



T.C.
KONYA TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ



SINAV ÇİZELGELEME PROBLEMLERİ İÇİN
ÜST SEZGİSEL YAKLAŞIMLAR

Ferda Nur ARICI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Bilgisayar Mühendisliği Anabilim Dalı

Temmuz-2020
KONYA
Her Hakkı Saklıdır

TEZ KABUL VE ONAYI

Ferda Nur ARICI tarafından hazırlanan ‘‘Sınav izelgeleme Problemleri için st Sezgisel Yaklaşımlar’’ adlı tez çalışması 16/07/2020 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliğı ile Konya Teknik Üniversitesi Lisansüstü Eğıtim Enstitüsü Bilgisayar Mühendisliğı Anabilim Dalı’nda YÜKSEK LSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Jüri yeleri

İmza

Başkan

Doç. Dr. Mehmet HACIBEYOĞLU

.....

Danışman

Dr. Öğr. Üyesi Ersin KAYA

.....

ye

Dr. Öğr. Üyesi Sait Ali UYMAZ

.....

Yukarıdaki sonucu onaylarım.

Prof. Dr. Saadettin Erhan KESEN
Enstitü Müdürü

Bu tez alışması Konya Teknik Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinatrlğı tarafından 191013032 nolu proje ile desteklenmiştir.

TEZ BİLDİRİMİ

Bu tezdeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edildiğini ve tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

DECLARATION PAGE

I hereby declare that all information in this document has been obtained and presented in accordance with academic rules and ethical conduct. I also declare that, as required by these rules and conduct, I have fully cited and referenced all material and results that are not original to this work.



Ferda Nur ARICI

Tarih: 16/07/2020

ÖZET

YÜKSEK LİSANS TEZİ

SINAV ÇİZELGELEME PROBLEMLERİ İÇİN ÜST SEZGİSEL YAKLAŞIMLAR

Ferda Nur ARICI

**Konya Teknik Üniversitesi
Lisansüstü Eğitim Enstitüsü
Bilgisayar Mühendisliği Anabilim Dalı**

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Ersin KAYA

2020, 75 Sayfa

**Jüri
Dr. Öğr. Üyesi Ersin KAYA
Doç. Dr. Mehmet HACİBEYOĞLU
Dr. Öğr. Üyesi Sait Ali UYMAZ**

Sınav çizelgeleme problemi katı ve yumuşak kısıtları göz önünde bulundurarak bir dizi sınavı, bir dizi zaman dilimi ve bir dizi dersliğe planlamaktır. Sınav çizelgeleme problemleri özellikle üniversitelerde her sınav döneminde karşılaşılan çözülmesi zor, zaman ve iş gücü gerektiren çok parametrelili ve kısıtlı optimizasyon problemleridir. Literatürde bu problemlerin çözümü için günümüze kadar birçok çalışma yapılmıştır. Bu çalışmalarda sınav çizelgeleme problemleri çözümü için çeşitli yöntemler önerilmiştir. Son zamanlarda yapılan çalışmalarda, araştırmacılar üst sezgisel yaklaşımların sınav çizelgeleme problemlerinin çözümünde başarılı olduğunu görmüşler ve bu alana yönelmişlerdir.

Üst sezgisel yaklaşımlar belirli bir problem veya problem seti için önceden tanımlanan alt sezgisel yöntemleri kullanarak alt sezgisellerin uygun kombinasyonunu üreten problem alanından bağımsız modellerdir. Bu tez çalışmasında sınav çizelgeleme problemlerinin çözümü için üst sezgisel yaklaşımlar sunulmuştur. Tez çalışmasının temel amacı, sınav çizelgeleme problemlerinin derinlemesine incelenmesi ve üst sezgisel yaklaşımlar ile sınav çizelgeleme problemlerinin çözülmesidir. Üst sezgisel yaklaşımlar sezgisel seçim ve sezgisel üretim olarak ikiye ayrılır. Bu çalışmada sezgisel seçen üst sezgiseller kullanılmıştır. Sezgisel seçen üst sezgisel yaklaşımlar sezgisel seçim ve hareket kabul olmak üzere ikiye ayrılır. Bu çalışmada sezgisel seçim yöntemlerinden basit rastsal ve tez çalışması kapsamında değiştirilen rastsal permütasyon, hareket kabul yöntemlerinden ise sadece iyileşen kullanılarak iki farklı üst sezgisel yaklaşım tasarlanmıştır. Tez çalışmasında öncelikle katı kısıtlar sağlanmıştır. Daha sonra çözümün kalitesini daha da arttıran yumuşak kısıtları sağlamak için ceza matrislerine dayalı alt sezgiseller kullanılmış ve alt sezgiseller ile üst sezgisel yaklaşımı güçlendirmeye odaklanılmıştır. Tasarlanan iki üst sezgisel yaklaşım gerçek dünya örnekleri olan Uluslararası Zaman Çizelgeleme Yarışması (International Timetabling Competition, ITC-2007) tarafından 2007 yılında sunulan problemler üzerinde test edilmiştir. Sonuçlar incelendiğinde bu iki yaklaşımın birbirlerine yakın sonuçlar verdiği fakat ikinci yaklaşımın daha iyi olduğu görülmüştür. Üst sezgisel yaklaşımlar literatürde yer alan bazı çalışmalarla karşılaştırıldığında; bazı sonuçlarda üstün gelmiş, bazı sonuçlarda ise rekabetçi olmuşlardır.

Anahtar Kelimeler: ITC-2007 veri seti, Optimizasyon, Sınav Çizelgeleme, Üst Sezgiseller

ABSTRACT

MS THESIS

HYPER-HEURISTIC APPROACHES FOR EXAMINATION TIMETABLING PROBLEMS

Ferda Nur ARICI

**Konya Technical University
Institute of Graduate Studies
Department of Computer Engineering**

Advisor: Assist. Prof. Dr. Ersin KAYA

2020, 75 Pages

Jury

Assist. Prof. Dr. Ersin KAYA

Assoc. Prof. Dr. Mehmet HACIBEYOĞLU

Assist. Prof. Dr. Sait Ali UYMAZ

Exam timetabling is to plan a series of exams, a series of timeslots and a series of rooms, taking into account hard and soft constraints. Exam timetabling problems are constrained and multi-parameter optimization problems that require time and labor to be solved especially encountered in universities during each exam period. There are many different studies in the literature for the solution of these problems. In these studies, many methods have been proposed for solving exam timetabling problems. However, researchers have recently seen that the hyper-heuristic approaches are successful in these problems and have turned to this field.

Hyper-heuristic approaches are independent from the problem area that produces the appropriate combination of low level heuristics using the predefined low level heuristics for a particular problem or set of problems. In this thesis, hyper-heuristic approaches are presented for solving exam timetabling problems. The main purpose of the thesis study is to examine exam timetabling problems and to solve the exam timetabling problems with hyper-heuristic methods. Hyper-heuristic approaches are divided into heuristic selection and heuristic generation. In this study, selection hyper-heuristics are used. Hyper-heuristic approaches that select heuristic consists of two phases: heuristic selection and move acceptance. Of heuristic selection methods, simple random and random permutation which was changed within the scope of the thesis study was used in this study. Of the move acceptance methods, only improving was used. Two different hyper-heuristic approaches have been designed with these heuristic selection and move acceptance methods. In this study, hard constraints are provided firstly. Then low level heuristics based on penalty matrices were used to increase the quality of the solution by supplying soft constraints. The focus is on supporting to the hyper-heuristic approach with the low level heuristics. The designed two hyper-heuristic approaches were tested on the problems presented in 2007 by the International Timetabling Competition (ITC-2007), which are real world examples. When the results were examined, it was seen that these two approaches gave close results, but the second approach was better. When the hyper heuristic approaches are compared with some studies in the literature; they were superior in some results and competitive in some results.

Keywords: Exam Timetabling, Hyper-heuristics, ITC-2007 dataset, Optimization

ÖNSÖZ

Bu tez çalışmasına değerli bilgileri ile katkıda bulunan danışman hocam Sayın Dr. Öğr. Üyesi Ersin KAYA'ya, tez çalışması süreci boyunca desteğini esirgemeyen, tecrübeleri ile bana yol gösteren Sayın Doç. Dr. Mehmet HACIBEYOĞLU'na, jüri üyem Sayın Dr. Öğr. Üyesi Sait Ali UYMAZ'a ve diğer hocalarıma teşekkür eder, saygılarımı sunarım.

Bugünlere gelmemi sağlayan, her zaman arkamda durup beni cesaretlendiren, hiçbir zaman haklarını ödeyemeyeceğim, duacım sevgili aileme ve desteklerinden dolayı arkadaşlarıma en içten teşekkürlerimi sunarım.

Ferda Nur ARICI
KONYA-2020

İÇİNDEKİLER

ÖZET.....	iv
ABSTRACT.....	v
ÖNSÖZ.....	vi
İÇİNDEKİLER	vii
SİMGELER VE KISALTMALAR	ix
1. GİRİŞ	1
2. KAYNAK ARAŞTIRMASI	5
2.1. Graf Tabanlı Sıralı Teknikler	5
2.2. Kısıt Tabanlı Teknikler	6
2.3. Yerel Arama Tabanlı Teknikler	7
2.4. Popülasyon Tabanlı Algoritmalar	8
2.4.1. Genetik Algoritmalar	8
2.4.2. Memetik Algoritmalar	9
2.4.3. Parçacık Sürü Optimizasyonu	10
2.4.4. Diğer Algoritmalar	10
2.5. Üst Sezgiseller	12
3. MATERYAL VE YÖNTEM.....	16
3.1. Çizelgeleme Problemleri.....	16
3.2. Sınav Çizelgeleme Problemleri.....	18
3.3. ITC-2007 Sınav Çizelgeleme Problemleri.....	21
3.3.1. Zorunlu kısıtlar	25
3.3.2. Katı kısıtlar	26
3.3.3. Yumuşak kısıtlar	29
3.3.4. Amaç fonksiyonu	34
3.4. Üst Sezgiseller.....	35
3.4.1. Üst sezgisel yaklaşımların sınıflandırılması	37
3.5. ITC-2007 Sınav Çizelgeleme Problemlerinin Üst Sezgisel Yaklaşımlarla Çözümü	44
3.5.1. Birey gösterimi.....	45
3.5.2. Katı kısıtların sağlanması ve başlangıç popülasyonu	47
3.5.3. Uygunluk ve amaç fonksiyonu	50
3.5.4. Tasarlanan üst sezgisel yaklaşımlar	51
4. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA.....	59
4.1. ITC-2007 Veri Setleri	59
4.2. Kullanılan Parametreler	59
4.3. Popülasyon Bazlı Sonuçlar	60
4.4. Tek Birey Bazlı Sonuçlar	61

4.5. Önerilen Yaklaşımların Literatürdeki Yöntemler ile Karşılaştırılması	65
5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	67
KAYNAKLAR	70
ÖZGEÇMİŞ.....	75



SİMGELER VE KISALTMALAR

Simgeler

h_1	Rastgele Mutasyon
h_2	Rastgele Takas
h_3	Rastgele Periyot Mutasyon
h_4	Rastgele Periyot Takas
h_5	Rastgele Derslik Mutasyon
h_6	Rastgele Derslik Takas
h_7	Maksimum Cezalı Yer Değiştirme
h_8	Maksimum Cezalı Takas
h_9	Maksimum Tekli Cezalı Yer Değiştirme – 1
h_{10}	Maksimum Tekli Cezalı Yer Değiştirme – 2
h_{11}	Maksimum Tekli Cezalı Yer Değiştirme – 3

Kısaltmalar

AM	Tüm Hareketler - All Moves
CF	Seçim Fonksiyonu - Choice Function
GA	Genetik Algoritma
GD	Büyük Tufan - Great Deluge
GRASP	Açgözlü Rasgele Uyarlanabilir Arama Prosedürü - Greedy Randomized Adaptive Search Procedure
IE	Gelişen ve Eşit - Improving and Equal
ITC-2007	Uluslararası Zaman Çizelgeleme Yarışması - International Timetabling Competition - 2007
MRP	Değiştirilmiş Rastsal Permütasyon - Modified Random Permutation
NP	Deterministik Olmayan Polinomal - Non-deterministic polinomal
OI	Sadece İyileşen - Only Improving
PSO	Parçacık Sürü Optimizasyonu – Particle Swarm Optimization
RD	Rastsal İniş - Random Descent
RP	Rastsal Permütasyon - Random Permutation
RPD	Rastsal Permütasyon İniş - Random Permutation Descent
RP Matrisi	Room x Period Matrisi
SR	Basit Rastsal - Simple Random
TS	Tabu Arama - Tabu Search

1. GİRİŞ

Türk Dil Kurumuna göre kelime anlamı “en uygun duruma getirme” olan optimizasyon, belirli bir problem veya problem seti için en uygun, kabul edilebilir çözümü bulma sürecidir. Optimizasyon mühendislik, medikal, tarım, iktisat, lojistik gibi saymakla bitmeyecek nice alanlarda kullanılmaktadır (Uymaz, 2015). Aslına bakılırsa insan yaşamının her evresinde birçok optimizasyon problemi yer almaktadır ve biz insanlar hayatımız boyunca bu problemler için en uygun çözümleri bulmaya çalışırız. Zaman çizelgeleme problemleri ise bunlardan bir tanesidir.

Çizelgeleme, sınırlı kaynakların belirli bir süre boyunca görevlere tahsis edilmesiyle ilgilenir. Bu süreç bir veya daha fazla kısıtın sağlanmasını, optimizasyonu amaçlayan bir karar alma sürecidir (Pinedo, 2002). Zaman çizelgeleme problemleri birçok alanda karşımıza çıkmaktadır. Eğitimde sınav, ders programı çizelgeleme, hastanelerde hemşire-doktor nöbet çizelgeleme, askeriyede nöbetçi asker çizelgeleme, ulaştırmada sefer, güzergâh, saat çizelgeleme, proje yönetiminde iş çizelgeleme yaygın olarak karşımıza çıkan çizelgeleme problemlerine örnek olarak verilebilir (Gürel, 2012).

Çizelgeleme problemleri içinde eğitim sektöründeki sınav çizelgeleme problemleri en popüler ve en çok çalışılan problemler içerisinde yer almaktadır. Bu problemler özellikle üniversitelerde her sınav döneminde karşılaşılan ve çözülmesi zor olan problemlerdir. Çoğu üniversitede bu problemlerin çözümü insan zekası ve gücü ile yapılmaktadır ve oldukça zaman almaktadır. Sınav çizelgeleme problemleri NP-tam (Non-deterministic polinomal complete, deterministik olmayan polinomal) karmaşıklık sınıfına ait optimizasyon problemlerindendir (Even ve ark., 1975). Giriş sayısının az olduğu durumlarda bu problem için uygulanabilir bir çözüm bulunabilmesine rağmen büyük boyutlu problemler için optimum çözümün elde edilmesi girişe bağlı üstel bir çalışma zamanı gerektirir. Problem N adet sınavın P adet zaman dilimine atanıp atanmayacağı ile ilgilendiği için P^N adet mümkün çözüm vardır. Çizelgeleme problemlerinin kombinatoriyel özellikte olmasından dolayı arama uzayındaki tüm mümkün çözümleri dener. Böyle bir durumda varsayimsız teknikler ya da deneme-yenilme yöntemiyle polinomsal veya kabul edilebilir bir sürede çözümün bulunması imkansız olur. Yani; sınav ve periyot sayısının artmasıyla problemin boyutu üstel bir şekilde artmakta ve problem polinomsal zamanda çözülememektedir. Bu nedenle bu problemlerde sezgisel yaklaşım kullanmak neredeyse zorunlu hale gelmektedir. Bunlara ek olarak kurumdan kuruma değişen kısıtlar ve çok fazla kısıtın olmasından dolayı aday

çözümün uygunluklarının hesaplanmasının uzun zaman almasıyla birlikte problem daha karmaşık hale gelmektedir (Yıldırım, 2014; Seyfi, 2018). Sınav çizelgeleme problemi katı ve yumuşak kısıtları göz önünde bulundurarak bir dizi sınavı, bir dizi zaman dilimi ve bir dizi dersliğe planlamaktır. Sağlanması gereken çeşitli kısıtlamalara uygun olarak sınırlı kaynaklarda çizelgelenmesi gereken çok sayıda sınav olduğunda problem daha da zorlaşır. Burada bahsedilen katı ve yumuşak kısıtlar sınav çizelgeleme problemleri için literatürde yer alan iki çeşit kısıttır. Katı kısıtlar yerine getirilmesi zorunlu olan kısıtlardır. Yumuşak kısıtlar ise yerine getirilmesi istenilen fakat zorunlu olunmayan kısıtlardır. Örneğin; bir sınav çizelgeleme probleminde bir öğrencinin gireceği iki sınav olduğunu varsayalım, bu öğrenci için gireceği sınavlar aynı zaman diliminde olmamalıdır. Çünkü öğrenci aynı anda iki sınava giremez bu bir katı kısıttır ve mutlaka sağlanmalıdır. Öğrencinin gireceği sınavların art arda olmaması, aynı günde olmaması ise yumuşak kısıtlara örnek olarak verilebilir. Sağlanması zorunlu değildir ama sağlansa çözüm daha kaliteli hale gelmektedir. Yumuşak kısıtlar kurumdan kuruma farklılık gösterebilir. Tüm katı kısıtları sağlayan çözüme uygulanabilir bir çözüm denir. Yumuşak kısıtlar ise çözümün kalitesini ölçmek için kullanılır. Sınav çizelgeleme problemlerinde temel amaç, tüm katı kısıtları sağlayan ve yumuşak kısıt ihlallerini en aza indiren bir sınav çizelgesi çözümü bulmaktır. Sınav çizelgeleme problemlerini çözmek için sıralı teknikler, kısıt bazlı teknikler, lokal arama temelli teknikler, popülasyon temelli teknikler gibi birçok optimizasyon teknikleri üzerine çalışılmıştır. Ancak son zamanlarda araştırmacılar üst sezgisel (hyper-heuristic) yaklaşımların sınav çizelgeleme problemlerinde başarılı olduğunu görmüşler ve bu alana yoğunlaşmışlardır (Qu ve ark., 2009; ACAR ve ŞEVKLİ, 2013).

Üst sezgisel, belirli bir problem veya problem seti için alt seviyeli sezgiseller kullanarak, eldeki problemi çözmek amacıyla alt sezgisellerin uygun bir kombinasyonunu üreten üst seviyeli bir yaklaşım olarak tanımlanabilir (Burke ve ark., 2010a). Üst sezgisel yaklaşım, doğrudan problemin çözüm uzayında arama yapmaktan ziyade problemin için verilen alt sezgiseller uzayında arama yapar. Üst sezgisel ifadesi çoğunlukla; mevcut problemin çözümü için alt sezgiselleri seçmede yine alt sezgisellerin kullanılmasını izah etmek için kullanılmaktadır (Burke ve ark., 2003b). Üst sezgisel yaklaşımlar üzerinde çalıştıkları problemleri bilmezler, meta sezgisel yaklaşımlara göre daha genel yaklaşımlardır. Üst sezgisel yaklaşımlarda üst sezgisel ve alt seviyeli sezgiseller olmak üzere iki kısım vardır. Üst sezgisel yaklaşımda bu iki kısım arasında yani alt seviyeli sezgiseller ve üst sezgisel arasında bir bariyer olduğu kabul edilir. Probleme ait bilgilerin

bu bariyeri geçmesine izin verilmemektedir. Bu nedenle, üst sezgisel yaklaşımlar üzerinde çalıştığı problem alanından bağımsızdır. Üst sezgisel yaklaşımlar sadece altında bulunan, seçebileceği alt sezgiselleri bilirler (SEÇME, 2014). Literatürde iki temel üst sezgisel türü vardır. Bunlar; sezgisel seçen üst sezgisel ve sezgisel üreten üst sezgisel yaklaşımlardır. Eldeki alt sezgisellerden yeni sezgiseller üreten ve bu sezgisellerin problemin çözümü için kullanıldığı üst sezgisellere sezgisel üreten üst sezgiseller denilmektedir. Mevcut problemin çözümü için eldeki alt sezgiselleri seçen ve seçilen alt sezgisellerin uygulandığı üst sezgisellere ise sezgisel seçen üst sezgiseller denir (Burke ve ark., 2010b). Bu tez çalışmasında tasarlanan alt sezgisellerden birini veya alt sezgisellerin bir sıralamasını kullanıp çözümü iyileştirmek amacıyla sezgisel seçen üst sezgisel yaklaşımlar kullanılmıştır. Sezgisel seçen üst sezgisel yaklaşımlar kullandıkları alt sezgisellere göre yapılandırılmalı ve pertürbatif olmak üzere ikiye ayrılırlar. Yapılandırılmalı sezgisellerde boş bir başlangıç çözümünden başlanır ve nihai çözüme ulaşıncaya kadar problem çözümü için gerekli adımlar birbiri ardına uygulanarak çözüm oluşturma süreci devam eder. Pertürbatif sezgisellerde ise tam bir çözüm üzerinde çalışılır, durdurma kriteri sağlanıncaya kadar alt sezgisellerden biri seçilip çözüme uygulanarak çözümün geliştirilmesi hedeflenir. Pertürbatif sezgisellerin her çevrimde tek bir aday çözüme uygulanmasına tek noktalı arama yapan pertürbatif üst sezgiseller denir. Tek noktalı arama yapan pertürbatif sezgiseller sezgisel seçim ve hareket kabul etme olarak adlandırılan bileşenleri içerirler. Sezgisel seçim adı üstünde alt sezgisellerden hangisinin seçileceğine karar veren bileşendir. Hareket kabul etme bileşeni ise seçilen alt sezgisel uygulandıktan sonra elde edilen sonucun kabul edilip edilmeyeceğine karar verir. Sezgisel seçen üst-sezgiseller eldeki alt seviyedeki sezgiselleri kontrol eder. Her adımda, bir alt sezgisel seçim yöntemine göre seçilir ve mevcut bireye uygulanarak yeni bir çözüm oluşturulur. Sezgisel seçim yöntemi seçim sırasında problemle ilgili bilgileri kullanmaz. Elde edilen yeni çözüm hareket kabul kriterine göre kabul edilip edilmeyeceği belirlenir. Bu işlemler sonlanma şartı sağlanıncaya kadar devam eder. Sonlanma şartı sağlanınca bulunan en iyi çözüm nihai çözüm olarak sunulur. Literatürde birçok sezgisel seçme ve hareket kabul yöntemleri mevcuttur (Kiraz, 2018).

