Problemi Çözümünde Kullanılan Yöntemler ve Yılları

Yıllar Yöntemler	1964-1969	1970-1974	1975-1979	1980-1984	1985-1989	1990-1994	1995-1999	2000-2004	2005-2009	2010-2014	2015-2018
Karar destek sistemi					1			2			
Ağ renklendirme temelli					3	2	4	6	1		
Hiper-sezgisel yöntemler								7	4	1	1
Mantıksal programlama						1					
Kısıt temelli yaklaşımlar							1	4	2		
Matematiksel programlama temelli	2	2	2	5	4	4	2	5	13	4	1
Metasezgisel yöntemler						5	8	25	18	21	2
Sezgisel algoritma	2	1	1	1	2	3	2	1	2		
Olay temelli çıkarsama									4		
Yerel arama temelli yaklaşımlar									2	3	
Literatür Taraması										2	1
Analitik Hiyerarşi Prosesi								1			1
Genetik Algoritmalar						6	3	3	2	3	
Tabu Arama						2	2	5	5	3	3
Çok Amaçlı Programlama							2	4	2	1	4

EK 2. Öğretim Elemanlarının Endüstri Mühendisliği Ders Programı Tercihlerini Belirleyen Kriterlere Ait İkili Karşılaştırma Anketi

Bu anketin amacı, Dumlupınar Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Endüstri Mühendisliği Bölümü öğretim elemanlarının ders programı hazırlanması sırasında tercihlerini belirleyen bazı faktörlerin önem derecesini belirlemektir. Çalışmanın sonuçları tamamen akademik amaçlı olarak “Çok amaçlı ders programı hazırlama” başlıklı Yüksek Lisans Tez çalışmasında değerlendirilecektir. Kıymetli zamanınızı ayırarak yapacağınız değerlendirmeler için teşekkür ederiz.

Uygulama: Anket çalışması, kriterlerin önceliklerinin belirlenmesi için AHP yoluyla, Saaty ölçeği kullanılarak ikili karşılaştırmalar yapılmasına dayanmaktadır. Her satır için ikili karşılaştırma yapılmalıdır. Örneğin, “Günler” tablosunda "Pazartesi" ile "Salı" günü karşılaştırıldığında hangisi diğerine göre ne kadar önemlidir çizelgeden bakılarak uygun kutucuğa istenilen rakam yazılmalıdır.

Saaty Ölçeği

Değer	Tanım	Açıklama
1	Eşit önem	İki faaliyet amaca eşit düzeyde katkıda bulunuyor.
3	Orta derecede önem	Tecrübe ve yargı bir faaliyeti diğerine orta derecede tercih ettiriyor.
5	Kuvvetli derecede önem	Tecrübe ve yargı bir faaliyeti diğerine kuvvetli bir şekilde tercih ettiriyor.
7	Çok kuvvetli derecede önem	Bir faaliyet güçlü bir şekilde tercih ediliyor ve baskınlığı uygulamada rahatlıkla görülüyor.
9	Mutlak derecede önem	Bir faaliyetin diğerine tercih edilmesine ilişkin kanıtlar büyük güvenilirliğe sahip.
2, 4, 6, 8	Ara değerler	İki ardışık yargı arasındaki değerler
1/9	Mutlak derecede önemsiz	Bir faaliyetin diğerine tercih edilmemesi için kanıtlar büyük güvenilirliğe sahip
1/7	Çok kuvvetli derecede önemsiz	Bir faaliyetin güçlü bir şekilde tercih edilmediği uygulamada görülüyor.
1/5	Kuvvetli derecede önemsiz	Tecrübe ve yargı bir faaliyeti diğerine kuvvetli derecede tercih ettirmiyor.
1/3	Orta derecede önemsiz	Tecrübe ve yargı bir faaliyeti diğerine orta derecede tercih ettiriyor.
1	Eşit önem	İki faaliyet amaca eşit düzeyde katkıda bulunuyor.
1/8, 1/6, 1/4, 1/2	Ara değerler	İki ardışık yargı arasındaki değerler

Dersi Veren Öğretim Üyesi:

Dersin Adı:

Saat Tercihleri:

Saatler	08:00-09:00	09:00-11:00	11:00-13:00	13:00-15:00	15:00-17:00
08:00-09:00	1				
09:00-11:00		1			
11:00-13:00			1		
13:00-15:00				1	
15:00-17:00					1

Gün Tercihleri

Günler	Pazartesi	Salı	Çarşamba	Perşembe	Cuma
Pazartesi	1				
Salı		1			
Çarşamba			1		
Perşembe				1	
Cuma					1