Bu tez çalışmasının temel amacı, sınav çizelgeleme problemlerinin derinlemesine incelenmesi ve üst sezgisel yaklaşımlar ile sınav çizelgeleme problemlerinin çözülmesidir. Sınav çizelgeleme problemlerinin çözümü için birçok yöntem bulunmaktadır. Bu tez çalışmasında bu yöntemlerden biri olan üst sezgiseller ile sınav çizelgeleme problemlerinin çözülmesi amaçlanmıştır. Çalışma kapsamında kullanılan

sınav çizelgeleme problemleri Uluslararası Zaman Çizelgeleme Yarışması (International Timetabling Competition – ITC) tarafından 2007 yılındaki yarışmada sunulan problemlerdir (McCollum, 2007). ITC-2007 çizelgeleme problemleri içerisinde sınav çizelgeleme ve ders çizelgeleme olmak üzere iki kısım vardır. Çalışmada sınav çizelgeleme başlığı altındaki 5 veri seti kullanılmıştır. ITC-2007 sınav çizelgeleme problemlerinde katı ve yumuşak kısıtlar yer almaktadır. Bu problemlerin çözümünde önce katı kısıtları sağlayan kabul edilebilir çözümler elde edilmiştir. Daha sonra yumuşak kısıtların sağlanması ve çözümü daha kaliteli hale getirmek için üst sezgisel yaklaşımlara odaklanılmıştır. Çalışmada sezgisel seçen üst sezgisel yaklaşımlar kullanılmıştır. Sezgisel seçim yöntemlerinden ise tek noktalı arama yapan pertürbatif sezgiseller kullanan sezgisel seçim yaklaşımları kullanılmıştır. Bu yaklaşımlar sezgisel seçim ve hareket kabul bileşenleri içerirler. Çalışmada sezgisel seçim yöntemlerinden iki tanesi basit rastsal (simple random - SR) ve değiştirilmiş rastsal permütasyon (modified random permutation - MRP) yöntemleri kullanılmıştır. Hareket kabul yöntemlerinden ise sadece iyileşen (only improving – OI) yöntemi kullanılmıştır. Bu tez çalışmasında yumuşak kısıtları sağlayarak çözümün kalitesini daha da artırmak adına ceza matrislerine dayalı alt sezgiseller kullanılmış ve alt sezgiseller ile üst sezgisel yaklaşımı güçlendirmeye odaklanılmıştır.

Tezin ikinci bölümünde literatürde yer alan sınav çizelgeleme problemleri çözümü için yapılan çalışmalar farklı başlıklar altında sunulmuştur. Tezin üçüncü bölümünde sınav çizelgeleme problemleri, ITC-2007 sınav çizelgeleme problemleri ve üst sezgisel yaklaşımlar tanıtılmış, ITC-2007 problemleri çözümü için önerilen üst sezgisel yaklaşımlar sunulmuştur. Tezin dördüncü bölümünde üst sezgisel yaklaşım ile yapılan deneysel çalışmalardan elde edilen sonuçlar ayrıntılı bir şekilde verilmiş ve literatürde yer alan çalışmalar ile karşılaştırmalar yapılmıştır. Tezin beşinci ve son bölümünde ise elde edilen sonuçlardan yola çıkılarak yapılan çalışmayla ilgili genel bakış ve özet sunulmuştur. Bu konuyla ilgili çalışacak araştırmacılara önerilerde bulunulmuştur.

2. KAYNAK ARAŞTIRMASI

Sınav çizelgeleme belirli kısıtları göz önünde bulundurarak sınav takvimlerinin oluşturulması işlemidir. Sınav çizelgeleme problemleri NP-tam sınıfına ait optimizasyon problemlerindendir. Bu nedenle sınav çizelgeleme problemlerini çözmek için literatürde birçok farklı yöntemde epeyce çalışma bulunmaktadır. Bu bölümde sınav çizelgeleme problemleri üzerine yapılan çalışmalar çözüm yöntemlerine göre farklı başlıklarda sunulmuştur.

2.1. Graf Tabanlı Sıralı Teknikler

Welsh ve Powell 1967 yılında yaptıkları çalışmaları ile zaman çizelgeleme ve graf boyama arasında bir köprü kurarak çizelgeleme literatürüne önemli bir katkıda bulunmuşlardır. Bu çalışma zaman çizelgeleme problemlerinde graf sezgiselleri araştırmalarına öncü olmuştur (Welsh ve Powell, 1967).

Carter ve ark. 1996 yılında sundukları çalışmada beş farklı sıralama stratejisini gerçek ve rastgele üretilmiş sınav çizelgeleme problemleri üzerinde incelemişlerdir. Hiçbir stratejinin test edilen problemler üzerinde daha iyi performans göstermediği sonucuna ulaşmışlardır. Bu çalışmanın bir diğer önemli katkısı ise test için halen kullanılan 13 adet sınav çizelgeleme problemi sunmasıdır (Carter ve ark., 1996).

Corr ve ark. 2006 yılında yaptıkları çalışmada zaman çizelgeleme problemleri için bir sinir ağı modeli geliştirmişlerdir. Amaç, en zor sınavları çözümün erken aşamasında atamaktır. Sinir ağı üç graf sezgiseli kullanılarak eğitilmiştir. Böylece bu çalışma zaman çizelgeleme problemlerinin çözümünde sinir ağı tabanlı yöntemlerin uygulanabilir olduğunu göstermiştir (Corr ve ark., 2006).

Sabar ve ark. 2012 yılında yaptıkları çalışmada sınav çizelgeleme problemleri için yeni bir graf boyama üst sezgiseli önermişlerdir. Dört adet graf boyama sezgiselini hiyerarşik olarak birleştirip kullanmışlardır. Önerdikleri yaklaşımı Carter test problemleri ve ITC-2007 sınav çizelgeleme problemleri üzerinde test etmişlerdir. Önerdikleri yaklaşım karşılaştırdıkları diğer metodolojilere kıyasla daha iyi performans göstermiştir (Sabar ve ark., 2012).

Egwuche 2020 yılında yaptığı çalışmada graf boyama tekniği kullanarak eğitim kurumlarında kullanılabilecek uygun sınav çizelgeleri sunmayı amaçlamıştır. Geliştirilen sistem gerçek veriler üzerinde test edilmiştir. Sonuçta; yumuşak ve katı kısıtları göz

önünde bulundurarak eldeki kaynakları çakışma olmadan etkili bir şekilde tahsis edip uygun sınav çizelgeleri sunmuştur (Egwuche, 2020).

2.2. Kısıt Tabanlı Teknikler

David 1998 yılında yaptığı çalışmada kısıt tatmini tekniğini bir Fransız okulunda sınav çizelgeleme problemi üzerine uygulamıştır. Çalışmanın çözümü bu Fransız okulu tarafından kullanılmış ve çalışmanın genellikle bir saniyede çözüm ürettiği görülmüştür (David, 1997).

Reis ve Oliveira 1999 yılında yaptıkları çalışmada kısıt mantıksal programlamada farklı işlemler eklemek için Prolog tabanlı ECLIPSe üzerinde bir sınav çizelgeleme sistemi sunmuşlardır. Yaptıkları sistemi rastgele veriler ve büyük çapta gerçek dünya problemi olan Fernando Pessoa Üniversitesi sınav çizelgeleme problemleri üzerinde test edip, sistemin verimliliğini göstermişlerdir (Reis ve Oliveira, 1999).

Duong ve Lam 2004 yılında yaptıkları çalışmada sınav çizelgeleme problemleri çözümü için iki aşamalı bir çözüm yöntemi sunmuşlardır. İlk aşama kısıt programlama ikinci aşama ise benzetim tavlama aşamasıdır. Gerçek veriler üzerinde testleri yapılmıştır. Gerçek sınav çizelgeleme problemleri üzerinde kısıt programlama ve benzetim tavlamayı başarılı bir şekilde birleştirmeyi göstermişlerdir (Duong ve Lam, 2004).

Petrovic ve ark. 2004 yılında yaptıkları çalışmada sınav çizelgeleme problemleri için esnek kısıt tatmini değerlendirmesi yapmışlardır. Çalışma sonuçlarını gerçek dünya test problemleri üzerinde denemiş ve sonuçları tartışmışlardır (Petrovic ve ark., 2004).

June ve ark. 2019 yılında yaptıkları çalışmada sınav çizelgeleme problemleri için kısıt programlama ve benzetim tavlama olmak üzere iki algoritmanın uygulanmasını önermişlerdir. Kısıt programlamayı uygulanabilir bir çözüm üretmek için kullanmışlardır. Benzetim tavlamayı ise çözüm kalitesini artırmak için kullanmışlardır. Deneysel çalışmaları iki veri seti üzerinde gerçekleştirmişlerdir. Sonuçlarda önerdikleri algoritmanın başarısını göstermişlerdir (June ve ark., 2019).

2.3. Yerel Arama Tabanlı Teknikler

Yerel arama yöntemleri, bir çözümün komşuluğunda arama yaparak problemleri çözen genel teknikler ailesidir. Tabu arama, benzetim tavlama ve bunların varyantları yerel arama tabanlı tekniklere örnek olarak verilebilir (Qu ve ark., 2009).

Thompson ve Dowsland 1998 yılında yaptıkları çalışmada iki aşamalı bir yaklaşım geliştirmek için önemli bir çalışma yapmışlardır. İlk aşamada kabul edilebilir çözümler üretmişlerdir ve ikinci aşamada ise yumuşak kısıtlarla ilgili tavlama benzetimi ile çözümleri iyileştirmişlerdir (Thompson ve Dowsland, 1998).

Di Gaspero ve Schaerf tarafından 2000 yılında katı ve yumuşak kısıtların ihlalleriyle ilgilenen tabu arama tabanlı tekniklerin bir türü üzerine önemli bir araştırma yapmışlardır. Çalışmada kısıt ihlalleri için komşuluğun etkin seçiminin önerilen yaklaşımın önemli bir özelliği olduğu göstermişlerdir (Di Gaspero ve Schaerf, 2000).

Burke ve ark. 2003 yılında sundukları çalışmada en büyük dereceli graf renklendirme sezgisel yöntemi ile başlangıç çözümlerin optimize edildiği bir dizi sınav çizelgeleme probleminin davranışını karşılaştırmak için tavlama benzetimi meta-sezgiseli kullanmışlardır. Çalışmanın amacı sınav çizelgeleme problemleri arasında benzerlik ölçüsü geliştirmektir (Burke ve ark., 2003a).

Müller 2009 yılında yaptığı çalışmada ITC-2007 yarışmasında sınav çizelgeleme alanında birinci olduğu çözümün açıklamasını yapmıştır. Önerdiği yaklaşımda kısıt çözücü kütüphane kullanmıştır. Bu kütüphane yerel arama tabanlı algoritmalar için kısıtlamaya dayalı bir çerçeve içerir (Müller, 2009).

Abdullah ve ark. 2010 yılında yaptıkları çalışmada standart test problemleri için tabu arama tabanlı bir memetik yaklaşım uygulamışlardır. Yaklaşım tabu arama ve memetik algoritma kavramlarının melez kullanımını içermektedir. Etkili komşuluk seçerek çözüm kalitesinin arttığını göstermişlerdir. Sonuçlarda önerdikleri yaklaşımın en iyi sonuçlar verdiğini göstermişlerdir (Abdullah ve ark., 2010).

Gogos ve ark. 2012 yılında yaptıkları çalışmada sınav çizelgeleme problemlerini çözmek için çok aşamalı algoritmik bir yaklaşım sunmuşlardır. Geliştirilen yaklaşım en üst düzeyde GRASP (Açgözlü Rasgele Uyarlanabilir Arama Prosedürü - Greedy Randomized Adaptive Search Procedure) tarafından yönetilir ve çeşitli optimizasyon algoritmaları, yerel arama teknikleri, sezgisel ve meta-sezgisel yöntemler içerir. Deneysel çalışmalar kısmında geliştirilen yaklaşımı ITC-2007 sınav çizelgeleme problemleri üzerinde deneyip, sonuçları analiz edip sunmuşlardır (Gogos ve ark., 2012).

Pais ve Amaral 2012 yılında yaptıkları çalışmada sınav çizelgeleme problemi için bir tabu arama uygulaması sunmuşlardır. Çalışmanın amacı tabu aramadaki belleği bir karar uzman sistemi kullanarak otomatik olarak yönetmektir. Çalışmada tabu aramanın performansının iyileştiği gösterilmiştir (Pais ve Amaral, 2012).

Cheraitia ve Haddadi 2016 yılında sundukları çalışmada kapasiteli olmayan sınav çizelgeleme problemi üzerine odaklanmışlardır. Başlangıçta basit bir graf renklendirme sezgiseli kullanılarak uygulanabilir çözüm bulmuşlar ve daha sonra benzetim tavlama yöntemini çözümlerin iyileştirilmesi için kullanmışlardır. Önerilen yaklaşımı Toronto test problemleri üzerinde deneyerek iyi sonuçlar verdiğini göstermişlerdir (Cheraitia ve Haddadi, 2016).

2.4. Popülasyon Tabanlı Algoritmalar

2.4.1. Genetik Algoritmalar

Corne ve ark. 1994 yılında sundukları çalışmada genel eğitimsel zaman çizelgeleme problemlerinde genetik algoritmalar (GA) kullanımı üzerine kısa bir araştırma yapmış ve bazı konular ile gelecekteki beklentileri ele almışlardır (Corne ve ark., 1994).

Kalaycı 2008 yılında yaptığı çalışmada sınav çizelgeleme problemlerinde sınavların sınav dönemine yayılmasına odaklanmıştır. Çözüm için iki farklı genetik algoritma modeli önermiştir. Yapılan testlerin sonucunda ikinci modelin daha başarılı olduğunu göstermiştir (Kalaycı, 2008).

Arogundade ve ark. 2010 yılında sundukları çalışmada sınav çizelgeleme problemleri için kısıtlar hiyerarşisini kullanan genetik algoritma önermişlerdir. Ayrıca, sınavları sınav dönemi boyunca yaymaya çalışan yeni bir amaç fonksiyonu da önermişlerdir. Önerilen yaklaşımı bir üniversitenin sınav çizelgeleme verileri üzerinde test edip, sonuçları tartışmışlardır (Arogundade ve ark., 2010).

Altıntaş 2011 yılında yaptığı çalışmada çizelgeleme problemlerin tanımlanması ve çizelgeleme problemlerinin çözüm yöntemlerinin araştırılmasına odaklanmıştır. Çözüm bulmak için çalışmada sezgisel yöntemler, genetik algoritma, karınca kolonisi, tabu arama ve benzetim tavlama algoritmalarını ele almıştır (Altıntaş, 2011).

Innet 2013 yılında yaptığı çalışmada sınav çizelgeleme problemlerinin otomatik ayarlanması etkinliğini artırmak için uyarlanabilir bir genetik algoritma modeli

geliştirmiştir. Ayrıca çalışmada genetik elemanlar tasarlayıp, ceza maliyeti fonksiyonu önermiştir. Yapılan deneysel çalışmada geliştirilen GA modelinin bir sınav çizelgeleme probleminde iyi çalıştığını göstermiştir (Innet, 2013).

Jha 2014 yılında yaptığı çalışmada sınav çizelgeleme problemlerini çözmek için GA kullanarak sınav çizelgesi üretmeyi önermiştir. Önerilen yaklaşımı GA kullanan bir bilgisayar programı ile gerçek veriler üzerinde uygulamıştır (Jha, 2014).

Seyfi 2018 yılında yaptığı çalışmada sınav çizelgeleme problemleri çözümü için GA, parçacık sürü optimizasyonu (PSO) ve yapay arı kolonisi algoritmalarını kullanmıştır. Problem olarak Selçuk Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Bilgisayar Mühendisliği Bölümü'ne ait sınav çizelgeleme problemlerini ele almıştır. Elde edilen sonuçların problemin çözümünde kullanılabilir olduğunu göstermiştir (Seyfi, 2018).

Suvay 2019 yılında yaptığı çalışmada sınav çizelgeleme problemi için genetik algoritma tabanlı bir web uygulaması geliştirmiştir. Geliştirilen sistemi gerçek sınav çizelgeleme problemleri üzerinde test edip, sistemin problemleri kısa zamanda başarılı bir şekilde çözdüğünü göstermiştir (Suvay, 2019).

2.4.2. Memetik Algoritmalar

Burke ve ark. 1995 yılında yaptıkları çalışmada hafif ve güçlü mutasyon operatörlerinin sırasıyla tek sınavları ve sınav setlerini yeniden atamak için kullandığı bir memetik algoritma geliştirmişlerdir. Bu mutasyon operatörlerin hiçbirisi kendi başına çözüm kalitesi üzerinde önemli bir gelişme sağlamamıştır. Bu çalışmanın en önemli katkısı, Nottingham veri seti olarak adlandırılan yeni bir kıyaslama sınav çizelgeleme problemleri sunmasıdır (Burke ve ark., 1995).

Alkan ve Özcan 2003 yılında yaptıkları çalışmada çizelgeleme problemlerini çözmek amacıyla evrimsel algoritmalarda kullanılabilen çeşitli yeni operatörler sunmuşlardır. Çalışmanın testlerini gerçek dünya verilerinin küçük bir bölümünde yapmışlar ve sonuçların umut verici olduğunu göstermişlerdir (Alkan ve Ozcan, 2003).

Hung ve ark. 2005 yılında yaptıkları çalışmada üniversite sınav çizelgeleme problemleri için bir memetik algoritma önermişlerdir. Önerdikleri algoritmanın ön hazırlıklarını gerçek dünya problemleri üzerinde yapmışlar ve sonuçların umut verici olduğunu göstermişlerdir (Hung ve ark., 2005).

2.4.3. Parçacık Sürü Optimizasyonu

Montero ve ark. 2011 yılında yaptıkları çalışmada hem dinamikliği hem de sınav çizelgeleme problemlerini çözmek için bir PSO algoritması önermişlerdir. Yaklaşımın birkaç dakikada yüksek kaliteli çözümler ürettiğini göstermişlerdir (Montero ve ark., 2011).

Marie-Sainte 2017 yılında yaptığı çalışmada çizelgeleme problemleri alanında PSO algoritmasının yaygın olarak kullanılmadığını vurgulamıştır. Sınav çizelgeleme problemleri için PSO'ya dayalı yeni bir melez yaklaşım önermiştir. Önerilen yaklaşımın kabul edilebilir sonuçlar ürettiğini ve iyi bir istikrara sahip olduğunu göstermiştir (Marie-Sainte, 2017).

2.4.4. Diğer Algoritmalar

Azimi 2004 yılında yaptığı çalışmada sınav çizelgeleme problemlerinin çözülmesi için bir karınca kolonisi sistemi tasarlamıştır ve tasarladığı sistemi tavlama benzetimi, tabu arama ve GA ile karşılaştırmıştır. Sonuçlarda karınca kolonisi algoritması kullanılarak oluşturulan sistemin problemler üzerinde kıyaslanan diğer yöntemlere göre iyi performans sağladığını göstermiştir. Ayrıca bu çalışma tabu aramanın rastgele oluşturulan başlangıç çözümünü yüksek düzeyde iyileştirdiğini göstermiştir (Azimi, 2004).

Malim ve ark. 2006 yılında yaptığı çalışmada üniversite çizelgeleme problemleri için üç farklı yapay bağışıklık sistemi algoritması önermişlerdir. Çalışmanın temel amacı bu algoritmaların üniversite çizelgeleme problemlerine uyarlanabileceğini göstermektir. Deneysel sonuçlarda, tüm algoritmaların etkili bir şekilde kaliteli çizelgeler ürettiğini göstermişlerdir (Malim ve ark., 2006).

Sabar ve ark. 2009 yılında yaptıkları çalışmada sınav çizelgeleme problemleri için bal arısı çiftleşme optimizasyonu algoritmasını önermişlerdir. Önerilen yaklaşım Carter test problemleri üzerinde test edilmiştir. Sonuçlarda bal arısı çiftleşme optimizasyonu algoritmasının sınav çizelgeleme problemlerini çözmede etkili olduğunu göstermişlerdir (Sabar ve ark., 2009).

Al-Betar ve ark. 2010 yılında yaptıkları çalışmada kapasitesiz sınav çizelgeleme problemleri için temel meta-sezgisel yöntemlerin bileşenlerinin birleştirilmesi üzerine araştırma yapmışlardır. Bu bileşenlerin farklı kombinasyonlarını göstermek için harmoni

arama algoritması kullanmışlardır. Sonuçlarda tüm bileşenlerin bir arada olduğu yaklaşımın en iyi çözümler verdiğini göstermişlerdir (Al-Betar ve ark., 2010).

Alzaqebah ve Abdullah 2011 yılında yaptıkları çalışmada sınav çizelgeleme problemleri için yapay arı kolonisi algoritması önermişlerdir. Önerilen algoritmanın literatürde yaygın olarak kullanılan iki problem üzerinde test edildiğinde umut verici sonuçlar verdiğini göstermişlerdir (Alzaqebah ve Abdullah, 2011b).

Alzaqebah ve Abdullah 2011 yılında yaptıkları bir diğer çalışmada sınav çizelgeleme problemleri için bozucu seçim stratejisi ile melezlenmiş yapay arı kolonisi algoritması önermişlerdir. Deneysel sonuçlarda önerilen bu melez yapay arı kolonisi algoritmasının tek başına yapay arı kolonisi algoritmasından daha iyi performans gösterdiğini sunmuşlardır (Alzaqebah ve Abdullah, 2011a).

Turabieh ve Abdullah 2011 yılında yaptıkları çalışmada sınav çizelgeleme problemlerini etkili bir şekilde çözmek için büyük tufan algoritmasına etkili sezgiseller dahil edip hibrit bir yaklaşım sunmuşlardır. Eklenen bu sezgisel bileşenler hibrit yaklaşımın etkinliğini daha da artırmıştır. Önerilen yaklaşımı iki farklı sınav çizelgeleme problemleri üzerinde denemişlerdir. Elde edilen tüm sonuçlarda ve analizlerde bu hibrit yaklaşımın literatürdeki mevcut yaklaşımlarla karşılaştırıldığında etkili olduğunu göstermişlerdir (Turabieh ve Abdullah, 2011).

Gürel 2012 yılında yaptığı çalışmada sınav çizelgeleme problemleri için üç farklı algoritma geliştirmiş ve bu algoritmaların ürettiği sonuçları karşılaştırmıştır. Ayrıca algoritmaların buldukları çözümlerin kolayca değiştirilebildiği bir ara yüz tasarlamıştır (Gürel, 2012).

Yıldırım 2014 yılında yaptığı çalışmada sınav çizelgeleme problemleri için öğretme-öğrenme tabanlı optimizasyon algoritmasının bir yöntem olarak sunulup sunulamayacağını araştırmıştır. Önerilen algoritmayı gerçek dünya problemleri olan Carter test problemleri üzerinde test etmiştir ve sonuçlarda öğretme-öğrenme tabanlı optimizasyon algoritmasının sınav çizelgeleme problemleri için uygulanabilir bir yöntem olduğunu göstermiştir (Yıldırım, 2014).

Kahar ve Kendall 2015 yılında yaptıkları çalışmada bir gerçek dünya sınav çizelgeleme problemi için değiştirilmiş ve genişletilmiş büyük tufan algoritması önermişlerdir. Çalışmada önerilen algoritmanın daha önceki çalışmalardan ve orijinal büyük tufan algoritmasından daha kaliteli sonuçlar ürettiğini göstermişlerdir (Mohmad Kahar ve Kendall, 2015).

2.5. Üst Sezgiseller

Burke ve ark. 2005 yılında yaptıkları çalışmada iki graf renklendirme sezgiselini birleştirmiş ve bunları sınav çizelgeleme problemleri için üst sezgisel olarak kullanmışlardır. Ayrıca çalışmada tabu arama üst sezgiseli de geliştirmişlerdir. Tabu arama tabanlı üst sezgiseli ve melez yaklaşımları rastgele ve gerçek dünya sınav çizelgeleme problemleri üzerinde test etmişlerdir. Deneysel sonuçlarda, üst sezgisel yaklaşımların güncel yaklaşımlarla karşılaştırılabilir olduğunu göstermişlerdir (Burke ve ark., 2005).

Kendall ve Hussin 2005 yılında yaptıkları çalışmada hareket stratejileri ve yapılandırıcı graf sezgisellerinin alt seviye sezgiseller olarak kullanıldığı bir tabu arama üst sezgisel üzerine çalışmışlardır. Önerilen yaklaşımı MARA Teknoloji üniversitesi sınav çizelgeleme problemlerinde deneyip, iyi sonuçlar elde edildiğini göstermişlerdir (Kendall ve Hussin, 2004).

Bilgin ve ark. 2006 yılında yaptıkları çalışmada üst sezgisel yaklaşımın bileşenleri olan sezgisel seçim ve hareket kabul yöntemleri derinlemesine incelenmiştir. Yedi sezgisel seçim yöntemin ve beş kabul kriterinin ikili kombinasyonları test problemleri üzerinde test etmişlerdir. Bu çalışma sezgisel seçim ve kabul kriterlerinin ayrıntılı bir şekilde tanıtılması yönünden önemlidir (Bilgin ve ark., 2006).

Burke ve ark. 2008 yılında yaptıkları çalışmada sezgisel seçim için öğrenme temelli bir üst sezgisel yaklaşım sunmuşlardır. Sunulan takviyeli öğrenme ve büyük tufan algoritması tabanlı üst sezgiseli Toronto veri setinden rastgele seçilen problemler üzerinde deneyip, literatürdeki diğer üst sezgiseller ile karşılaştırmışlardır (Burke ve ark., 2008).

Özcan ve ark. 2008 yılında yaptıkları çalışmada üst sezgiseller üzerine kapsamlı bir analiz yapmışlardır. En iyi yöntemi, on dört test fonksiyonu üzerinde genetik ve memetik algoritmalara karşı test etmişlerdir. Bunun yanı sıra, problem bağımsızlığı kavramı için yeni üst sezgisel çerçeveleri de tanıtmışlardır. Bu çalışma üst sezgiseller alanında kapsamlı bir çalışma olmasından dolayı önemlidir (Özcan ve ark., 2008).

Bader-El-Den ve ark. 2009 yılında yaptıkları çalışmada çizelgeleme problemleri için yapıcı sezgiseller geliştirmek için gramer tabanlı bir genetik programlama üst sezgisel yaklaşımı sunmuşlardır. Çalışmada genetik programlamayı, problemi çözerken sezgisel yöntemler geliştiren çevrimiçi bir öğrenme yöntemi olarak kullanmışlardır. Yaklaşımı, sınav çizelgeleme alanında en yaygın kullanılan problemlerden bazıları

üzerinde test edip ve literatürdeki diğer yaklaşımlarla karşılaştırılmışlardır. Sonuçlarda, çerçevenin diğer üst sezgisel yaklaşımlarla rekabetçi olduğunu ve birçok durumda diğer üst sezgisel yaklaşımlardan daha iyi performans gösterdiğini göstermişlerdir (Bader-El-Den ve ark., 2009).

Özcan ve ark. 2009 yılında yaptıkları çalışmada geç kabul stratejisi ile birleştirilmiş farklı sezgisel seçim yöntemleri kullanan bir dizi üst sezgiseli sınav çizelgeleme problemleri üzerinde incelemişlerdir. Sonuçlarda geç kabul stratejisinin performansını göstermişlerdir (Ozcan ve ark., 2009).

Qu ve Burke 2009 yılında yaptıkları çalışmada alt sezgiseller olarak graf boyama sezgisellerinin kullanıldığı bir birleşik graf temelli üst sezgisel yaklaşım sunmuşlardır. Ayrıca çalışmada graf temelli üst sezgisel yaklaşımın yerel arama metotlarının melezlenmesini de araştırmışlardır. Önerilen birleşik yaklaşımın hem ders hem sınav çizelgeleme problemlerinde rekabetçi sonuçlar ürettiğini göstermişlerdir (Qu ve Burke, 2009).

Burke ve ark. 2010 yılında yaptıkları çalışmada önceki üst sezgisel kategorilerine genel bir bakış sunup, bu alanda yapılan çalışmaları kapsayan bir sınıflandırma ve tanımlama yapmışlardır. Çalışmanın amacı, mevcut tekniklerin ana özelliklerini açıklamak ve üst sezgisel alanında araştırma yapacak araştırmacılar için yeni teknikler önermektir (Burke ve ark., 2010b).

Burke ve ark. 2010 yılında yaptıkları çalışmada oluşturulmuş çizelgeleri geliştirmek için alt sezgiselleri hibritleyen bir üst sezgisel yaklaşım sunmuşlardır. Kempe zinciri sezgiseli ile en büyük derece yöntemlerini birleştiren yaklaşımlar denemişlerdir. Önerdikleri bu üst sezgisel yaklaşımları iki farklı veri kümesi üzerinde test etmişlerdir ve sonuçların en son teknoloji yaklaşımlarla rekabet ettiğini göstermişlerdir (Burke ve ark., 2010c).

Pillay 2010 yılında yaptığı çalışmada oldukça kısıtlı sınav çizelgeleme problemleri içeren ITC-2007 veri seti üzerine üst sezgisel yaklaşıma odaklanmıştır. Üç farklı kromozom temsili kullanarak evrimsel algoritma tabanlı üst sezgisel önermiştir. Sonuçlarda önerilen yöntemin aynı problem setine uygulanan diğer metodolojilerle karşılaştırılabilir olduğunu göstermiştir (Pillay, 2010).

Sin 2011 yılında yaptığı çalışmada sezgisel seçim kısmında takviyeli öğrenme, hareket kabul kısmında ise genişletilmiş büyük tufan algoritması kullanan bir üst sezgisel önermiştir. Ayrıca her bir adımda kabul edilen çözümleri depolamak için üst sezgiselde bir bellek kullanmıştır. Önerilen takviyeli öğrenme - genişletilmiş büyük tufan tabanlı üst

sezgiseli, bir dizi gerçek dünya sınav çizelgeleme probleminde test edip, deney sonuçlarında önerilen yaklaşımın en iyi sonuçlar verdiğini göstermiştir (Sin, 2011).

Burke ve ark. 2012 yılında yaptıkları çalışmada kapasiteli sınav çizelgeleme problemleri için Monte Carlo temelli üst sezgisellerin performanslarını karşılaştıran geniş bir deneysel analiz sunmuşlardır. Bir öğrenme sezgisel seçim metodu ve hareket kabul olarak benzetim tavlama metodu kullanmışlardır. Yapılan deneysel çalışmalarda daha önce önerdikleri sezgisel seçim aşamasında seçim fonksiyonu ve hareket kabul aşamasında benzetim tavlama metodu kullanan yaklaşımın daha iyi sonuçlar verdiğini göstermişlerdir. (Burke ve ark., 2012).

Demeester ve ark. 2012 yılında yaptıkları çalışmada sınav çizelgeleme problemi için turnuva temelli üst sezgisellerin performansı araştırılmışlardır. Sonuçları farklı gerçek dünya problemleri üzerinde test etmişlerdir. Testlerde önerilen yaklaşımın bazı problemlerde en iyi sonuçlar ürettiğini ve bazı problemlerde ise rekabetçi olduğunu göstermişlerdir (Demeester ve ark., 2012).

Pillay 2012 yılında yaptığı çalışmada eğitim (ders ve sınav) çizelgeleme problemlerini çözmek için üst sezgisel kullanımın genel bir değerlendirmesini sunmuştur. Ayrıca bu çalışmada, belirli bir çizelgeleme sorunu yerine eğitim çizelgeleme alanı üzerinde geliştirilmiş bir çözüm sağlamak için üst sezgiseller kullanmaya odaklanan gelecekteki araştırma yöntemlerini önermiştir (Pillay, 2012).

Sin ve Kham 2012 yılında yaptıkları çalışmada oldukça kısıtlı sınav çizelgeleme problemleri çözmek için büyük tufan ve onun varyantlarına dayalı üst sezgiseller önermişlerdir. Çalışmanın ana katkısı, üst sezgiselde büyük tufan ve onun varyantlarının hareket kabul yöntemleri olarak kullanıp takviyeli öğrenme ile birleştirilmesidir. Çalışmada bu üst sezgisel yöntemleri sınav çizelgeleme problemleri üzerinde test edip en iyi sonuçları ve karşılaştırma analizini rapor etmişlerdir (Sin ve Kham, 2012).

Anwar ve ark. 2013 yılında yaptıkları çalışmada sınav çizelgeleme problemleri için harmoni arama temelli bir üst sezgisel yaklaşım önermişlerdir. Alt sezgiseller olarak hareket ve takas işlemleri tasarlamışlardır. Önerilen yaklaşımı ITC-2007 veri seti üzerinde test etmişlerdir. Sonuçların rekabetçi olduğunu göstermişlerdir (Anwar ve ark., 2013). Aynı yazarların 2014 yılında yaptıkları çalışmada bir önceki çalışmalarında kullandıkları harmoni arama temelli üst sezgisel yaklaşıma yeni alt sezgiseller ekleyip önerilen yaklaşımı güçlendirmişlerdir. Yeni yaklaşım yine ITC-2007 veri seti üzerinde test etmişlerdir. Yeni yaklaşımın bir önceki çalışmada ki sonuçlardan daha iyi olduğunu ve literatürdeki metotlarla rekabetçi olduğunu göstermişlerdir (Anwar ve ark., 2014).

Lei ve ark. 2015 yılında yaptıkları çalışmada sınav çizelgeleme problemlerini çözmek için üst sezgisel yöntemi evrimsel strateji ile birleştirmeyi amaçlamışlardır. Çalışmada dört graf renklendirme sezgiseli kullanmışlardır. Ayrıca çalışmada, çözüm alanındaki uygulanabilir çözümleri optimize etmek için iki yerel arama yöntemi birleştirmişlerdir. Deneysel sonuçlarda, önerilen yaklaşımın rekabetçi sonuçlar elde ettiğini ve bazı kıyaslama problemlerinde karşılaştırılan yaklaşımlardan daha iyi performans gösterdiğini göstermişlerdir (Lei ve ark., 2015).

Muklason ve ark. 2018 yılında yaptıkları çalışmada otomatik sınav çizelgesi üretmek için yeni bir hibrit algoritma önermişlerdir. Bu algoritma başlangıç çözümlerini üretmek için açgözlü algoritma ve hareket kabul yöntemi olarak geç kabul stratejisi kullanan bir üst sezgiseldir. Önerilen yaklaşım farklı senaryolarda test edilmiştir. Yaklaşımın optimum çözümler bulduğunu göstermişlerdir (Muklason ve ark., 2018).

3. MATERYAL VE YÖNTEM

3.1. Çizelgeleme Problemleri

Çizelgeleme, eldeki sınırlı kaynakları istenen kriterlere göre tahsis edilmesidir. Bu süreç bir veya daha fazla kısıtın sağlanmasını, optimizasyonu amaçlayan bir karar alma sürecidir (Pinedo, 2002). Çizelgeleme, çizelgesi yapılacak sistemin kaynaklarının birçok işlere, sorumluluklara veya faaliyetlere belirli bir zaman temelinde atanması olarak da tanımlanabilir. Çizelgelemede amaç eldeki kaynakların verimli bir şekilde kullanılması ile gerekli kısıtların sağlanması ve istenen hedeflere ulaşmaktır (Sabuncuoğlu, 1998).

Çizelgeleme problemleri, yapılması gereken bir dizi görev ve bu görevlerin yerine getirilmesinde işe yarayacak uygun kaynakları içerirler. Bu görev ve kaynaklar iki temel girdidir. Bu girdilerin özellikleri iyi belirlenmeli ve alacakları değerler elden geldiğince kesin ve hatasız olarak hesaplanmalıdır. Ancak bu işlemler yapıldığı zaman uygun, hatasız, istekleri sağlayan zaman planları üretilebilir. Temel girdilerden biri olan kaynaklar belirlendiğinde çizelgeleme probleminin çerçevesi kesin bir şekilde çizilmiş olmaktadır. Buna ek olarak diğer temel girdi olan görevler; kaynak gereksinimleri, süreleri, sağlanması gereken kısıtları, başlama ve bitiş zamanları gibi bilgiler cinsinden açıklanır (Özkazanç, 1999).

Çizelgeleme problemleri birçok alanda karışımıza çıkmaktadır. Bu nedendir ki 20. yüzyılın başlarından günümüze kadar literatürde çok çalışılan konulardan biri olmuştur. Çizelgeleme problemleri karmaşık ve çözülmesi zor problemlerdendir. Literatürde bu problemlerin üzerinde çalışılmasının yanı sıra bu problemlerin karmaşıklığını tespit etmek için de birçok çalışma yapıldığını görmek mümkündür. Karmaşıklık tespiti üzerine yapılan çalışmalar çizelgeleme problemlerini NP, NP-tam ve NP-zor olarak kategorilere ayırmışlardır. Çizelgeleme problemleri üzerine yapılan ilk çalışmalarda basit modeller tasarlanarak çözüm üretilmeye çalışılmıştır. Bu problemlerin bu karmaşıklık kategorilerine girmesinden dolayı zaman ilerledikçe araştırmacılar probleme özgü sezgiseller, meta-sezgisel, üst sezgisel gibi metotlar kullanmaya başlamışlardır. Yapılan çalışmalarda maksimum verim, kısıtların olduğunca az ihlal edilmesi, çakışmaların minimum hatta hiç olmaması amaçlanmıştır (Gürel, 2012; Seyfi, 2018).

Çizelgeleme problemleri çözümünde aşağıdaki gibi bir yol izlenmelidir (Biroğul, 2005):

1. Çözülecek problemin kavranması
2. Çözülecek problemin tanımlanması
3. Çözülecek problemin literatürde yapılmış çalışmalarla karşılaştırılması ve aynı ve ayrı yönlerinin belirlenmesi
4. Çözülecek problemin ne kadar maliyet, zaman ve zahmet alacağını belirlenmesi
5. Bir önceki adımda bulunan etmenlere göre problem için uygun çözüm metodunun araştırılıp, bulunması
6. Problemin çözülmesi
7. Elde edilen sonuçların ve çözümün incelenmesi

Çizelgeleme problemi çözümü için uygulanacak yukarıdaki adımlardan sonra bulunan çözümün tatmin edici olup olmadığının karar verilmelidir. Eğer bulunan çözüm yetersiz kalıyorsa 5., 6., 7. adımlar tatmin edici, uygulanabilir bir çözüm bulunana kadar tekrar yapılmalıdır (Biroğul, 2005).

Bir çizelgeleme problemine çözüm bulurken temel amaçlar aşağıdaki gibi olmalıdır (Gürel, 2012):

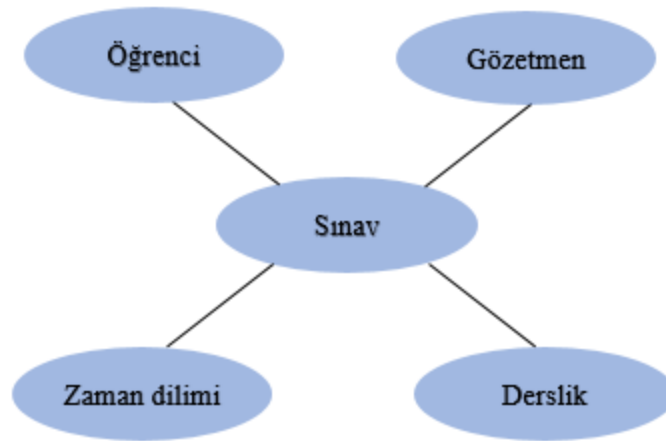
- Eldeki kaynakların en doğru ve verimli şekilde kullanılması
- Zamanın en verimli şekilde kullanılması
- Sağlanması gereken kısıtların belirlenmesi ve bu kısıtların olabildiğince az ihlal edilerek yerine getirilmesi

Bir çizelgelemenin başarılı olması için kapasite, yeterlilik, kısıtlar, gereksinimler, ölçüm standartları gibi hususların göz önünde bulundurulması gerekir (Altıntaş, 2011).

Çizelgeleme birçok sektörde bir problem olarak yer alır. Eğitim sektöründe; sınav çizelgeleme, ders programı çizelgeleme, sınav-gözetmen çizelgeleme, sağlık sektöründe; hemşire-doktor nöbet çizelgeleme, ulaşım sektöründe; sefer, güzergâh, saat çizelgeleme örnek olarak verilebilir (Gürel, 2012). Eğitim sektöründeki sınav çizelgeleme problemleri üniversite sınav çizelgeleme problemi olarak alt başlık altında incelenmektedir. Yukarıda da bahsedildiği gibi (üniversite) sınav çizelgeleme üzerine en çok çalışılan konulardan biridir. Bu çalışmada da üniversite sınav çizelgeleme problemleri için çözüm bulmaya odaklanılmıştır.

3.2. Sınav Çizelgeleme Problemleri

Çizelgeleme problemleri yukarıda belirtildiği gibi birçok alanda karşımıza çıkmaktadır. Bu problemler arasında eğitim sektöründeki sınav çizelgeleme problemleri en popüler ve en çok çalışılan problemlerden biridir. Bu problemler özellikle üniversitelerde her sınav döneminde karşılaşılan ve çözülmesi güç olan problemlerdir. Çoğu üniversitede bu problemlerin çözümü el ile yapılmaktadır ve epeyce insan gücü ve zaman gerektirmektedir (ACAR ve ŞEVKLİ, 2013). Sınav çizelgeleme yerine getirilmesi gereken kısıtları göz önünde bulundurarak bir dizi sınavı, bir dizi zaman dilimi ve bir dizi dersliğe planlamaktır. Şekil 3.1.'de gösterildiği gibi sınav çizelgeleme problemlerinde sınav, öğrenci, zaman dilimi, derslik ve gözetmen birbirleriyle ilişkilidir. Sağlanması gereken çeşitli kısıtlamalara uygun olarak sınırlı kaynaklarda çizelgelenmesi gereken çok sayıda sınav olduğunda problem daha da zorlaşır (Qu ve ark., 2009). Bir başka şekilde tanımlı yapılırsa sınav çizelgeleme üniversite veya çizelgesi yapılacak kurum tarafından belirlenen kısıtlar dikkate alınarak elle ya da bilgisayar yardımıyla sınav takviminin oluşturulmasıdır. Sınav çizelgeleme problemleri aynı zamanda ayırık, çok amaçlı ve kombinatoriyel optimizasyon problemleri olarak kabul edilmektedir. Bu nedendir ki birçok çalışmada ana tema olmuştur (Ahandani ve ark., 2012; Çelikbilek, 2016).



Şekil 3.1. Sınav çizelgeleme elemanları arasındaki ilişki (Jha, 2014)

Sınav çizelgeleme problemleri için literatürde iki çeşit kısıt tanımlanmıştır. Bunlar katı kısıtlar ve yumuşak kısıtlardır:

Katı Kısıtlar: Sınav çizelgesi oluşturulurken yerine getirilmesi zorunlu olan kısıtlardır. Bu kısıtlar kesinlikle ihlal edilemezler. Katı kısıtlar, çizelgesi yapılacak

üniversiteden üniversiteye veya kurumdan kuruma sınav kurallarına, kaynaklara, gereksinimlere göre farklılık gösterebilmektedir. Katı kısıtların amacı tüm öğrencilerin sınavlarına girmesinin sağlanması ve sınavların kurallara uygun bir şekilde yapılmasıdır.

Yumuşak Kısıtlar: Sınav çizelgesi oluştururken yerine getirilmesi istenilen ama yerine getirilmesi zorunlu olmayan kısıtlardır. Yumuşak kısıtlar ihlal edilebilir. Bu kısıtların amacı üniversitedeki veya kurumdaki kişilere (öğrenci, gözetmen, öğretim üyesi, yönetim vb.) daha uygun çizelgeler sunmaktır. Bu kısıtların sağlanması ile çözümün kalitesi doğru orantılıdır. Ne kadar yumuşak kısıt sağlanırsa o kadar kaliteli çizelgeler üretilir. Her bir üniversitenin veya kurumun yumuşak kısıtları değişiklik göstermektedir ve tüm bu yumuşak kısıtların sağlanması çok zordur, hatta imkansızdır denilebilir (Çelikkalek, 2016).