Faktörlerin Karşılaştırılması

EK 3. Derslerin Çakışma Sayıları Matrisi

Dersler	Türk Dili II	İngilizce II	Genel Ekonomi	Bilgisayar Programlama	Fizik II	Matematik II	Teknik Resim	A.İLT II	Sayısal Analiz	İstatistik I	Termodinamik	Üretim Yöntemleri	Sos.Seç.Ders II	Yöneylem Araştırması II	Mühendislik Ekonomisi	Sistem Benzetimi	Kalite Kontrol	Üretim Yönetimi	Teknik Seç. Ders II	Yönetim ve Organizasyon	Ergonomi	Tek. Seç. Ders IV	Tek. Seç. Ders VI	Mühendislik Tasarımı	Mühendislik Projesi	
Türk Dili II	1	144	155	155	158	157	155	4	4	2	3	4	3	1	2	3	4	1	1	0	0	0	0	0	0	
İngilizce II	144	1	163	162	167	167	159	7	7	8	5	8	7	0	0	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0
Genel Ekonomi	155	163	1	180	181	178	176	6	6	7	5	7	5	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Bilgisayar Programlama	155	162	180	1	185	182	173	11	15	7	11	13	5	1	3	4	4	4	5	2	2	2	1	2	2	2
Fizik II	158	167	181	185	1	197	174	17	36	24	28	33	25	1	6	6	7	4	3	1	0	2	3	1	1	1
Matematik II	157	167	178	182	197	1	173	7	23	13	19	21	15	1	3	3	4	3	4	0	0	0	0	0	0	0
Teknik Resim	155	159	176	173	174	173	1	10	8	9	10	16	13	4	6	5	4	4	1	0	0	0	0	0	0	0
A.İLT II	4	7	6	11	17	7	10	1	106	96	100	110	104	6	9	9	17	9	8	4	1	0	0	2	1	1
Sayısal Analiz	4	7	6	15	36	23	8	106	1	122	151	143	117	36	40	45	54	52	40	6	3	2	2	2	1	1
İstatistik I	2	8	7	7	24	13	9	96	122	1	111	122	116	8	7	10	13	11	10	0	0	0	0	0	0	0
Termodinamik	3	5	5	11	28	19	10	100	151	111	1	137	116	43	44	47	57	49	39	14	9	6	8	2	2	2
Üretim Yöntemleri	4	8	7	13	33	21	16	110	143	122	137	1	131	9	12	12	26	17	12	6	1	0	0	1	1	1
Sos.Seç.Ders II	3	7	5	5	25	15	13	104	117	116	116	131	1	10	15	13	18	14	7	3	0	0	0	1	0	0
Yöneylem Araştırması II	1	0	1	1	1	1	4	6	36	8	43	9	10	1	117	131	130	133	115	35	36	26	25	3	3	3
Mühendislik Ekonomisi	2	0	0	3	6	3	6	9	40	7	44	12	15	117	1	129	136	120	103	56	58	50	51	14	14	14
Sistem Benzetimi	3	1	1	4	6	3	5	9	45	10	47	12	13	131	129	1	145	147	119	41	45	27	31	28	29	29
Kalite Kontrol	4	1	0	4	7	4	4	17	54	13	57	26	18	130	136	145	1	145	121	52	54	41	39	38	39	39
Üretim Yönetimi	1	1	0	4	4	3	4	9	52	11	49	17	14	133	120	147	145	1	125	32	31	19	21	15	15	15
Teknik Seç. Ders II	1	1	0	5	3	4	1	8	40	10	39	12	7	115	103	119	121	125	1	37	38	32	30	26	26	26
Yönetim ve Organizasyon	0	0	0	2	1	0	0	4	6	0	14	6	3	35	56	41	52	32	37	1	146	140	141	134	132	132
Ergonomi	0	0	0	2	0	0	0	1	3	0	9	1	0	36	58	45	54	31	38	146	1	142	143	143	143	143
Tek. Seç. Ders IV	0	0	0	2	2	0	0	0	2	0	6	0	0	26	50	27	41	19	32	140	142	1	148	125	138	138
Tek. Seç. Ders VI	0	0	0	1	3	0	0	0	2	0	8	0	0	25	51	31	39	21	30	141	143	148	1	140	140	140
Mühendislik Tasarımı	0	0	0	2	1	0	0	2	2	0	2	1	1	3	14	28	38	15	26	134	143	125	140	1	152	152
Mühendislik Projesi	0	0	0	2	1	0	0	1	1	0	2	1	0	3	14	29	39	15	26	132	143	138	140	152	1	1