Tüm katı kısıtları sağlayan çözüme uygulanabilir bir çözüm denir. Yumuşak kısıtlar ise çözümün kalitesini ölçmek için kullanılır. Sınav çizelgeleme problemlerinde temel amaç, tüm katı kısıtları sağlayan ve yumuşak kısıt ihlallerini en aza indiren bir sınav çizelgesi çözümü bulmaktır (Qu ve ark., 2009). Üniversite sınav çizelgeleme problemi, bir fakülte için düşünüldüğünde, fakültedeki her bölümün kendine özgü kısıtları, bölümlerin ortak kısıtları, ortak derslik kısıtları, zaman dilimi kısıtları gibi tüm bu kısıtlar bir araya geldiğinde problemin çözümü daha da zorlaşmaktadır. Sadece katı kısıtlar sağlandığında problemin çözümü kolaylaşmakta ama tatmin edici çizelgeler üretilmemektedir. Katı kısıtların yerine getirilmesi ile sadece her öğrencinin girmekle yükümlü olduğu sınavlara girmesini sağlanmaktadır. Öğrenci lehine hiçbir durum göz önünde bulundurulmamaktadır. Bu durum da beklentiyi karşılayamamaktadır. Öğrencilerin sınavlara çalışması için sınav aralarında yeterli zamanın olmaması, sınavları arasında boşluk olamaması veya sınavların sınav dönemi boyunca yayılmaması belli günlerde birikmesi sorunu ile karşılaşlabilmektedir. Bu gibi sorunların olmaması için olabildiğince yumuşak kısıtların yerine getirilmesi gerekir (Kalaycı, 2008). Literatürde yer alan çizelgeleme problemlerinde karşılaşılan, yaygın olarak kullanılan bazı katı ve yumuşak kısıtlar aşağıda örnek olarak verilmiştir.

Katı kısıtlar;

- Bir öğrencinin gireceği sınavlar aynı zaman dilimine (periyot) atanmamalıdır.
- Bir dersliğe yerleştirilen sınavın kapasitesi dersliğin kapasitesini aşmamalıdır.

- Bir zaman dilimine atanan sınavın süresi atandığı zaman dilimin süresini aşmamalıdır.
- Bazı sınavlar belirli bir derslikte yapılmalıdır.
- Bazı sınavlar belirli bir zaman diliminde yapılmalıdır.

Yumuşak kısıtlar;

- Bir öğrencinin arka arkaya zaman dilimlerinde sınavı olmamalıdır.
- Bir öğrencinin aynı günde birden fazla sınavı olmamalıdır.
- Öğrencilerin sınavları olabildiğince sınav dönemi boyunca yayılmalıdır.
- Kapasitesi büyük olan sınavlar sınav döneminin başlarında yapılmalıdır.
- Aynı dersliğe atanan birden fazla sınav varsa bu sınavların sürelerinin aynı olması gerekir.
- Bazı dersliklere sınav atanması istenmeyebilir.
- Bazı zaman dilimlerine sınav atanması istenmeyebilir.

Sınav çizelgeleme problemlerinin güç, zahmetli ve zaman gerektiren olması, sonuçlarının çok fazla muhatapı olmasından dolayıdır. Romero 1982 yılında yaptığı çalışmasında bir sınav çizelgesinin muhataplarını üç gruba ayırmıştır. Bunlar; öğretim alanları, öğrenciler ve yönetim kadrosudur. Üretilen zaman çizelgesi bu üç gruptakilerin hepsinin isteklerini, gereksinimlerini yerine getirdiği zaman iyi bir çizelge olmaktadır. Çizelgeleme problemi çözülürken bu amaçlar göz önünde bulundurulduğunda problemin çok fazla kısıtı ortaya çıkar hatta bu kısıtlar birbirleriyle çelişerek problemi daha da zorlaştırırlar. Bu problemleri çözerken önce katı kısıtları sağlayıp daha sonra yumuşak kısıt ihlallerini azaltmaya odaklanmak gerekir (Prida Romero, 1982; Yıldırım, 2014).

Sınav çizelgeleme problemleri kapasiteli ve kapasitesiz olarak gruplanabilir. Kapasiteli sınav çizelgeleme problemlerinde bir dersliğe atanan sınavların toplam kapasitesi o dersliğin kapasitesini aşmaması gerekir. Hem atama yapılacak dersliğin alacağı toplam öğrenci sayısı hem de o dersliğe atanacak sınavların toplam öğrenci sayısı göz önünde bulundurulur. Kapasiteli sınav çizelgeleme problemlerinde bu durum katı kısıt olarak kabul edilir. Kapasitesiz sınav çizelgeleme probleminde ise ne dersliğin kapasitesi ne de sınavların kapasitesi göz önünde bulundurulur (Pillay ve Banzhaf, 2009).

Sınav çizelgeleme problemleri literatürde iki farklı şekilde ele alınmaktadır. Bunlardan ilki ve üzerine en çok çalışılan problemler olan; sadece sınavların belli zaman dilimi, dersliklere yerleştirilmesi ve sınav takviminin üretilmesi işlemlerini içeren sınav çizelgeleme problemleridir. İkincisi ise sınav çizelgesinde yer alan sınavların

yapılmasında görevli olan gözetmenlerin belirlenmesi işlemlerini içeren sınav çizelgeleme problemleridir (Çelikkalek, 2016).

3.3. ITC-2007 Sınav Çizelgeleme Problemleri

Literatürde birçok sınav çizelgeleme problemleri yer almaktadır. Carter sınav çizelgeleme problemleri, Toronto sınav çizelgeleme problemleri ve ITC-2007 sınav çizelgeleme problemleri bunlara örnek olarak verilebilir. Bu çalışmada ITC-2007 sınav çizelgeleme problemleri kullanılmış ve bu başlıkta ayrıntılı bir şekilde tanıtılmıştır.

ITC-2007 sınav çizelgeleme problemleri 2. Uluslararası Zaman Çizelgeleme Yarışması tarafından sağlanan gerçek dünya çizelgeleme problemleridir. İsmi bu international timetabling competition baş harflerinden ve yarışmanın yapıldığı yıldan almaktadır. ITC2007 problemleri üç bölümden oluşmaktadır; bunlardan biri sınav çizelgeleme problemleri diğer ikisi ise ders çizelgeleme problemleridir. 2002 yılında Birinci Uluslararası Zaman Çizelgesi Yarışması'nın başarısına dayanarak, araştırmacılara rekabetçi bir alanda ileri teknolojiler geliştirmeyi ve denemeyi teşvik etmek amacıyla ikinci yarışma (ITC2007) problemleri sunulmuştur. Ayrıca, 'gerçek dünya' bakış açısına dayalı eğitim kurumlarında karşılaşılan çizelgeleme problemlerinin çeşitli formlarını sağlayarak araştırma alanına daha fazla ilgi göstermeyi amaçlamaktadır. Çizelgeleme problemlerinin pratik örneklerini çözme gücüne sahip metotların üretimini teşvik etmek amacıyla 'gerçek dünya' senaryolarına özellikle vurgu yapılmaktadır. Bu nedenle yarışma, bu alandaki araştırma ve uygulama arasındaki boşluğu kapatmada önemli bir rol oynamaktadır. (McCollum ve ark., 2007).

ITC-2007 sınav çizelgeleme problemleri kapasiteli sınav çizelgeleme problemleridir. Yani sınavların yapılacağı dersliklerin belli bir kapasitesi vardır ve bu kapasiteler dikkate alınır. ITC-2007 problem modeli “post enrollment” olarak tanımlanabilir. Yani, ilişkili sınavları olan belirli derslere kaydolan öğrencilerin bu sınavlara kayıtlı oldukları veya bu sınavlara girdikleri kabul edilir. Bu model pratik açıdan en yaygın olanıdır ve aynı zamanda akademik literatürde en çok görülen modeldir. Yarışmanın sınav çizelgeleme bölümü, veri, kısıtlamalar ve değerlendirme açısından problemin daha 'gerçek' bir modelini sunarak literatüre önemli ölçüde katkıda bulunmuştur. Bu yarışmada kullanılan tüm veri kümeleri belirli kurumlardan alınmış ve yarışmada kullanılmak amacıyla anonimleştirilmiştir. ITC-2007 sınav çizelgeleme problemlerinde 12 veri kümesi sunulmuştur. Yarışma bittikten sonrada 12 veri kümesinin

tamamı herkesin erişebileceği biçimde paylaşılmıştır. ITC-2007 sınav çizelgeleme probleminde ana problem, sınavların belirli bir sınav oturumunda bir dizi periyoda ayrılmasını ve katı kısıtlamaları sağlamayı içerir. Diğer sınav çizelgeleme problemleri gibi, uygulanabilir bir çözüm, tüm katı kısıtların sağlandığı çözümdür. Çözümün kalitesi ise yumuşak kısıtları ne kadar sağladığı ile ölçülür (McCollum ve ark., 2007).

ITC-2007 sınav çizelgeleme problemlerini tanımlamaya geçmeden önce sınav çizelgeleme problemlerinde kullanılan ve bundan sonraki kısımlarda da çok kullanılacak olan belli başlı terimlerin tanımlarını vermede fayda vardır:

Sınav dönemi: Sınavların yapılacağı belirli bir zaman dilimidir. Mesela; sınav dönemi uzunluğu iki hafta ise, tüm sınavlar o iki haftada yapılmak zorundadır.

Sınav ve sınav kapasitesi: Bir öğrencinin aldığı bir dersten dönem arasında veya dönem sonunda öğrencinin bilgisinin ölçülmesi için yapılan etkinliklere sınav denir. Bir sınava girecek tüm öğrencilerin sayısı ise o sınavın kapasitesini verir. Problemde toplam sınav sayısı ve o sınavı alan öğrencilerin numaraları verilmektedir.

Periyot: Bir sınav dönemi boyunca sınavların yapılacağı küçük zaman dilimleridir. Mesela; sınav dönemi 10 gün ve her günde 2 sınav yapılacaksa bu problemde toplam periyot sayısı 20 ve günlük 2 sınav yapılacağı için günlük periyot sayısı 2 olur. Her gün bir sabah bir öğleden sonra sınav olacak gibi düşünebiliriz. Yani toplam periyot sayısı tüm sınavların yapılacağı oturum sayısıdır.

Periyot uzunluğu: Her periyodun belirli bir uzunluğu vardır. Mesela; günde biri sabah biri öğleden sonra olmak üzere 2 periyot olduğunu düşünelim. Birinci periyot sabah saat 10:00'da başlayıp 12:00'da bitmekte olsun. İkinci periyot ise öğle saat 13:00'da başlayıp 14:30'da bitsin. Bu durumda birinci periyodun uzunluğu 120 dakika, ikinci periyodun uzunluğu ise 90 dakika olur. Bu periyotlara sınav atanırken atanacak sınavın uzunluğu ve periyodun uzunluğu göz önünde bulundurulmalıdır.

Derslik: Derslikler sınavların yapılacağı odalardır. Toplam derslik sayısı problemde verilmektedir.

Derslik kapasitesi: Bir dersliğin toplam aldığı öğrenci sayısı o dersliğin kapasitesini verir. Her bir dersliğin belli bir kapasitesi vardır. Bu dersliklere sınav atanırken sınavın toplam kapasitesi ve dersliğin kapasitesi göz önünde bulundurulmalıdır. Tüm dersliklerin kapasiteleri problemde verilmektedir.

ITC-2007 sınav çizelgeleme problemleri aşağıdakilerden oluşur (McCollum ve ark., 2007):

- Bir sınav dönemi, belirli bir zaman dilimi (sınav dönemi uzunluğu) içinde belirli sayıda periyottan oluşur. Periyot sayıları ve periyotların uzunlukları problemde verilmektedir.
- Bir dizi sınav periyotlara atanır. Sınav kodları verilmez. Yarışmacılar 0'dan başlayarak sınavları numaralandırmalıdır.
- Her öğrenci belli bir sayıda sınava kaydolar. Bir sınava kaydolun öğrencilerin bu sınava girecekleri kabul edilir. Her sınav için kayıtlı öğrenciler verilmektedir.
- Belli sayıda derslik vardır ve her dersliğin bir kapasitesi vardır.
- Mutlaka yerine getirilmesi gereken katı kısıtlar vardır.
- İhlal edildiği takdirde belli bir ceza alınan yumuşak kısıtlar vardır.
- Yumuşak kısıtların ceza alınırken kullanılan ağırlıklarını içeren ayrıntılar verilir.

ITC-2007 problemlerinde üç seviye kısıt vardır. Bunlar (McCollum ve ark., 2007):

1. **Zorunlu:** Kesinlikle ihlal edilemeyen kısıtlardır. Mesela; bir sınavın birden fazla periyota bölünmediği gibi
2. **Katı:** İhlal edildiğinde 0'dan farklı uygulanabilirlik uzaklığına neden olan kısıtlardır. Uygulanabilirlik; tüm zorunlu ve katı kısıtların karşılanmasıdır.
3. **Yumuşak:** Yerine getirilmesi tercih edilen ancak hepsini yerine getirilmesi mümkün olmayacak olan kısıtlardır.

Çizelge 3.1.'de ITC-2007 sınav çizelgeleme problemleri için tüm zorunlu (Z1, Z2), katı (K1-K5) ve yumuşak (Y1-Y7) kısıtlar gösterilmiştir.

Çizelge 3.1. ITC-2007 veri seti zorunlu, katı ve yumuşak kısıtlar

Kısaltma	Kısıt
Z1	Her sınav en fazla bir derslikte yapılır (Bölünemez)
Z2	Her sınav en fazla bir periyotta yapılır (Bölünemez)
K1	Hiçbir öğrenci aynı anda birden fazla sınava giremez
K2	Her bir dersliğin kapasitesi hiçbir sınav oturumu boyunca aşılmamalıdır
K3	Periyot uzunlukları ihlal edilemez
K4	Periyotlarla ilgili katı kısıtlar sağlanmalıdır (Örneğin; A sınavı B sınavından sonra olmalı)
K5	Dersliklerle ilgili katı kısıtlar sağlanmalıdır (Örneğin A sınavı derslikte tek başına yapılmalı)
Y1	Art arda iki sınav
Y2	Günde iki sınav
Y3	Sınavların belli bir zamana yayılması
Y4	Bir periyotta farklı sınav süresi
Y5	Çizelgenin sonlarında yer alan büyük kapasiteli sınavlar
Y6	Periyot bazlı yumuşak kısıtlar
Y7	Derslik bazlı yumuşak kısıtlar

Yukarıda bahsedilen bu kısıtların hepsi genel olarak iki gruba ayrılabilir; bunlar kaynağa özgü olanlar ve genel ayarlama olanlar olmak üzere. Örneğin; periyoda ve dersliğe ilişkin kısıtlamalar kaynağa özgüdür. Her periyot ve derslik için kısıt tanımlanabilir. Bu kaynağa özgü olan kısıtlar, bir çözümün oluşturulmasında kaynakların nasıl kullanılacağını kontrol etmeyi sağlar. Bu kısıtlar, veri setlerine periyotların ve dersliklerin tanımlanmasından sonra bulunabilir. Diğer tüm yumuşak kısıtlamalar birbirine göre ayarlanabilir. Bu kısıtlar genel ayarlama olan kısıtlardır (McCollum ve ark., 2007).

Kurumlar kendi ihtiyaçlarına uygun bir çözüm üretmek amacıyla yumuşak kısıtlamaları birbirlerine göre farklı ağırlıklandırabilirler. Bu işlem, 'Kurumsal Model'i oluşturmak olarak bilinir ve kurumsal model indeksi olarak tanımlanır. Kurumsal model indeksi, üretilen çözümün kaliteli bir ölçümünü sağlayan yumuşak kısıtlamaların göreceli bir ağırlığıdır. Bu indeks içinde "Exams" etiketiyle problemde yer alan sınavların sayısı ve bu sınavları alan öğrencilerin numaraları, "Periods" etiketiyle periyot sayısı ve bu periyotların bilgileri, "Rooms" etiketiyle derslik sayısı ve bu dersliklerin bilgileri, periyot ve derslik bazlı katı kısıtlar, hangi yumuşak kısıtın ihlali olduğunda ne kadar ceza alınacak bilgileri listelenir. ITC-2007 veri setleri içinde kurumsal model indeksleri verilmiştir. Bu veri setlerindeki problemleri çözmek için kurumsal model indeksinde yer alan bilgilere göre gerekli çalışmalar yapılır (McCollum ve ark., 2007).

Kısıtları tanımlamaya geçmeden kısıtların matematiksel formülünü verirken karşılaşılabilecek genel temsilleri vermekte fayda var:

– E : Sınavlar

- $s_i^E : i$ sınavının kapasitesi, $i \in E$
- $d_i^E : i$ sınavının süresi, $i \in E$
- S : Öğrenciler
- R : Derslikler
- $s_r^R : r$ dersliğinin kapasitesi, $r \in R$
- P : Periyotlar
- $d_p^P : p$ periyodunun süresi, $p \in P$

3.3.1. Zorunlu kısıtlar

Zorunlu kısıtlar problemin yapısıyla alakalı kısıtlardır. Bu kısıtları ihlal eden çözümler açıkça reddedilir. Bir çözümün uygulanabilir olduğunun ölçüldüğü uygulanabilirlik uzaklığı, bu kısıtlar ihlal edildiğinde hesaplanmaz bile. ITC-2007 veri setinde iki tane zorunlu kısıt bulunmaktadır. Bunlar (McCollum ve ark., 2007):

1. ***Her sınav en fazla bir derslikte yapılır.*** Bazı üniversitelerde; sınav kapasitesinin fazla olması derslik kapasitesinin de az olmasından dolayı bir sınav birden fazla derslikte yapılabilmektedir. Ama ITC-2007 veri setinde bu durum böyle değil, her sınav bir derslikte yapılmaktadır. Bu kısıtı matematiksel olarak Denklem 3.1.'deki gibi tanımlayabiliriz.

$$\forall i \in E \sum_{r \in R} X_{ir}^R \leq 1 \quad (3.1)$$

Buradaki X_{ir}^R ifadesi eğer i sınavı r dersliğinde ise 1, diğer durumlarda ise 0 olmaktadır.

2. ***Her sınav en fazla bir periyotta yapılır.*** ITC-2007 veri setinde sınavlar periyotlar boyunca bölünemezler. Bir sınav bir periyotta yapılır ve biter. Yani her sınav tek bir oturumda yapılır şeklinde düşünebiliriz. Bu kısıtı matematiksel olarak Denklem 3.2.'deki gibi tanımlayabiliriz.

$$\forall i \in E \sum_{p \in P} X_{ip}^P \leq 1 \quad (3.2)$$

Buradaki X_{ip}^P ifadesi eğer i sınavı p periyodunda ise 1, diğer durumlarda ise 0 olmaktadır.

3.3.2. Katı kısıtlar

Katı kısıtlar sınav çizelgeleme problemlerinde ihlal edilemeyen kısıtlardır. İhlal edilmesi durumunda bir çözümün uygulanabilir olup olmadığının ölçüldüğü uygulanabilirlik uzaklığı 0'dan farklı bir değer olur. Uygulanabilirlik uzaklığı değerinin 0'dan farklı olması da o çözümün uygulanabilir olmadığı anlamına gelir. Zorunlu kısıtların yerine getirildiğini kabul edip, tüm katı kısıtlar yerine getirildiğinde bulunan çözüm uygulanabilir bir çözüm olur ve uygulanabilirlik uzaklığı 0 olur. Katı kısıtlar çizelgesi yapılacak üniversite/kurumun kaynaklarına göre problemde problemde değişiklik gösterir. ITC-2007 veri setinde 5 tane yerine getirilmesi zorunlu olan katı kısıt bulunmaktadır. Bunlar (McCollum ve ark., 2007):

1. ***Hiçbir öğrenci aynı anda birden fazla sınava giremez.*** Bir öğrenci aynı anda iki veya daha fazla sınava giremeyeceği için bu kısıt katı kısıt olarak karşımıza gelir. Bu kısıtın sağlanması için her bir öğrencinin aldığı sınavlar kontrol edilmelidir. Bir öğrenci için aldığı birden fazla sınav varsa bu sınavlar aynı periyoda atanmamalıdır. Bu kısıtı matematiksel olarak Denklem 3.3.'deki gibi tanımlayabiliriz.

$$\forall p \in P, \forall s \in S \sum_{i \in E} t_{is} X_{ip}^P \leq 1 \quad (3.3)$$

Buradaki t_{is} ifadesi eğer s öğrencisi i sınavını alıyorsa 1, değilse 0 değerini almaktadır.

2. ***Her bir dersliğin kapasitesini hiçbir sınav oturumu boyunca aşılmamalıdır.*** ITC-2007 veri seti kapasiteli sınav çizelgeleme problemleri olduğundan dersliklere atanan sınavların kapasitesi atandığı dersliğin kapasitesini aşmamalıdır. Aştığı vakitte o derslikte yer bulamayan öğrenciler olacaktır ve sınava giremeyeceklerdir. Böylece bu katı kısıt sağlanmamış olacak ve çözüm uygulanabilir olmayacaktır. Bu yüzden, dersliklere atama yaparken hem dersliğin kapasitesi hem sınavın

kapasitesi göz önünde bulundurulmalıdır. Bu kısıtı matematiksel olarak Denklem 3.4.’deki gibi tanımlayabiliriz.

$$\forall p \in P, \forall r \in R \quad \sum_{i \in E} s_i^E X_{ip}^P X_{ir}^R \leq s_r^R \quad (3.4)$$

Denklem 3.4.’de ilgili sınavı alan öğrencilerin kapasitesi dersliğin kapasitesine eşit veya küçük olması gerektiği belirtilmiştir.

3. **Periyot uzunlukları ihlal edilemez.** ITC-2007 veri setindeki problemlerde her periyodun bir uzunluğu vardır. Bu periyot uzunlukları kurumsal model indeksinde periyotlarla ilgili bilgilerin içerisinde verilir. Mesela; birinci periyodun sabah saat 09:00’da başlayıp saat 11:30 da bittiğini farz edelim. Bu durumda bu periyodun uzunluğu 150 dakikadır. Her sınavın da belli bir süresi/uzunluğu vardır. Periyotlara sınavları yerleştirirken o periyodun uzunluğunu geçmeyecek sınavlar koyulması gerekir. Örnekte verilen birinci periyoda uzunluğu 150 dakika veya daha az olan sınavlar yerleştirilir. Çözüm üretilirken periyot ve sınav uzunlukları göz önünde bulundurularak bu kısıtın da sağlanması gerekir. Bu kısıtı matematiksel olarak Denklem 3.5.’deki gibi tanımlayabiliriz.

$$\forall p \in P, \forall i \in E \quad d_i^E X_{ip}^P \leq d_p^P \quad (3.5)$$

Denklem 3.5.’de ilgili sınavın uzunluğu atanacak periyodun uzunluğuna eşit veya küçük olması belirtilmiştir.

4. **Periyotlarla ilgili katı kısıtlar sağlanmalıdır.** ITC-2007 veri setlerinde periyotlarla alakalı katı kısıtlar yer almaktadır ve uygulanabilir bir çözüm için mutlaka bu kısıtların sağlanması gerekmektedir. Periyotlarla alakalı katı kısıtlar bir sınavın bir sınavdan önce olması, iki sınavın aynı periyotta olması veya iki sınavın aynı periyotta olmaması gibi 3 çeşittir. Bu kısıtların hepsi kurumsal model indeksinde “PeriodHardConstraints” etiketiyle verilir.

- **Bir sınavın bir sınavdan sonra olması (After):** Kurumsal model indeksinde “After” etiketi ile verilen katı kısıtlardır. Örneğin; “11 After 10” şeklinde verilen kısıtta, 11. sınavın 10. sınavdan sonra

olması gerektiği kısıtı belirtilmiştir. Bu kısıtı matematiksel olarak Denklem 3.6.'daki gibi tanımlayabiliriz.

$$\forall (i, j) \in H^{aft}, \forall p, q \in P, p \leq q, X_{ip}^P + X_{jq}^P \leq 1 \quad (3.6)$$

Buradaki H^{aft} , bu kısıtın sağlanacağı ikili sınavlar dizisidir.

- **İki sınavın aynı periyotta olması (Exam_Coincidence):** Kurumsal model indeksinde “Exam_Coincidence” etiketi ile verilen katı kısıtlardır. Örneğin; “20 Exam_Coincidence 30” şeklinde verilen kısıtta, 20. sınav ile 30. sınav aynı periyotta olması gerektiği belirtilmiştir. Bu kısıtı matematiksel olarak Denklem 3.7.'deki gibi tanımlayabiliriz.

$$\forall (i, j) \in H^{coin}, \forall p \in P \quad X_{ip}^P = X_{jp}^P \quad (3.7)$$

Buradaki H^{coin} , bu kısıtın sağlanacağı ikili sınavlar dizisidir.

- **İki sınavın aynı periyotta olmaması (Exclusion):** Kurumsal model indeksinde “Exclusion” etiketi ile verilen katı kısıtlardır. Örneğin; “40 Exclusion 50” şeklinde verilen kısıtta, 40. sınav ile 50. sınavın aynı periyotta olmaması gerektiği belirtilmiştir. Bu kısıtı matematiksel olarak Denklem 3.8.'deki gibi tanımlayabiliriz.

$$\forall (i, j) \in H^{excl}, \forall p \in P \quad X_{ip}^P + X_{jp}^P \leq 1 \quad (3.8)$$

Buradaki H^{excl} , bu kısıtın sağlanacağı ikili sınavlar dizisidir.

5. **Dersliklerle ilgili katı kısıtlar sağlanmalıdır.** ITC-2007 veri setlerinde dersliklerle alakalı katı kısıtlar yer alabilmektedir. Kurumsal model indeksinde “RoomHardConstraints” etiketi ile verilen bu kısıtlar uygulanabilir bir çözüm elde etmek için sağlanması gerekmektedir. Dersliklerde alakalı bir sınavın atandığı derslik ve periyotta tek başına olması şeklinde bir kısıt bulunmaktadır. Bu kısıtı daha ayrıntılı tanıtırak;

- **Sınavın derslikte tek başına olması:** Kurumsal model indeksinde “Room_Exclusive” etiketi ile verilen derslik bazlı bir katı kısıttır. Bu kısıtın sağlanması için gerekli sınav derslik ve periyotta tek başına yapılır. Örneğin, “78 Room_Exclusive” şeklinde verilen kısıtta, 78.sınavın atandığı dersliğe başka bir sınav koyulmaması belirtilmiştir. Yani 78. sınavın bir periyotta atandığı derslik 78. sınava özel olacak ve başka sınavlar o dersliği paylaşmayacaklardır. Bu kısıtı matematiksel olarak Denklem 3.9.’daki gibi tanımlayabiliriz.

$$\forall i \in H^{sole}, \forall j \in E, j \neq i, \forall p \in P, \forall r \in R, X_{ip}^P + X_{ir}^R + X_{jp}^P + X_{jr}^R \leq 3 \quad (3.9)$$

Buradaki H^{sole} , bu kısıtın sağlanacağı sınavlar dizisidir.

3.3.3. Yumuşak kısıtlar

Yumuşak kısıtlar yerine getirilmesi istenen ama zorunlu olmayan, hepsinin yerine getirilmesi de mümkün olmayan ama ne kadar sağlanırsa çözümü o kadar kaliteli hale getiren kısıtlardır. Yumuşak kısıtlar ile sınav çizelgeleri daha öğrenci lehine olacak şekilde getirilir. Yumuşak kısıtlarla çözümlerin kalitesi ölçülür. Yumuşak kısıtların ne kadar sağlandığı ITC-2007 problemleri için amaç fonksiyonunu oluşturur. Yumuşak kısıtların sağlanmadığı takdirde her bir yumuşak kısıt için kurumsal model indeksinde “InstitutionalWeightings” etiketi ile yer alan o kısıtın ağırlığına göre bir ceza hesaplanır. Bu nedenle yumuşak kısıtların tatmin edici bir şekilde sağlanması önemlidir. ITC-2007 veri setlerinde 7 tane yumuşak kısıt bulunmaktadır. Bunlar (McCollum ve ark., 2007):

1. **Art arda iki sınav.** Bu kısıt aynı günde bir öğrenci için arada hiç boşluk olmadan ardışık sınavlarının olmasıdır. Bu kısıt sağlanmadığı takdirde o öğrenci için sınavları arasında hiç çalışma zamanı olmayacaktır ve bu durum istenmeyen bir durumdur. Örneğin; sınavların 2 hafta sürdüğünü ve her gün 3 periyot olduğunu düşünelim. A sınavı ilk günün ilk periyodunda olsun. B sınavı da aynı günün 2. periyodunda olsun. A ve B sınavlarını alan 10 öğrenci olsun. Bu durumda bu 10 öğrenci için art arda iki sınav

kısıt ihlal edilmiş olur. Bu kısıt ihlalinin cezası hesaplanırken ise öğrenci sayısı yani 10 ile kurumsal model indeksinde “TWOINAROW” etiketi aracılığıyla verilen bu kısıtın ağırlığı çarpılarak hesaplanır. Burada sınavların aynı günde olmasına dikkat edilmelidir. Örneğin; bir sınav ilk günün son periyodunda bir başka sınav ise ikinci günün ilk periyodunda ise bu sınavlar art arda olmaz. Bir s öğrencisi, i ve j olmak üzere iki farklı sınav alsın. j sınavı aynı günde i sınavından hemen sonra olsun. Bu s öğrencisi için art arda iki sınav cezası olan C_s^{2R} değeri 1 artmış olur ve matematiksel olarak Denklem 3.10.’daki gibi tanımlanır.

$$C_s^{2R} = \sum_{\substack{i,j \in E \\ j \neq i}} \sum_{\substack{p,q \in P \\ q=p+1 \& y_{pq}=1}} t_{is} t_{js} X_{ip}^P X_{jq}^P \quad (3.10)$$

Buradaki $y_{pq} = 1$, p ve q periyotları aynı günde ise 1 olan mantıksal bir değerdir.

2. **Günde iki sınav.** Bu kısıt günde 3 veya daha fazla periyodun olması durumunda bir öğrenci için günde iki sınavının olmasıdır. Bu iki sınav art arda olmayan sınavlardır. Eğer art arda olursa art arda iki sınav yumuşak kısıt olur. Bu kısıtın cezası hesaplanırken günde iki sınavı olan toplam öğrenci sayısı ve kurumsal model indeksinde “TWOINADAY” etiketi ile verilen bu kısıtın ağırlığı çarpılarak hesaplanır. Periyot sayısının günde 2 tane olduğu durumlarda bu kısıt art arda iki sınav yumuşak kısıtına dönüşeceğinden dolayı bu kısıtın cezası 0 olur. Örneğin; sınavların 2 hafta sürdüğünü ve her gün 3 periyot olduğunu düşünelim. A sınavı ilk günün ilk periyodunda olsun. B sınavı da aynı günün 3. periyodunda olsun. A ve B sınavlarını alan 20 öğrenci olsun. Bu durumda 20 öğrenci için günde iki sınav kısıt ihlal edilmiş olur. Bu kısıt ihlalinin cezası hesaplanırken ise öğrenci sayısı yani 20 ile kurumsal model indeksinde verilen bu kısıtın ağırlığı çarpılarak hesaplanır. Bir s öğrencisi, i ve j olmak üzere iki farklı sınav alsın. i ve j sınavları aynı günde olan ama ardışık periyotlarda olmayan sınavlar olsun. Bu s öğrencisi için günde iki sınav cezası olan C_s^{2D} değeri 1 artmış olur ve matematiksel olarak Denklem 3.11.’deki gibi tanımlanır.

$$C_s^{2D} = \sum_{\substack{i,j \in E \\ j \neq i}} \sum_{\substack{p,q \in P \\ q > p+1 \ \& \ y_{pq}=1}} t_{is} t_{js} X_{ip}^P X_{jq}^P \quad (3.11)$$

3. Sınavların belli bir zamana yayılması. Bu kısıt bir öğrenci için sınavlarının belli bir süre boyunca yayılmasıdır. Bu kısıt yukarıda tanımlanan iki yumuşak kısıtın uzantısı olarak düşünülebilir. Kurumsal model indeksinde “PERIODSPREAD” etiketi ile sınavların kaç periyot boyunca yayılması gerektiği verilir. Bu rakam ne kadar yüksek olursa öğrencilerin sınavların yayılması da bir o kadar iyi olur. Örneğin; sınavların 2 hafta sürdüğünü ve her gün 3 periyot olduğunu düşünelim. Sınavların belli bir süreye yayılması kısıtının kurumsal model indeksinde 6 periyot olarak verildiğini varsayalım. A sınavı ilk günün ilk periyodunda olsun. B sınavı ikinci günün ilk periyodunda olsun. C sınavı da üçüncü günün ilk periyodunda olsun. Bu üç sınavı alan 10 öğrenci olsun. Bu 10 öğrenci için sınavların belli bir zamana yayılması kısıtı ihlal edilmiş olur. A sınavının çizelgede başladığı periyottan itibaren 6 periyot sayılır. B ve C sınavları bu 6 periyotluk dilimde oldukları için kısıt ihlali olur ve ceza verilir. Bu kısıtın kurumsal model indeksinde ağırlığı yoktur. Kısıtın cezası kaç öğrenci için kısıt ihlal ediliyorsa o öğrencilerin sayısı kadardır. Bir s öğrencisi, i ve j olmak üzere iki farklı sınav alsın. i ve j farklı periyotlarda, j sınavı i sınavından sonra olsun. Ama j sınavı kurumsal model indeksinde bu kısıt için verilen periyotluk dilimde yer alsın. Bu durumda bu yumuşak kısıtın cezası olan C_s^{PS} değeri 1 artmış olur ve matematiksel olarak Denklem 3.12.’deki gibi tanımlanır.

$$C_s^{PS} = \sum_{\substack{i,j \in E \\ j \neq i}} \sum_{\substack{p,q \in P \\ p < q \leq p+g}} t_{is} t_{js} X_{ip}^P X_{jq}^P \quad (3.12)$$

Buradaki g , bu kısıtın kurumsal model indeksinde verilen sınavların yayılacağı periyot süresidir.

4. Bir periyotta farklı sınav süresi. Bu kısıt her derslik için her periyot bazında hesaplanır. Bir dersliğe farklı uzunluklarda sınavlar atandığında

bu kısıt ihlal edilmiş olunur. Bu kısıtın amacı, aynı uzunlukta sınavların birlikte yapılmasını sağlamaktır. Bu kısıtın cezası hesaplanırken derslikteki farklı uzunluktaki sınav sayısından 1 çıkarılıp kurumsal model indeksinde “NONMIXEDDURATIONS” etiketi aracılığıyla verilen bu kısıtın ağırlığı ile çarpılarak bulunur. Örneğin; A kodlu dersliğin ilk periyodunda 120, 120, 180, 180, 180, 210 sınav sürelerine sahip 6 sınav var diyelim. Bu derslikte 3 farklı uzunlukta sınavlar yer almaktadır. Bu dersliğin bu periyodunda bu kısıt ihlal edilmiştir. $3-1=2$ yapılarak kısıtın ağırlığı ile çarpılarak bu derslik ve periyot için ceza hesaplanır. Bir derslik-periyot ikilisinin bu yumuşak kısıt için cezası olan C_{pr}^{NMD} değeri matematiksel olarak Denklem 3.13.’deki gibi tanımlanır.

$$\begin{aligned} \forall d \in D, \forall i \in E, u_{id} = 1, \forall p \in P, \forall r \in R \quad U_{dpr}^D \\ \geq X_{ip}^P + X_{ir}^R - 1 \end{aligned} \quad (3.13)$$

Buradaki u_{id} , i sınavının uzunluğunu gösteren bir mantıksal değerdir. U_{dpr}^D ifadesi, d sınav sürelili ve p periyodu ile r dersliğini kullanırken 1 diğer durumlarda 0 olan mantıksal bir değerdir. U_{dpr}^D ifadesinin burada 0’den farklı bir değer olması istenir.

$$\forall p \in P, \forall r \in R \quad 1 + C_{pr}^{NMD} \geq \sum_{d \in D} U_{dpr}^D \quad (3.14)$$

$$C_{pr}^{NMD} \geq 0 \quad (3.15)$$

Bu kısıtın toplam cezası olan C^{NMD} değeri matematiksel olarak Denklem 3.16.’daki gibi tanımlanır.

$$C^{NMD} = \sum_{p \in P} \sum_{r \in R} C_{pr}^{NMD} \quad (3.16)$$

5. **Çizelgenin sonlarında yer alan büyük kapasiteli sınavlar.** Bu veri setlerinde fazla sayıda öğrenciye sahip sınavların sınav oturumlarının başında yapılması arzu edilir. Mevcudu yüksek olan sınavlar sınav

oturumlarının sonlarına doğru yapılırsa bu yumuşak kısıt ihlal edilmiş olur. Bu kısıt hesaplanırken kurumsal model indeksinde “FRONTLOAD” etiketi ile verilen ilk parametrede yer alan sayı kadar büyük kapasiteli sınavlara bakılır, kaç tane sınav ikinci parametrede verilen istenilen aralıkta değilse o kadar sınav sayısı üçüncü parametrede verilen kısıtın ağırlığı ile çarpılarak hesaplanır. Bu kısıtın cezası olan C^{FL} değeri matematiksel olarak Denklem 3.17.’deki gibi tanımlanır.

$$C^{FL} = \sum_{i \in E} \sum_{p \in P} f_i^E f_p^P X_{ip}^P \quad (3.17)$$

Buradaki f ifadesi bir sınavı veya periyodu konu alan bu kısıt ceza değeridir.

6. **Periyot bazlı yumuşak kısıtlar.** Sınav çizelgelemede bazı kurumlar periyot kullanımlarını minimumda tutmak isteyebilirler. Bu kısıt periyotlarla alakalı bir yumuşak kısıttır. Bu kısıt cezası her periyot bazında hesaplanır. Bazı periyotların belirli cezaları vardır ve o periyotlara atanan sınavlar kadar ceza hesaplanır. Cezası olan bir periyoda sınav atandığı zaman bu kısıt ihlal edilmiş olur. Örneğin; bir sınav döneminde son periyodun belirli bir cezası var diyelim. Bu periyoda da 3 sınav atanmış olsun. Kurumsal model indeksinde “Periods” etiketi altında son parametre olarak verilen bu periyodun cezası ile 3 sınav çarpılır ve bu periyot için ceza hesaplanmış olur. Bu kısıtın cezası olan C^P değeri matematiksel olarak Denklem 3.18.’deki gibi tanımlanır.

$$C^P = \sum_{p \in P} \sum_{i \in E} w_p^P X_{ip}^P \quad (3.18)$$

Buradaki w_p^P ifadesi p periyodunu kullanma cezasını gösteren bir ağırlıktır.

7. **Derslik bazlı yumuşak kısıtlar.** Sınav çizelgelemede bazı kurumlar derslik kullanımlarını minimumda tutmak isteyebilirler. Bu kısıt dersliklerle alakalı bir yumuşak kısıttır. Bu kısıt cezası her periyot bazında hesaplanır. Her periyot için, çözümde kullanılan dersliğin bir cezası varsa o derslik ve

periyoda atanmış sınav sayısı ile dersliğin cezası çarpılarak toplam ceza hesaplanır. Kurumsal model indeksinde “Rooms” etiketi altında ikinci parametre olarak dersliklerin cezaları verilir. Cezası olan bir dersliğe sınav atandığı zaman bu kısıt ihlal edilmiş olunur. Örneğin; bir sınav döneminde A dersliğinin belirli bir cezası olsun. Belirli bir periyotta bu dersliğe 3 sınav atanmış olsun. A dersliğin cezası ile 3 olan sınav sayısı çarpılarak o periyottaki toplam ceza hesaplanmış olur. Bu kısıtın cezası olan C^R değeri matematiksel olarak Denklem 3.19.’daki gibi tanımlanır.

$$C^R = \sum_{r \in R} \sum_{i \in E} w_r^R X_{ir}^R \quad (3.19)$$

Buradaki w_r^R ifadesi r dersliğini kullanma cezasını gösteren bir ağırlıktır.

3.3.4. Amaç fonksiyonu

ITC-2007 sınav çizelgeleme problemlerinin amaç fonksiyonu diğer sınav çizelgeleme problemlerinin de olduğu gibi, katı kısıtları sağlayıp yumuşak kısıt ihlallerinin olabildiğince az olmasıdır. Yumuşak kısıtlardan alınan cezaların minimizasyonu amaç fonksiyonudur. Yani bu problemlerde yumuşak kısıtlar olabildiğince yerine getirilip bu kısıtlardan alınan cezaların azaltılması amaçlanır. Yumuşak kısıtlar ne kadar yerine getirilirse çözüm de o kadar kaliteli hale gelir. Yumuşak kısıtların hepsinin yerine getirilmesinin de imkânsız olduğu unutulmamalıdır. Bu tez çalışmasının da amaç fonksiyonu olan ITC-2007 sınav çizelgeleme problemlerinin amaç fonksiyonunu Denklem 3.20.’deki gibi tanımlayabiliriz (McCollum ve ark., 2007; Anwar ve ark., 2014):

$$\min f(x) = \sum_{s \in S} (w^{2R} C_s^{2R} + w^{2D} C_s^{2D} + w^{PS} C_s^{PS}) + w^{NMD} C^{NMD} + w^{FL} C^{FL} + C^P + C^R \quad (3.20)$$

Buradaki x bir sınav çizelgesi çözümdür. w ifadeleri Çizelge 3.2.’de listelenen her bir yumuşak kısıtın kurumsal model indeksinde verilen ağırlıklarıdır. Amaç fonksiyonunda art arda iki sınav yumuşak kısıtı (C_s^{2R}), günde iki sınav yumuşak kısıtı (C_s^{2D}) ve sınavların belli bir zamana yayılması yumuşak kısıtlarının (C_s^{PS}) her öğrenci için

hesaplandığına dikkat edilmelidir. Periyot bazlı yumuşak kısıtlar (C^P) ve derslik bazlı yumuşak kısıtların (C^R) bir ağırlık değerlerinin olmadığına dikkat edilmelidir.

Çizelge 3.2. ITC-2007 yumuşak kısıt ağırlıkları

Ağırlık	Açıklama
w^{2R}	Art arda iki sınav kısıtı ağırlığı
w^{2D}	Günde iki sınav kısıtı ağırlığı
w^{PS}	Sınavların belli bir zamana yayılması kısıtı ağırlığı
w^{NMD}	Bir periyotta farklı sınav süresi kısıtı ağırlığı
w^{FL}	Çizelgenin sonlarında yer alan büyük kapasiteli sınavlar kısıtı ağırlığı

3.4. Üst Sezgiseller

Üst sezgisel (hyper-heuristic) kavramı yeni bir ifade gibi gözükmese de rağmen, sezgisel tasarımı otomatik hale getirme düşünceleri 1960 ve 1970'li yıllarda çıkmaya başlayan köklü bir düşüncedir. Üst sezgisel, belirli bir problem veya problem seti için alt seviyeli sezgiseller kullanarak, eldeki problemi çözmek için alt sezgisellerin uygun bir kombinasyonunu üreten üst seviyeli bir yaklaşım olarak tanımlanabilir (Burke ve ark., 2010a). Zamanla evrimsel düşünceleri içeren çalışmaların ve meta sezgisel algoritmaların gelişmesiyle üst sezgisel yapı çeşitli problem alanlarında etkili şekilde kullanılmıştır. Ana düşüncesi yaklaşık altmış yıllık bir geçmişe dayanmasına karşın üst sezgisel tabanlı çalışmalar daha çok 2000'li yılların başlangıcından beri önemli ölçüde artmaya başlamıştır (SEÇME, 2014).