EK 4. En İyi Amaç Fonksiyonu Değerini Veren Ders Çizelgesi

GÜN	SAAT	ENDÜSTRİ I	ENDÜSTRİ II	ENDÜSTRİ III	ENDÜSTRİ IV	ÇAKIŞMA SAYISI	ÖĞRETİM ELEMANI TERCİHİ	AMAÇ FONK.
PAZARDESİ	8	Mat. II			Yönetim ve Organizasyon		0,69655704	
	9	Mat. II			Yönetim ve Organizasyon		1,17674875	
	10	Mat. II			Yönetim ve Organizasyon		1,17674875	
	11	Bilg. Prog. Şbl		Yön. Aras. II		1	0,45288861	
	12	Bilg. Prog. Şbl		Yön. Aras. II		1	0,45288861	
	13	Bilg. Prog. Şbl		Yön. Aras. II		1	0,7431002	
	14	Genel Ekonomi		Kalite Kontrol			0,72806757	
	15	Genel Ekonomi		Kalite Kontrol			0,79259668	
	16	Genel Ekonomi		Kalite Kontrol			0,79259668	
SALI	17			Kalite Kontrol			0,36666667	
	8	Mat. II		Sist. Ben.		3	0,57653832	
	9	Mat. II		Sist. Ben.		3	1,09264566	
	10			Sist. Ben.			0,34462812	
	11	Fiz. II					0,43499862	
	12	Fiz. II					0,43499862	
	13		A.İ.T. II				0,43491625	
	14		A.İ.T. II				0,43491625	
	15		Termodinamik				0,43760376	
16		Termodinamik				0,43760376		
17		Termodinamik				0,43760376		
ÇARŞAMBA	8				Tek. Seç. Ders IV		0,39030605	
	9		Üretim Yöntemleri		Tek. Seç. Ders IV		1,35616413	
	10		Üretim Yöntemleri		Tek. Seç. Ders IV		1,35616413	
	11		Üretim Yöntemleri		Tek. Seç. Ders VI		1,18985631	
	12		Üretim Yöntemleri		Tek. Seç. Ders VI		1,18985631	
	13		İstatistik I		Tek. Seç. Ders VI		1,07682946	
	14		İstatistik I				0,63203311	
	15	Bilg. Prog. Şbl					0,63275665	
	16	Bilg. Prog. Şbl					0,63275665	
17	Bilg. Prog. Şbl					0,63275665		
PERŞEMBE	8	Türk Dili II		Üretim Yönetimi		1	1,37821871	
	9	Türk Dili II		Üretim Yönetimi		1	1,00005025	
	10	Fiz. II		Üretim Yönetimi		4	1,02664082	
	11	Fiz. II		Yön. Aras. II		1	0,93441598	
	12	Fiz. II		Yön. Aras. II		1	0,93441598	
	13		İstatistik I				0,63855419	
	14		İstatistik I				0,63855419	
	15		Sayısal Analiz				0,49416433	
	16		Sayısal Analiz				0,49416433	
17		Sayısal Analiz				0,49416433		
CUMA	8	Teknik Resim		Tek. Seç. Ders II		1	0,29925092	
	9	Teknik Resim		Tek. Seç. Ders II		1	0,79966751	
	10	Teknik Resim		Tek. Seç. Ders II		1	0,79966751	
	11		Sos. Seç. Ders II		Ergonomi		0,71423927	
	12		Sos. Seç. Ders II		Ergonomi		0,71423927	
	13		Sos. Seç. Ders II		Ergonomi		0,38198029	
	14	İng. II			Ergonomi		0,44558368	
	15	İng. II		Müh. Eko.			0,56587373	
	16	İng. II		Müh. Eko.			0,56587373	
17	İng. II		Müh. Eko.			0,56587373		
						20	35,42038	-1,504

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Soyadı, adı : CAN, Esra
e-mail : esracan545@gmail.com

Eğitim

Derece	Eğitim Birimi	Mezuniyet Tarihi
Yüksek lisans	Kütahya Dumlupınar Üniversitesi Endüstri Mühendisliği	2018
Lisans	Yaşar Üniversitesi Endüstri Mühendisliği	2012
Lisans	Anadolu Üniversitesi İşletme	2012

İş Deneyimi

Yıl	Yer	Görev
2013	MND İzolasyon	Kalite Mühendisi

Yabancı Dil

İngilizce