Birçok optimizasyon probleminde, problemin çözümü için derinlemesine arama yapmak çoğu zaman kolay olmamaktadır. Arama uzayının çok geniş olması, arama uzayını detaylı araştırmak için uygun bir yöntem bulunmaması veya uygun çözüm uzayını karmaşık bir hale getiren etmenler problemlerin çözümü için derinlemesine arama yapmayı güçleştiren en önemli özelliklerdir. Bu özellikte problemlerin çözümü için sezgisel ve meta sezgisel yaklaşımlar önerilmiş ve önerildiklerinden bu yana birçok problemin çözümünde kullanılmıştır. Doğadaki çeşitli canlıların yaşam süreçlerinden esinlenerek öğrenebilme, karar verme ve odaklanma yapabilen meta sezgiseller, optimizasyon problemlerinin çözümü için etkili bir yöntem ortaya koymuştur. Meta sezgisel algoritmalar kullanılarak birçok zor optimizasyon problemi başarılı bir biçimde çözülmüştür. Literatürde birçok çalışmada meta sezgisellerin optimizasyon problemlerini çözdükleri gösterilmiştir. Fakat bu çalışmaların çoğu sezgisel ve meta sezgisel yaklaşımları sadece belirli bir problem üzerinde araştırmış

ve çoğunlukla çalışılan probleme özgü meta sezgisel algoritmalar geliştirilmiştir (Burke ve ark., 2013). Meta sezgisel yaklaşımların çalışılan probleme has ve kaynak duyarlılığı fazla olan çözümler üretmesi, algoritmada kullanılan parametre sayısı ve hassaslığı, içerisindeki olasılıksal seçimler, çözüm sürecine dair bilginin az olması ve bazı meta sezgisel algoritmaların diğerlerine oranla daha yavaş çalışmaları meta sezgisel algoritmaların önemli dezavantaj ve eleştiri konularıdır (SEÇME, 2014). Bu eleştiri ve dezavantajlara cevap olması açısından üst sezgisel yaklaşımlar ortaya çıkmıştır. Üst sezgiseller meta sezgisellerin zıttına problem alanından bağımsızdır, üzerinde çalıştığı problemi bilmez. Üst sezgisel yaklaşımın en önemli amaçlarından birisi genellik seviyesini yükseltmektir. Yani yaklaşımın bir probleme özgü değil farklı problemlerde de çalışabilmesidir. Üst sezgisel yaklaşım, birçok problem üzerinde uygulanabilen, hızlı, anlaşılması kolay, kalite ve tekrarlanabilirlik açısından güvenilir algoritmalar bulmaya çalışır (Burke ve ark., 2010b).

Üst sezgisel yaklaşım, doğrudan problemin çözüm uzayında arama yapmaktan ziyade problemin için verilen sezgiseller uzayında arama yapar. Üst sezgisel ifadesi çoğunlukla; mevcut problemin çözümü için sezgiselleri seçmede yine sezgisellerin kullanılmasını izah etmek için kullanılmaktadır (Burke ve ark., 2003b).

Üst sezgisel yaklaşım, eldeki probleme doğrudan çözüm bulmaktan ziyade problem için alt sezgisellerin uygun sırasının veya uygun metodun keşfedilmesine çalışır. Böylece üst sezgisel yaklaşımın genel bir tanımı yapılırsa, verilen bir dizi düşük seviyeli alt sezgisel ve verilen problem örneği için her bir karar aşamasında düşük seviyeli bir alt sezgiseli seçen ve bu alt sezgiseli probleme uygulayan üst seviyeli bir metottur (Burke ve ark., 2013).

Üst sezgisel yaklaşımlarda üst sezgisel ve alt seviyeli sezgiseller olmak üzere iki kısım vardır. Bu iki kısım arasında bir bariyer vardır. Problemle alakalı alan bilgileri bu bariyeri aşamaz. Bu nedenle, üst sezgisel üzerinde çalıştığı probleme dair bir bilgi bilmez. Üst sezgisel yalnızca alt seviyeli sezgiselleri ve çözümleri değerlendiren değerlendirme fonksiyonunu bilir. Böylece üst sezgisel yapı bir kez tasarlandığında, sadece alt seviyeli sezgiseller ve değerlendirme fonksiyonunun güncellenmesiyle, farklı problemlerin çözülebilmesi sağlanabilir (Burke ve ark., 2003b; SEÇME, 2014). Üst sezgisel yaklaşımların genel çalışma yapısı Şekil 3.2.'de verilmiştir.

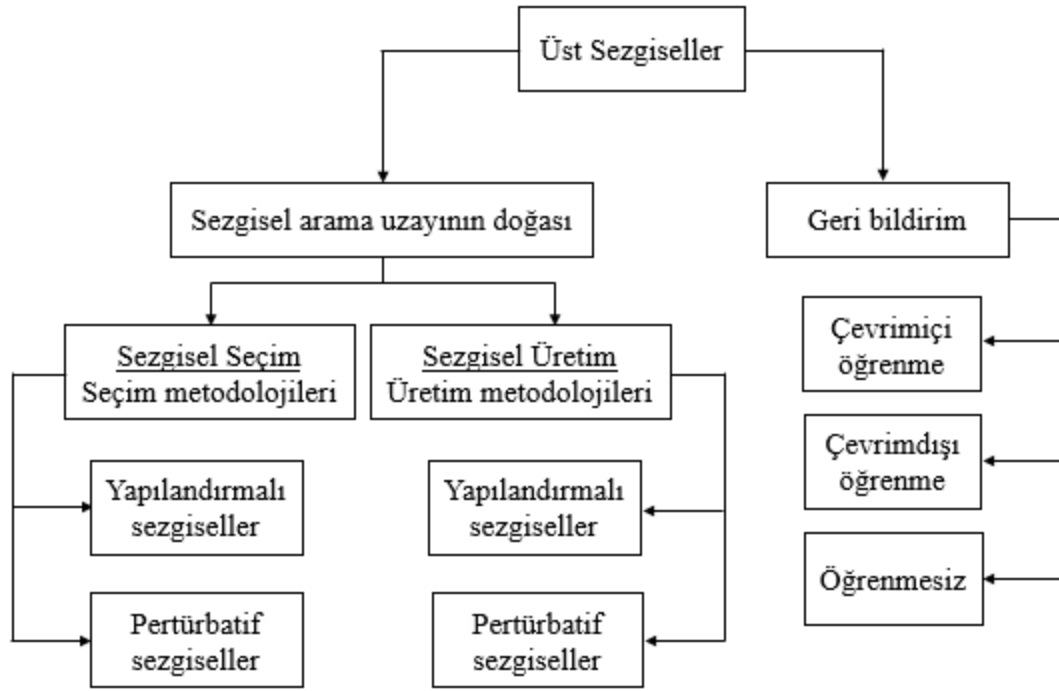


Şekil 3.2. Üst sezgisel yaklaşımların çalışma yapısı (Burke ve ark., 2003b)

Üst sezgiseldeki ana tema, problemin çözümü için uygun şekilde tanımlanan alt sezgiseller kümesindeki elemanları kullanmaktır. Üst sezgisel yaklaşımlar üzerine çalışan araştırmacılar yukarıdaki yapıya bağlı kalarak yaklaşımlarını tasarlayabilirler. Örneğin; üst sezgisel kısımda hangi alt seviyeli sezgiselin çözümü iyileştirdiği veya iyileştirmedeği gibi bilgiler kaydedilip zeki sistemler tasarlanabilir. Bir başka şekilde hangi alt seviyeli sezgiseller sıralamasının çözümü iyileştirip iyileştirmedeği bilgileri içeren skor değerleri tutabilir. Bu bilgilere bakarak üst sezgisel yaklaşım hangi sezgiseli veya hangi sezgiseller sıralamasını seçeceğini zekice seçebilir (SEÇME, 2014).

3.4.1. Üst sezgisel yaklaşımların sınıflandırılması

Üst sezgisel yaklaşımlar iki ana başlıkta incelenmektedir. Bunlar sezgisel seçim ve sezgisel üretilir. Sezgisel seçim yaklaşımlarında eldeki alt sezgiselleri seçilir ve probleme uygulanır. Sezgisel üretim yaklaşımlarında ise eldeki alt sezgisellerden yeni sezgiseller üretilir.



Şekil 3.3. Üst sezgisel yaklaşımların sınıflandırılması (Burke ve ark., 2010b)

Şekil 3.3.'de verilen Burke ve ark. 2010 yılında yaptıkları çalışmada üst sezgisel yaklaşımları iki ana kategoride değerlendirmişlerdir. Bunlardan birinci kategori olan sezgisel arama uzayının doğası kategorisinde sezgisel seçim ve sezgisel üretim başlıklarını değerlendirmişlerdir. Buna göre bu kategorideki sezgisel seçim ve sezgisel üretim başlıkları kendi içinde iki başlık altında incelenmektedir. Sezgisel seçim yaklaşımları, *yapılandırılmalı (constructive) sezgiseller* ve *yineleyici – pertürbatif (perturbative) sezgiseller* olarak iki başlıktır. Aynı şekilde sezgisel üretim yaklaşımları da, *yapılandırılmalı (constructive) sezgiseller* ve *yineleyici – pertürbatif (perturbative) sezgiseller* olarak iki başlıktır. İkinci kategori olan geri bildirim kategorisi, üst sezgiselleri üç başlıkta sınıflandırmaktadır. Bu kategori üst sezgiselin öğrenebilen bir arama algoritması olarak çalışmasından doğmuştur. Üst sezgisel yaklaşım, eğer arama aşamasında bazı geri bildirimler kullanırsa bu gibi durumlarda bir öğrenme algoritması olarak değerlendirilir. Eğer herhangi bir geri bildirim kullanmıyorsa bu yaklaşımın öğrenmesiz yaklaşım olduğu kabul edilir. Bu kategoride üst sezgisel, çevrimiçi öğrenme, çevrim dışı öğrenme ve öğrenmesiz olmak üzere üç başlıkta incelenir. Üst sezgisel yaklaşım hesaplamalı arama problemlerini çözmek için sezgisel seçim veya üretim işlemini yapan bir arama metodu veya bir öğrenme mekanizmasıdır (Burke ve ark., 2010b).

Geri bildirim kullanan üst sezgiseller aşağıdaki gibi tanımlanabilir (Burke ve ark., 2010b).

Çevrimiçi-Aktif öğrenen üst sezgiseller: Bu üst sezgisellerde üst sezgisel algoritma problemin bir kısmını problemi çözerken öğrenme işlemini gerçekleştirir. Çevrimiçi öğrenen üst sezgisele örnek olarak sezgisel seçimde takviye kullanan üst sezgisel yaklaşımlar verilebilir.

Çevrimdışı-Pasif öğrenen üst sezgiseller: Bu üst sezgisellerdeki ana düşünce, önceden görülmemiş örnekleri çözmede gerekli olan bilginin genelleştirilmiş bir eğitim seti örneğinden kurallar ve programlar şeklinde elde edilmesidir. Öğrenen sınıflandırma sistemleri, durum tabanlı çıkarsama ve genetik programlama çevrimdışı öğrenen üst sezgisel yaklaşımlarına örnek olarak verilebilir.

Öğrenmesiz üst sezgiseller: Bu üst sezgiseller probleme çözüm arama sürecinde herhangi bir geri bildirim kullanmayan yaklaşımlardır.

3.4.1.1. Sezgisel seçim metodolojileri

Sezgisel seçim kategorisindeki üst sezgiseller bir başka deyişle sezgisel seçen üst sezgiseller eldeki problemin çözümü için önceden tanımlanmış alt seviyeli sezgisellerden seçme işlemi yaparlar veya bu alt seviyeli sezgisellerin bir sıralamasını bulurlar. Bu üst sezgiseller yapılandırılmalı ve pertürbatif olarak iki başlık altında değerlendirilir.

3.4.1.1.1. Yapılandırılmalı sezgisellere dayalı sezgisel seçimler

Yapılandırılmalı sezgisellere dayalı üst sezgisel yaklaşımlarda eldeki problemin çözümü için çoğunlukla boş bir başlangıç çözümü ile başlanır. Çözümün oluşturulması sürecinde uygulanacak adımlar birbiri ardına, üst üste konarak, bir araya getirilip birleştirilerek arama süreci devam ettirilir. Üst sezgisel yaklaşım boş çözümden bir çözüm elde etmek için yapılandırma alt sezgisellerini akılcıca seçme ve probleme uygulama adımlarını gerçekleştirilir. Üst sezgisel yaklaşımın kullandığı yapılandırma sezgiselleri daha önceden alt sezgisel olarak tanımlanır ve alt sezgisel genellikle probleme özgü olurlar. Üst sezgiselin bu seçme ve uygulama işlemleri nihai çözüme varıncaya dek devam eder. Bu kısımda tam bir çözüm elde edilmesinin yapılandırma sürecinin doğal bir sonlanması olduğuna dikkat edilmelidir. Bu nedenle, sezgisel seçimlerin sıralaması sonludur ve çözülecek problemin boyutu kadar sınırlandırılır. Ek olarak, tam bir çözüm

elde edilinceye kadar ki her bir adımdaki kısmi çözüm ile bu adımda seçilip uygulanan alt sezgisel arasında bir öğrenme olabilir (Burke ve ark., 2010b). Bu yaklaşımdaki üst sezgiseller üretim çizelgeleme, eğitimsel çizelgeleme, kısıt memnuniyeti, kutulama ve araç yönlendirme gibi çeşitli problemlere uygulanabilir (Burke ve ark., 2013).

3.4.1.1.2. Pertürbatif sezgisellere dayalı sezgisel seçimler

Pertürbatif sezgisellere dayalı üst sezgisel yaklaşımlar bir dizi pertürbatif sezgisel üzerinde çalışır. Yapılandırılmalı sezgisellere dayalı üst sezgiseller boş bir başlangıç çözümü ile başlarlar ve süreç tam bir çözüm elde edene kadar devam eder, pertürbatif üst sezgiseller ise tam tersine tam bir çözüm üzerinde çalışır ve süreç önceden belirlenmiş bir durdurma kriterine kadar devam eder (Berberoğlu, 2011). Bu üst sezgisellerde ana hedef bir alt sezgiseli otomatik olarak seçip probleme uygulayıp aday çözümü geliştirerek nihai çözümü bulmaktır. Yani pertürbatif üst sezgisel yaklaşımlar, sezgiselleri seçerek ve uygulayarak aday çözümün kalitesini artırır. Bu tip metodolojilerin örnek uygulama alanları arasında kanal atama, çizelgeleme, personel çizelgeleme ve araç yönlendirme problemleri vardır (Burke ve ark., 2010b; Burke ve ark., 2013). Pertürbatif sezgisellere dayalı üst sezgisellerde, sezgisel uzayında olan arama işlemine göre *çok noktalı arama* ve *tek noktalı arama* olmak üzere iki başlık altında değerlendirilmektedir. Üst sezgisel yaklaşımlar üzerine yapılan çoğu çalışma tek noktalı aramayı kullanmaktadır (Burke ve ark., 2013). Bu tez çalışmasında da pertürbatif sezgisellere dayalı sezgisel seçim yapan üst sezgisellerde tek noktalı arama yapan üst sezgiseller kullanılmıştır.

Çok noktalı arama yapan pertürbatif üst sezgiseller: Bu üst sezgiseller çoklu çözümlerle çalışırlar. Alt sezgiselleri seçmek için birkaç üst sezgisel yaklaşım kullanırlar.

Tek noktalı arama yapan pertürbatif üst sezgiseller: Bu yaklaşımda alt sezgiseller çoğunlukla her yinelemede tek bir aday çözüme uygulanır; bu nedenle bunlara tek noktalı arama yapan üst sezgiseller denir. Tek noktalı arama yapan üst sezgisel yaklaşımlar bir aday başlangıç çözümü ile durdurma kriteri sağlanıncaya dek bir dizi başarılı aşamayı tekrarlar. İlk olarak pertürbatif alt sezgisellerden bir alt sezgisel (veya alt sezgisel kümesi) seçilir ve tek bir aday çözüme uygulanır. Daha sonra ise seçilen alt sezgiselin uygulanması ile elde edilen yeni çözümün kabul edilmesi ya da reddedilmesi kararı verilir. Tek noktalı arama yapan pertürbatif sezgiselleri seçen üst sezgisel yaklaşımlar, *sezgisel seçim* ve *hareket kabul* olmak üzere iki ayrı bileşen içerir (Özcan ve ark., 2008; Berberoğlu, 2011; Burke ve ark., 2013).

Sezgisel seçim: Sezgisel seçim yöntemleri önceden tanımlanmış eldeki alt sezgisellerden birini (veya bir sezgisel kümesini) seçer ve aday çözüme uygular. Bu yöntemler karar verme esnasında probleme özgü özel bilgileri kullanmazlar. Literatürde birçok sezgisel seçme yöntemi yer almaktadır (Özcan ve ark., 2008). Bunlardan en sık kullanılanları Çizelge 3.3.'de gösterilmiştir.

Çizelge 3.3. Sezgisel seçim stratejileri (Özcan ve ark., 2008)

Kısaltma	Strateji ismi
SR	Basit Rastsal (Simple Random)
RD	Rastsal İniş (Random Descent)
RP	Rastsal Permütasyon (Random Permutation)
RPD	Rastsal Permütasyon İniş (Random Permutation Descent)
CF	Seçim Fonksiyonu (Choice Function)
TS	Tabu Arama (Tabu Search)
GR	Açgözlü Seçim (Greedy Selection)

Sezgisel seçim stratejileri aşağıdaki gibi tanımlanır (Cowling ve ark., 2000; Özcan ve ark., 2008):

- **Basit Rastsal (Simple Random - SR):** Bu sezgisel seçim yöntemi alt sezgiseller kümesinden rastgele bir sezgisel seçer ve aday çözüme bir kez uygular.
- **Rastsal İniş (Random Descent - RD):** Rastsal iniş sezgisel seçim yöntemi alt sezgiseller kümesinden rastgele seçtiği bir sezgiseli çözümü iyileştirdiği müddetçe uygular.
- **Rastsal permütasyon (Random Permutation - RP):** Bu yöntem alt sezgisellerden rastgele bir başlangıç permütasyonu oluşturur ve her yinelemede bu permütasyon sırasına uygun olarak bir alt sezgiseli uygular.
- **Rastsal permütasyon iniş (Random Permutation Descent - RPD):** Rastsal permütasyon iniş yöntemi alt sezgiseli rastsal permütasyon gibi seçer ancak seçilen sezgiseli iyileşme olduğu müddetçe uygular.
- **Seçim fonksiyonu (Choice Function - CF):** Bu yöntem her bir alt sezgisel için bir skor değeri tutar ve en yüksek skor değerine sahip alt sezgiseli seçer. Seçilen alt sezgisel uygulandıktan sonra ise o sezgiselin skor değeri yeniden hesaplanır. Bu skor değeri üç parametreye göre hesaplanır: sezgisellerin tekil performansları,

sezgiseller arası ikili performanslar ve sezgiselin son kullanımından itibaren geçen süre.

- **Tabu arama (Tabu Search - TS):** Bu yöntem tabu arama yöntemine göre alt sezgiselleri seçer.
- **Açgözlü seçim (Greedy Selection - GR):** Bu yöntem açgözlü yöntemlerin çalıştığı gibi seçme işlemi yapar. Her adımda tüm alt sezgiselleri o anki çözüme uygular ve çözümü en iyi iyileştiren sezgiseli seçer.

Hareket kabul: Sezgisel seçim metotları ile seçilen sezgisel mevcut çözüme uygulanır ve yeni bir çözüm elde edilir. Hareket kabul yöntemleri bu çözümün kabul edilip edilmeyeceğine karar verir. Literatürde birçok hareket kabul yöntemi yer almaktadır (Özcan ve ark., 2008). Bunlardan en sık kullanılanları Çizelge 3.4’de gösterilmiştir.

Çizelge 3.4. Hareket kabul stratejileri (Özcan ve ark., 2008)

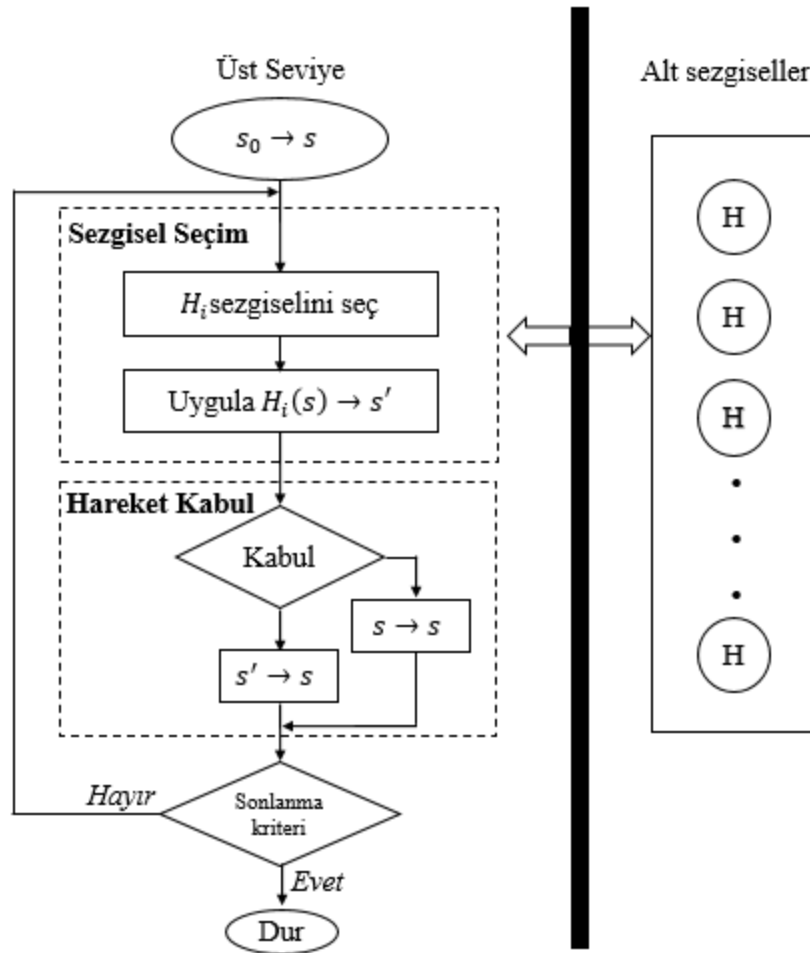
Kısaltma	Strateji ismi
AM	Tüm Hareketler (All Moves)
OI	Sadece Gelişen (Only Improving)
IE	Gelişen ve Eşit (Improving and Equal)
GD	Büyük Tufan (Great Deluge)

Hareket kabul yöntemleri aşağıdaki gibi tanımlanır (Özcan ve ark., 2008):

- **Tüm Hareketler (All Moves - AM):** Bu hareket kabul yöntemi en basit olanıdır. Bu yöntemde tüm hareketler kabul edilir. Yani yeni çözüm hiçbir değerlendirmeden geçmeden kabul edilir.
- **Sadece Gelişen (Only Improving - OI):** Bu hareket kabul yöntemi sadece gelişen hareketleri kabul eder. Yani yeni çözüm önceki çözüme göre değerlendirilir ve yeni çözümde gelişme olmuşsa bu çözüm kabul edilir.
- **Gelişen ve Eşit (Improving and Equal - IE):** Bu hareket kabul yöntemi sadece kötüleşen çözümleri kabul etmez. Sezgiselin ürettiği yeni çözüm önceki çözümle karşılaştırıldığında gelişmiş veya eşitse bu çözüm kabul edilir.
- **Büyük Tufan (Great Deluge - GD):** Bu hareket kabul yönteminde yeni çözüm her adımda hesaplanan seviye değerinden daha iyi veya eşit bir amaç değeri ürettiyorsa bu çözüm kabul edilir. İlk seviye değeri ilk aday

çözümün amaç değerine göre hesaplanır. Her adımda seviye değeri güncellenir.

Bir dizi alt sezgisel arasından seçim yapmak ve belirli bir probleme uygulamak için çeşitli üst sezgisel çerçeveler vardır. Bu çerçevelerden biri olan iki aşamalı bir pertürbatif üst sezgisel yaklaşım Şekil 3.4.'de gösterilmiştir. Bu yaklaşımda yukarıda tanımları verilen iki ana aşama vardır; sezgisel seçim ve hareket kabul. İlk aşama, alt sezgisellerden sezgisel seçer ve yeni çözüm üretmek için mevcut çözüme bu sezgiseli uygular. İkinci aşama, üretilen çözümün reddedilmesine veya kabul edilmesine karar verir. Daha sonra bu aşamalar sonlanma kriterleri sağlanıncaya kadar devam eder (Ozcan ve ark., 2009). Bu tez çalışmasında bu çerçeve kullanılmıştır.



Şekil 3.4. İki aşamalı pertürbatif üst sezgisel çerçeve (Ozcan ve ark., 2009)

3.4.1.2. Sezgisel üretim metodolojileri

Sezgisel seçim yöntemleri sezgiseller uzayında arama yaparken, sezgisel üretim yapan üst sezgisel yaklaşımlar sezgisellerin bileşenlerinden oluşan sezgiseller uzayında arama işlemi yaparlar. Sezgisel üretim yapan üst sezgiseller eldeki alt sezgiselleri kullanarak yeni sezgiseller üretirler. Yani bu üst sezgisellerin çıktısı yeni bir sezgiseldir. Bu üretilen yeni sezgisel yeni problemlere çözüm bulmak için tekrar tekrar kullanılabilir. Üretilen sezgiselin yeniden kullanılabilmesi ile daha genel bir yaklaşım elde edilmiş olunur (Burke ve ark., 2013; SEÇME, 2014).

Sezgisel üretim yapan üst sezgisel yaklaşımların birçok avantajı vardır. Bazı problemler çeşitli özelliklere sahiptir ve bu problemlerin en iyi sonucunu bulmak için yeni sezgisellere veya eldeki sezgisellerin farklılaşmış hallerine ihtiyaç vardır. Bu tür sezgiselleri el ile hazırlamak zor olabilir ve çeşitli maliyetlere neden olabilir. Bu gibi durumlarda sezgisel üretim yapan üst sezgisel yaklaşımlar uygun maliyetlerle sezgisel üretmeyi mümkün kılar. Otomatik olarak üretilen bu sezgiseller el ile oluşturulan sezgisellerden daha etkin sonuçlar üretebilmektedir (Burke ve ark., 2013).

3.5. ITC-2007 Sınav Çizelgeleme Problemlerinin Üst Sezgisel Yaklaşımlarla Çözümü

Tez çalışmasında kullanılan materyaller bundan önceki bölümlerde anlatılmıştır, bu bölümde ise tez çalışmasında uygulanan yöntem anlatılmıştır.

Çizelgeleme problemleri arasında literatürde en sık karşılaşılan problemlerden biri sınav çizelgeleme problemleri olduğunu belirtmiştik. Sınav çizelgeleme problemleri üniversiteler veya eğitim kurumlarında her sınav dönemi karşılaşılan, çözülmesi zaman ve zahmet gerektiren optimizasyon problemleridir. Sınav çizelgeleme problemlerinin çözümü için kaynak araştırması bölümünde de verildiği gibi literatürde birçok yöntem bulunmaktadır. Üst sezgisel yöntem bunlardan bir tanesidir.

Bu tez çalışmasında ITC-2007 sınav çizelgeleme problemlerine çözüm bulmak için üst sezgisel yaklaşımlar üzerine çalışılmıştır. Öncelikle tüm katı kısıtları sağlayan bir başlangıç popülasyonu oluşturulmuştur. Tek noktalı arama çerçevesine dayanan pertürbatif sezgisel seçen üst sezgisel iki yaklaşım tasarlanmıştır. Bu üst sezgisel yaklaşımlar sezgisel seçim ve hareket kabul olmak üzere iki bileşen içerir. Bu çalışmada sezgisel seçim kısmında basit rastsal – SR ve random permütasyon yönteminin

değiştirilmiş hali olan değiştirilmiş random permütasyon – MRP, hareket kabul kısmında ise sadece iyileşen – OI yöntemleri kullanılmıştır. Sezgisel seçim ve hareket kabul yöntemlerinin kombinasyonları SR - OI ve MRP - OI olmak üzere iki yaklaşım elde edilmiştir. Alt sezgisel olarak 11 tane alt sezgisel tasarlanmıştır. Oluşturulan iki üst sezgisel yaklaşım önce başlangıç popülasyonuna sonra bu popülasyondaki en iyi bireye uygulanmıştır. Önerilen yaklaşımına dair ayrıntılar bu bölümde verilmiştir.

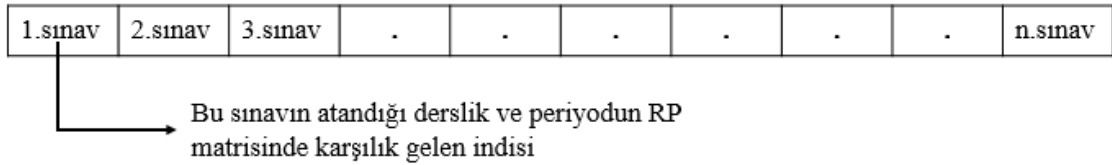
3.5.1. Birey gösterimi

Sınav çizelgeleme problemlerinde bir aday çözümü bir birey olarak tanımlayabiliriz. Sınav çizelgeleme problemlerini çözmeye başlarken ilk yapılacak şey bir bireyin yani aday çözümün nasıl temsil edileceği, nasıl kodlanacağıdır. Bu problemlerde bireyin gösterimi en önemli adımlardan biridir. Bu çalışmada da ilk olarak aday çözümün nasıl temsil edileceği belirlenmiştir.

Bu çalışmaya göre problemde kaç tane sınav varsa problemin boyutu da o sınav sayısı kadardır. Bir bireyin uzunluğu problemdeki sınav sayısı uzunluğu kadar ayarlanmıştır. Yani bireyin her bir geni bir sınavı temsil etmektedir veya sınav sayısı kadar gen bulunmaktadır denilebilir. Örneğin; problemde çizelgenecek 200 sınav olduğu varsayalım, bir birey de 1×200 olacak bir matristir. Problemdeki derslik (room) ve periyot (period) sayısına göre derslik ve periyodun kartezyen çarpımından bir Room X Period (RP Matrisi) matrisi oluşturulur. Bu RP matrisi problemdeki tüm dersliklerin periyotları tutar. Bu matrisin sütun sayısı biri derslik diğeri periyot olmak üzere her zaman ikidir. Matrisin satır sayısı ise derslik sayısı ve periyot sayısının çarpımı kadardır. Bireyin her bir geninin içeriği o genin temsil ettiği sınavın yerleşeceği derslik ve periyodun RP matrisinde denk geldiği indisdir. Bir bireyin gösterimi Şekil 3.5.'de verilmiştir. Yani bir gen bilgisi temsil ettiği sınavın hangi derslik ve periyoda atandığı bilgilerini tutar. Popülasyon bu bireylerden birden fazlasının bir araya gelmesiyle oluşur. Popülasyon birden fazla aday çözümü bir arada tutan matristir. Popülasyonun boyutu programcıya ve problemin yapısına göre değişir.

Örneğin; bir sınav çizelgeleme probleminde 200 sınav, 5 derslik ve 15 periyot olduğunu varsayalım. Bu durumda birey, RP matrisindeki indisler, $5 \times 15 = 75$ olduğundan 1 ile 75 arasında değer alır. Bireyin bir geninin 1 değerini alması demek RP matrisindeki 1 indisine karşılık gelen derslik ve periyoda atanmış olduğunu demektir. Bu durumda o genin temsil ettiği sınav 1. derslik ve 1. periyoda atanmıştır. Aynı şekilde bir genin 75

değerini alması demek RP matrisindeki 75 indisine karşılık gelen değerlere atanması demektir. Bu genin temsil ettiği sınav 5. derslik ve 15. periyoda atanmıştır. ITC-2007 sınav çizelgeleme problemlerinde sınavlarda öğrenci çakışması olmadığı durumlarda herhangi bir periyotta bir dersliğe birden fazla sınav atanabilir. Bu durumdan dolayı bir bireyin farklı genlerinde aynı değer olabilir. Aynı değer olan genlerin temsil ettiği sınavlar aynı derslik ve periyotta yapılacak anlamına gelir. Buradaki çakışma ifadesi bir sınavın bir başka sınavla ortak öğrencilerinin olması durumudur. Bu örnek problem için oluşturulan RP matrisi Şekil 3.6.'da, birey Şekil 3.7.'da ve popülasyon Şekil 3.8.'de gösterilmiştir.



Şekil 3.5. Sınav çizelgeleme için birey yapısı

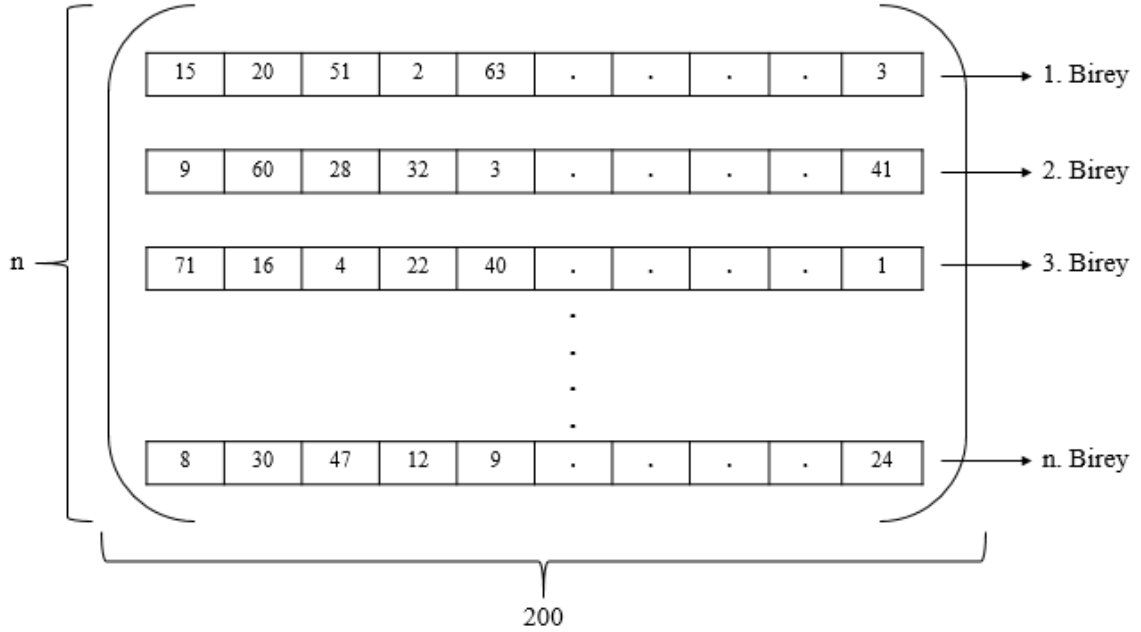
İndis	Room	Period	
1	1	1	→ 1. dersliğin (room) 1. periyodu
2	1	2	→ 1. dersliğin (room) 2. periyodu
.	.	.	.
.	.	.	.
15	1	15	→ 1. dersliğin (room) 15. periyodu
16	2	1	
17	2	2	.
.	.	.	.
.	.	.	.
30	2	15	→ 2. dersliğin (room) 15. periyodu
.	.	.	.
.	.	.	.
61	5	1	→ 5. dersliğin (room) 1. periyodu
62	5	2	.
.	.	.	.
.	.	.	.
75	5	15	→ 5. dersliğin (room) 15. periyodu

Şekil 3.6. Örnek RP matrisi

1.sınav	2.sınav	3.sınav	4.sınav	5.sınav	.	.	.	.	.	200.sınav
15	20	51	2	63	.	.	.	.	.	3

1. Sınav
1.derslik 15.periyoda atanmıştır.
 5. Sınav
5.derslik 3.periyoda atanmıştır.
 200. Sınav
1.derslik 3.periyoda atanmıştır.

Şekil 3.7. Örnek birey(aday çözüm)



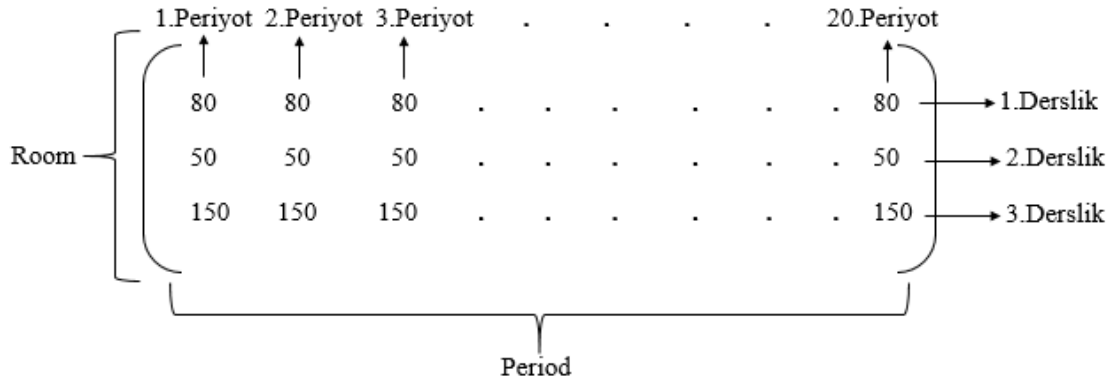
Şekil 3.8. Örnek popülasyon

3.5.2. Katı kısıtların sağlanması ve başlangıç popülasyonu

Sınav çizelgeleme problemlerinde uygulanabilir bir çözüm elde etmek için tüm katı kısıtların yerine getirilmesi gerekir. Bir çözüm katı kısıtlardan birini dahi ihlal etse o çözüm uygulanabilir bir çözüm olmaz. ITC-2007 sınav çizelgeleme problemlerinde de durum böyledir. Belirli katı kısıtlar vardır ve bunların hepsinin sağlanması gerekmektedir. Bu çalışmada üst sezgisel yaklaşımları tasarlamadan önce katı kısıtları sağlayan çözümler bulunmuştur. Bu çözümler ile başlangıç popülasyonu oluşturulmuştur. Başlangıç popülasyonu üretilmesi için katı kısıtları sağlayan birçok aday çözüme ihtiyaç vardır.

Katı kısıtları sağlayan bir başlangıç popülasyonu üretmek için bir algoritma oluşturulmuştur. Bu algoritma atama yapılacak sınav için, rastgeleliğe dayanarak ve belirli kontrolleri yaparak, uygun derslik ve periyodu bulmaya çalışır. Algoritma bir sınava derslik ve periyot ataması yaparken RP_Guncel adında bir matrisi kontrol ederek

güncelleme yapar. RP_Guncel matrisi dersliklerin periyotlara göre kapasitelerini tutan bir matristir. Bu matrisin satır sayısı derslik sayısı kadar sütun sayısı ise periyot sayısı kadardır. Bir sınava atama yapıldığında bu RP_Guncel matrisinde sınavın atandığı derslik ve periyotta yer alan değer sınavın kapasitesi kadar düşülerek güncellenir. Örneğin; bir sınav çizelgeleme probleminde 3 derslik ve 20 periyot olduğunu varsayalım. Dersliklerin kapasiteli sırasıyla 80,50 ve 150 olsun. Bu durumda algoritmanın başında oluşacak RP_Guncel matrisi Şekil 3.9.'da gösterilmiştir. İlk durumda tüm dersliklerin tüm periyotları kapasiteleri kadardır. Zamanla sınavlara atama yapıldıkça bu matrisin değerleri güncellenir. Algoritmada sınavlara uygun atamaların başladığı döngünün ilk çevriminde problemin periyot ve derslik bazlı katı kısıtları sağlanır ve büyük kapasiteli sınavlara atama yapılır. Periyot ve derslik bazlı katı kısıtlar yerine getirilmesi zorunlu kısıtlar olduğu için ilk adımda bu kısıtlar sağlanır daha sonra diğer sınavlara atama yapılmaya geçilir. Büyük kapasiteli sınavlara atama işlemi de ilk adımda yapılır. Bazı durumlarda sınavlara atama yapıldıktan sonra sıra büyük kapasiteli bir sınava geldiğinde dersliklerde bu büyük kapasiteli sınav için yer kalmadığı görülmüştür ve bu sınava yeterli gelecek derslik bulunamamıştır. Bu sorunun üstesinden gelmek için büyük kapasiteli sınavlara ilk adımda atama yapılır. Algoritma bir sınava atama yaparken rastgele uygun bir derslik ve rastgele uygun bir periyot seçer. Bu derslik ve periyoda daha önce atanmış sınav var mı ve oradaki sınavlar ile atama yapılacak sınav arasında bir öğrenci çakışması var mı kontrol eder. Eğer bir çakışma varsa yeni derslik ve periyot seçer. Çakışma yoksa veya daha önce oraya atanmış sınav yoksa RP_Guncel matrisinden kapasite kontrolü yapar. Kapasite yetersizse yeni derslik ve periyot seçer. Yukarıdaki kontrolleri tekrar yapar. Kapasitede uygunsa atanacak derslik ve periyodun RP matrisinden indisini bularak sınava atama yapar. Böylece bireyin bir geni oluşturulmuş olunur. İlk çevrimde yapılan periyot ve derslik bazlı katı kısıtların sağlanması ve büyük kapasiteli sınavlara atama yapılması adımlarında da yukarıda açıklanan bir sınava nasıl atama yapıldığı işlemleri yapılır. Farklı olarak katı kısıtların yerine getirilmesi için ek kontroller eklenir. Oluşturulan algoritmanın bir bireyi üreten sözde kodu Şekil 3.10.'da verilmiştir.



Şekil 3.9. Örnek RP_Guncel matrisi

```

RP_Guncel matrisini oluşturun
for i=1'den sınav sayısına kadar
    if i==1
        Periyot ve Derslik bazlı katı kısıtları sağla
        Büyük kapasiteli sınavları yerleştir
    end if
    if birey(i)==0
        Uygun derslikler arasından birini rastgele seç=room1
        Uygun periyotlar arasından birini rastgele seç=period1
        while RP_Guncel(room1,period1)<sınavın kapasitesi veya ÇakışmaVarsa(birey(i))
            Uygun derslikler arasından birini rastgele seç=room1
            Uygun periyotlar arasından birini rastgele seç=period1
        end while
        birey(i)=RP_indisata(room1,period1);//RP matrisinden room1 ve period1'e göre indis bul
        RP_Guncel(room1,period1)=RP_Guncel(room1,period1)-sınavın kapasitesi//RP_Guncel
        matrisini güncelle
    end if
end for

```

Şekil 3.10. Katı kısıtları sağlayan bir birey üreten algoritma sözde kodu

Katı kısıtları sağlayan bir birey üreten algoritmanın while kısmında bazı veri setlerinde sonsuz döngü oluşmuştur. Bunun nedeni bazı sınavların çok fazla çakışan sınavlarının olmasıdır. Çakışan sınavlar periyotları doldurmuştur ve atanacak sınava uygun periyot kalmamıştır. Bu gibi durumlara çözüm bulması açısından ÇakışanPeriyotlarıİyileştir adında bir fonksiyon yazılmıştır. Bu fonksiyon bir sınavın çakıştığı sınavlarının atandıkları periyotları boşaltmaya çalışır. Bu işlemi çakışan

sınavlara uygun başka bir periyot atayarak yapar. Böylece atama yapılacak sınav için uygun bir periyot bulunmuş olunur.

Şekil 3.10.'da verilen algoritma bir birey üreten algoritmadır. Başlangıç popülasyonu üretmek için bu algoritmayı en dış kısma popülasyon büyüklüğü kadar bir döngü eklenir. Böylece başlangıç popülasyonu oluşturulmuş olunur. Bu tez çalışmasında başlangıç popülasyonunun büyüklüğü 50 olarak belirlenmiştir.

3.5.3. Uygunluk ve amaç fonksiyonu

Uygunluk fonksiyonu bir çözümün uygun olup olmadığının tespit edilmesini sağlayan fonksiyondur. Uygun olmayan çözüm demek uygulanabilir bir çözüm değildir demektir. Bu çalışmada kullanılan ITC-2007 sınav çizelgeleme problemleri için uygunluk fonksiyonu çözümün katı kısıtları sağlayıp sağlamadığının kontrol edilmesidir. Çalışmada uygunluk fonksiyonu olarak değerlendirmek için HardConstraintControl isminde bir fonksiyon tasarlanmıştır. Bu fonksiyon parametre olarak aldığı aday çözümün katı kısıtları sağlayıp sağlamadığını kontrol eder. Fonksiyonun bir aday çözümde kontrol ettiği adımlar şu şekildedir;

- Her dersliğin her bir periyodu için kapasite kontrolü yapılır. Bir dersliğe atanan sınavların toplam kapasiteleri o dersliğin kapasitesini aşmaması gerekir.
- Öğrenci çakışması kontrolü yapılır. Aynı periyotta olan sınavların ortak öğrencilerinin olup olmadığı kontrol edilir. Bu işlem tüm periyotlar için yapılır. Aynı periyotta olan sınavlar aynı anda yapılacağından bu sınavların ortak öğrencileri olmamalıdır.
- Sınavların periyot süresini aşp aşmadığı kontrol edilir. Her bir sınav için sınav süresi ile atandığı periyodun süresi karşılaştırılır. Bir sınavın atandığı periyot süresini aşmaması gerekir.
- Periyod bazlı katı kısıtların sağlanıp sağlanmadığı kontrol edilir. Aday çözümün periyot bazlı katı kısıtların hepsini yerine getirmesi gerekir.
- Derslik bazlı katı kısıtların sağlanıp sağlanmadığı kontrol edilir. Aday çözümün derslik bazlı katı kısıtların hepsini yerine getirmesi gerekir.

HardConstraintControl fonksiyonunun geri döndürdüğü değer 0 ise aday çözüm tüm katı kısıtları yerine getirmiştir ve uygulanabilir bir çözümdür. Geri dönen değer 0'dan

farklı ise aday çözüm katı kısıtlardan birini yada birkaçını ihlal etmiştir ve uygulanabilir bir çözüm değildir.

Amaç fonksiyonu uygunluk fonksiyonundan uygun niteliğiyle geçen aday çözümü problemin amacına ne kadar yakın olup olmadığını ölçen fonksiyondur. ITC-2007 sınav çizelgeleme problemlerinde amaç fonksiyonu daha öncede bahsedildiği gibi yumuşak kısıt cezalarının toplamının minimize edilmesidir. Tasarlanan üst sezgisel yaklaşımların amacı budur. Amaç fonksiyonun matematiksel tanımı Denklem 3.20.'de verilmiştir. Denklem 3.20.'deki tanımlamaya uygun olarak CostFunction isminde bir fonksiyon tasarlanmıştır. Bu fonksiyon parametre olarak aldığı bir aday çözümün amaç fonksiyon değerini geri döndürür. Fonksiyon aday çözümün art arda iki sınav, günde iki sınav, sınavların belli bir zamana yayılması, bir periyotta farklı sınav süresi, çizelgenin sonların yer alan büyük kapasiteli sınavlar, periyot bazlı yumuşak kısıtlar ve derslik bazlı yumuşak kısıtlardan aldığı cezaları kurumsal model indeksinde verilen tanımlamalara göre hesaplar. Bu ceza değeri ne kadar düşük olursa aday çözüm o kadar amaca uygundur ve o kadar kalitelidir. Fonksiyonun sözde kodu Şekil 3.11.'de gösterilmiştir.

```
function [totalpenalty] = CostFunction(birey)
totalpenalty = 0;
totalpenalty = totalpenalty + TwoExamsinaRow(birey);
totalpenalty = totalpenalty + TwoExamsinaDay(birey);
totalpenalty = totalpenalty + PeriodSpread(birey);
totalpenalty = totalpenalty + MixedDurations(birey);
totalpenalty = totalpenalty + FrontLoad(birey);
totalpenalty = totalpenalty + PeriodBasedPenalty(birey);
totalpenalty = totalpenalty + RoomBasedPenalty(birey);
end function
```

Şekil 3.11. Amaç fonksiyonu sözde kodu

3.5.4. Tasarlanan üst sezgisel yaklaşımlar

Bu çalışmada pertürbatif sezgisel seçen üst sezgisel yaklaşımlar kullanılmıştır. Bu yaklaşımlar tek noktalı arama yapmaktadırlar. Tasarlanan bu üst sezgiseller iki aşamalı bir pertürbatif üst sezgisel çerçeve kullanır. Birinci aşama sezgisel seçim aşamasıdır. Çalışmada sezgisel seçim yöntemlerinden basit rastsal (simple random - SR) ve

değiştirilmiş rastsal permütasyon (modified random permutation - MRP) kullanılmıştır. Rastsal permütasyon (random permutation - RP) yönteminde alt sezgisellerin bir kere permütasyonu oluşturulur ve tüm çevrimler boyunca bu permütasyon kullanılırken değiştirilmiş rastsal permütasyon yönteminde bir permütasyon üretilir, üretilen permütasyonun sırasıyla tüm alt sezgiselleri uygulandıktan sonra yeni bir permütasyon üretilir. Bu adımlar durdurma kriteri sağlanıncaya kadar devam eder. Yapısındaki küçük farklılık ile rastsal permütasyon yönteminden ayrıldığı için değiştirilmiş rastsal permütasyon adı verilmiştir. SR ve MRP sezgisel seçim yöntemlerinin sözde kodları Şekil 3.12. ve Şekil 3.13.'de verilmiştir. Çerçevenin ikinci aşaması hareket kabul aşamasıdır. Çalışmada hareket kabul yöntemi olarak sadece gelişen (only improving - OI) yöntemi kullanılmıştır. Böylece ITC-2007 veri setleri için SR - OI ve MRP - OI olmak üzere iki üst sezgisel yaklaşım tasarlanmıştır. Üst sezgisel yapının üzerinde çalışacağı 11 tane alt sezgisel tasarlanmıştır.

```

Rastgele bir çözüm seç
while durdurma kriteri sağlanıncaya kadar
    Alt sezgiseller kümesinden rastgele bir sezgisel seç
    Seçtiğin sezgiseli çözüme uygula
    Üretilen yeni çözümün kabul edilip edilmeyeceğine karar ver (Hareket kabul aşaması)
end while

```

Şekil 3.12. SR yönteminin sözde kodu

```

Rastgele bir çözüm seç
while durdurma kriteri sağlanıncaya kadar
    Alt sezgisellerin rastgele bir permütasyonunu üret
    for i=1'den permütasyon uzunluğu kadar
        Permütasyon sırasındaki alt sezgiseli seç
        Seçtiğin sezgiseli çözüme uygula
        Üretilen yeni çözümün kabul edilip edilmeyeceğine karar ver (Hareket kabul aşaması)
    end for
end while

```

Şekil 3.13. MRP yönteminin sözde kodu

3.5.4.1. Alt sezgiseller

Bu tez çalışmasında bizim tarafımızdan 11 farklı alt sezgisel tasarlanmıştır. Bu sezgisellerin tasarlanma amacı eldeki çözümden daha iyi bir çözüm elde etmektir. Çalışmada etkili alt sezgiseller tasarlanarak üst sezgisel yaklaşımların başarısının artırılmasına odaklanılmıştır. Tasarlanan tüm alt sezgiseller Çizelge 3.5.'de verilmiştir.

Çizelge 3.5. Tasarlanan alt sezgiseller

Kısaltma	Sezgisel adı
h_1	Rastgele Mutasyon (RandomMutation)
h_2	Rastgele Takas (RandomExchange)
h_3	Rastgele Periyot Mutasyon (RandomPeriodMutation)
h_4	Rastgele Periyot Takas (RandomPeriodExchange)
h_5	Rastgele Derslik Mutasyon (RandomRoomMutation)
h_6	Rastgele Derslik Takas (RandomRoomExchange)
h_7	Maksimum Cezalı Yer Değiştirme (MoveMaxPenalty)
h_8	Maksimum Cezalı Takas (SwapMaxPenalty)
h_9	Maksimum Tekli Cezalı Yer Değiştirme – 1 (MoveMaxSinglePenalty_1)
h_{10}	Maksimum Tekli Cezalı Yer Değiştirme – 2 (MoveMaxSinglePenalty_2)
h_{11}	Maksimum Tekli Cezalı Yer Değiştirme – 3 (MoveMaxSinglePenalty_3)

h_1 - Rastgele Mutasyon (RandomMutation): Bu sezgisel parametre olarak aldığı bireyin rastgele bir genine (o genin temsil ettiği snavı) parametre olarak verilen aralıklar arasında yeni bir değer üretir. Yani bir geni mutasyona uğratır.

h_2 - Rastgele Takas (RandomExchange): Bu sezgisel parametre olarak aldığı bireyin rastgele seçtiği iki genini (sınavını) karşılıklı olarak yer değiştirir, takas işlemi yapar.

h_3 - Rastgele Periyot Mutasyon (RandomPeriodMutation): Bu sezgisel parametre olarak aldığı bireyin rastgele seçilen bir genine yeni bir periyot ataması yapar. Yani bireyin periyot değerini mutasyona uğratır.

h_4 - Rastgele Periyot Takas (RandomPeriodExchange): Bu sezgisel parametre olarak aldığı bireyin rastgele seçtiği iki geninin periyotlarını karşılıklı olarak yer değiştirir, genlerde periyot takası yapar.

h_5 - Rastgele Derslik Mutasyon (RandomRoomMutation): Bu sezgisel parametre olarak aldığı bireyin rastgele seçilen bir genine yeni bir derslik ataması yapar. Yani bireyin derslik değerini mutasyona uğratır.

h_6 - Rastgele Derslik Takas (RandomRoomExchange): Bu sezgisel parametre olarak aldığı bireyin rastgele seçtiği iki geninin dersliklerini karşılıklı olarak yer değiştirir, genlerde derslik takası yapar.

h_7 - Maksimum Cezalı Yer Değiştirme (MoveMaxPenalty): Bu sezgisel parametre olarak aldığı bireyin İkili Ceza Matrisini (DualPenaltyMatrix) hesaplar. Bu matrise göre en yüksek cezalı 10 gen arasından birini rastgele seçer. Rastgele seçtiği gene yeni bir değer atar. Burada kullanılan ikili ceza matrisi, bir sınavın diğer sınavlarla ilişkisinden dolayı aldığı cezaları tutan matristir. Bu matrisin satır sayısı sınav sayısı kadar sütun sayısı ise sınav sayısının bir fazlası kadardır. İki sınavın birbiriyle ilişkisinden oluşan ceza hesaplanırken iki yumuşak kısıta bakılır. Bunlardan biri art arda sınavlar yumuşak kısıttır. Eğer bu iki sınav art arda ve ortak öğrencileri varsa ceza değeri hesaplanır. Diğer yumuşak kısıt bir periyotta farklı sınav süresi yumuşak kısıttır. Eğer bu iki sınav aynı periyotta ve sınav uzunlukları farklı ise ceza değeri hesaplanır. Matrisin son sütununa ilgili satırdaki sınav için tüm sınavlarla bu iki yumuşak kısıttan elde edilen cezaların toplamı yazılır. Örneğin; bir sınav çizelgeleme probleminde 30 sınav olsun. Bu durumda oluşacak ikili ceza matrisi Şekil 3.14.'te gösterilmiştir.

Bir sınav kendisiyle ilişkisinden ceza almaz

1. sınavın 2. sınavla ilişkisinden aldığı ceza

1. sınavın tüm sınavlarla ilişkisinden aldığı toplam ceza

	1.sınav	2.sınav	3.sınav	.	.	.	.	29.sınav	30.sınav	Toplam	
1.sınav	0	25	0	30	0	0	.	.	0	25	130
2.sınav	25	0	10	0	0	0	.	.	0	5	70
3.sınav	0	10	0	10	0	0	.	.	10	0	50
.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
29.sınav	0	0	10	0	0	0	.	.	0	5	20
30.sınav	25	5	0	0	0	0	.	.	5	0	80

30. sınavın 2. sınavla ilişkisinden aldığı ceza

30. Sınavın toplam cezası

Şekil 3.14. Örnek ikili ceza matrisi

h_8 - Maksimum Cezalı Takas (SwapMaxPenalty): Bu sezgisel parametre olarak aldığı bireyin ikili ceza matrisini hesaplar. Bu matrise göre en yüksek cezalı 100 sınav arasından birini rastgele seçer. Rastgele seçtiği bir başka sınav ile bu sınavın değerlerini karşılıklı olarak değiştirir, takas yapar.

h_9 - Maksimum Tekli Cezalı Yer Değiştirme – 1 (MoveMaxSinglePenalty_1):

Bu sezgisel parametre olarak aldığı bireyin Tekli Ceza Matrisi_1'i (SinglePenaltyMatrix_1) hesaplar. Bu matris sınavların çizelgenin sonlarında yer alan büyük kapasiteli sınavlar yumuşak kısıtından aldığı cezaları tutar. Sezgisel bu matrise göre ceza almış sınavlardan birini rastgele seçer. Bu sınava uygun bir periyot bulup atama yapar. Örneğin; bir sınav çizelgeleme probleminde 30 sınav olduğunu ve çizelgenin sonlarında yer alan büyük kapasiteli sınavlar yumuşak kısıt ağırlığının kurumsal model indeksinde 15 olarak verildiğini varsayalım. Bu durumda oluşacak tekli ceza matrisi_1 Şekil 3.15.'te gösterilmiştir.

1.sınav	2.sınav	3.sınav	.	.	.	.	.	.	29.sınav	30.sınav
15	0	15	0	0	.	.	.	0	0	15

1. sınavın çizelgenin sonlarında yer alan büyük kapasiteli sınavlar kısıtından cezası 15'dir.

Şekil3.15. Örnek tekli ceza matrisi_1

h_{10} - Maksimum Tekli Cezalı Yer Değiştirme – 2 (MoveMaxSinglePenalty_2):

Bu sezgisel parametre olarak aldığı bireyin Tekli Ceza Matrisi_2'yi (SinglePenaltyMatrix_2) hesaplar. Bu matris sınavların derslik bazlı yumuşak kısıtından aldığı cezaları tutar. Sezgisel bu matrise göre ceza almış sınavlardan birini rastgele seçer. Bu sınava uygun bir derslik bulup atama yapar. Örneğin; bir sınav çizelgeleme probleminde 30 sınav olduğunu ve bazı dersliklerin cezalı olduğunu varsayalım. Bu durumda oluşacak tekli ceza matrisi_2 Şekil 3.16.'da gösterilmiştir.

1.sınav	2.sınav	3.sınav	.	.	.	.	.	.	29.sınav	30.sınav
50	0	0	0	0	.	.	.	0	25	0

1. sınavın atandığı derslik cezalı olduğundan derslik bazlı yumuşak kısıt cezası 50'dir.

Şekil3.16. Örnek tekli ceza matrisi_2

h_{11} - Maksimum Tekli Cezalı Yer Değiştirme – 3 (MoveMaxSinglePenalty_3):

Bu sezgisel parametre olarak aldığı bireyin Tekli Ceza Matrisi_3'ü

(SinglePenaltyMatrix_3) hesaplar. Bu matris sınavların periyot bazlı yumuşak kısıtından aldığı cezaları tutar. Sezgisel bu matrise göre ceza almış sınavlardan birini rastgele seçer. Bu sınava uygun bir periyot bulup atama yapar. Örneğin; bir sınav çizelgeleme probleminde 30 sınav olduğunu ve bazı periyotların cezalı olduğunu varsayalım. Bu durumda oluşacak tekli ceza matrisi_3 Şekil 3.17.'de gösterilmiştir.

1.sınav	2.sınav	3.sınav	.	.	.	.	.	29.sınav	30.sınav	
20	0	15	0	0	.	.	.	0	0	50

1. sınavın atandığı periyot cezalı olduğundan periyot bazlı yumuşak kısıt cezası 20'dir.

Şekil3.17. Örnek tekli ceza matrisi_3

3.5.4.2. Üst sezgiseller

Tez çalışmasında ITC-2007 sınav çizelgeleme problemlerinden seçilen veri setleri için SR_OI ve MRP_OI olmak üzere iki üst sezgisel yaklaşım tasarlanmıştır. Tasarlanan bu üst sezgiseller yaklaşımlar alt seviyedeki 11 adet sezgiseli kullanarak önce popülasyon bazlı olarak sonra popülasyonun en iyi bireyi seçilerek bu bireye uygulanmıştır. SR_OI ve MRP_OI üst sezgisel yaklaşımların sözde kodları sırasıyla Şekil 3.18. ve Şekil 3.19.'da verilmiştir.

```

Başlangıç çözüm (çözümleri) yükle
Amaç fonksiyonu değerlerini hesapla, en iyi bireyi sakla
while durdurma kriteri sağlanıncaya kadar
     $h$  sezgiselini ( $h_1, h_2, h_3, \dots, h_{11}$ ) alt sezgisel kümesinden rastgele seç
     $h$  sezgiselini çözüme uygula ve yeni çözüm üret
    Yeni çözümün uygunluk değerini hesapla
    if yeni çözüm uygulanabilir ise
        Yeni çözümün amaç fonksiyon değerini hesapla
        if yeni çözümün amaç fonksiyon değeri < en iyi bireyin amaç fonksiyon değeri
            Yeni çözümü kabul et
            En iyi bireyi güncelle
        end if
    end if
end while

```

Şekil 3.18. SR_OI üst sezgiselinin sözde kodu

```

Başlangıç çözümü (veya çözümleri) yükle
Amaç fonksiyonu değerlerini hesapla, en iyi bireyi sakla
for  $i=1$ 'den, durdurma kriteri sağlanıncaya kadar,  $i=i+11$ 
    ( $h_1, h_2, h_3, \dots, h_{11}$ ) alt sezgisel kümesinden rastgele bir permütasyon üret
    for  $j=1$ 'den permütasyon uzunluğu kadar
        Permütasyon sırasındaki  $h$  sezgiselini seç
         $h$  sezgiselini çözüme uygula ve yeni çözüm üret
        Yeni çözümün uygunluk değerini hesapla
        if yeni çözüm uygulanabilir ise
            Yeni çözümün amaç fonksiyon değerini hesapla
            if yeni çözümün amaç fonksiyon değeri < en iyi bireyin amaç fonksiyon değeri
                Yeni çözümü kabul et
                En iyi bireyi güncelle
            end if
        end if
    end for
end for

```

Şekil 3.19. MRP_OI üst sezgiselinin sözde kodu

ITC-2007 sınav çizelgeleme problemleri minimizasyon problemi oldukları için SR_OI ve MRP_OI yaklaşımlarında hareket kabul kısmında yeni çözümün amaç fonksiyon değeri en iyi bireyin amaç fonksiyon değerinden daha küçükse bu çözüm daha iyidir ve kabul edilir.

MRP_OI üst sezgisel yaklaşımında en dıştaki durdurma kriteri sağlanana kadar devam eden ana döngü her çevrimden sonra 11 artacak şekilde tasarlanmıştır. Bu nedeni ana döngünün her çevriminde, 11 adet olan alt sezgisellerin bir permütasyonu oluşturularak her biri sırayla uygulanır ve amaç fonksiyonu 11 defa çağrılır. Böylece ana döngü her çevrimde 11 artarak devam eder.



4. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA

Bu bölümde ITC-2007 sınav çizelgeleme problemleri için tasarlanan üst sezgisel yaklaşımların deneysel çalışmaları ve bu çalışmaların ayrıntıları verilmiştir.

4.1. ITC-2007 Veri Setleri

Bu çalışmada ITC-2007 sınav çizelgeleme problemleri üzerine çalışılmıştır. ITC-2007 sınav çizelgeleme problemleri erken set, geç set ve gizli set olmak üzere üç kümeden oluşmaktadır. Her sette 4 veri seti vardır. Böylece, toplam on iki veri seti vardır. Literatürdeki çalışmalarda genelde bu veri setlerinin erken ve geç seti yani sekiz tanesi kullanılmıştır. Tüm veri setlerinin detaylı bilgileri Çizelge 4.1.'de verilmiştir.

Çizelge 4.1. ITC-2007 sınav çizelgeleme veri setleri

Veri setleri	Sınav Sayısı	Öğrenci Sayısı	Periyot Sayısı	Derslik Sayısı	Çakışma Yoğunluğu
Veri seti-1	607	7891	54	7	5,05
Veri seti-2	870	12.743	40	49	1,17
Veri seti-3	934	16.439	36	48	2,62
Veri seti-4	273	5045	21	1	15
Veri seti-5	1018	9253	42	3	0,87
Veri seti-6	242	7909	16	8	6,16
Veri seti-7	1096	14.676	80	15	1,93
Veri seti-8	598	7718	80	8	4,55
Veri seti-9	169	655	25	3	7,84
Veri seti-10	214	1577	32	48	4,97
Veri seti-11	934	16.439	26	40	2,62
Veri seti-12	78	1653	12	50	18,45

Tez çalışmasında Çizelge 4.1.'de verilen veri setlerinden 5 tanesi kullanılmıştır. Bunlar veri seti-1, veri seti-2, veri seti-3, veri seti-5 ve veri seti-6'dır.

4.2. Kullanılan Parametreler

Çalışmadaki tüm algoritmalar, üst sezgisel yaklaşımlar MATLAB ortamında geliştirilmiş ve bu ortamda test edilmiştir. Tasarlanan üst sezgisel yaklaşımların deneysel çalışmalarında öncelikle popülasyon bazlı çalışmalar yapılmış daha sonra bu popülasyondan en iyi birey seçilerek en iyi birey bazlı çalışmalar yapılmıştır. Popülasyon bazlı çalışmalarda popülasyon büyüklüğü 50 olarak alınmıştır. Tüm çalışmalarda iterasyon sayısı 100.000 olarak alınmıştır. Tüm çalışmalar aynı başlangıç çözümleri ile

10 kez (10 run) bağımsız çalıştırılmıştır. Tüm çalışmalarda alt sezgisel sayısı 11'dir. Çalışmalara dair parametreler Çizelge 4.2.'de verilmiştir.

Çizelge 4.2. Üst sezgisel yaklaşımların parametreleri

Parametre	Değer
Popülasyon Büyüklüğü	50
İterasyon Sayısı	100.000
Çalıştırılma Sayısı (run)	10
Alt Sezgisel Sayısı	11

4.3. Popülasyon Bazlı Sonuçlar

Tez çalışmasında tasarlanan üst sezgisel yaklaşımların kullanıldığı ilk çalışmalar popülasyon bazlı çalışmalar olmuştur. Popülasyon bazlı çalışmalarda iki farklı yapı test edilmiştir. Bunlardan birincisinde başlangıçta bir popülasyon oluşturulmuş ve üst sezgiseller iterasyon sayısı boyunca bu popülasyon üstünde çalıştırılmıştır. İkincisinde ise başlangıçta bir popülasyon üretilmiş, iterasyon sayısının %25'i bu popülasyon üzerinde çalıştırılmıştır. Daha sonra bu popülasyondaki en iyi 10 birey seçilmiş iterasyon sayısının %25'i kadar bu yeni popülasyon üzerinde çalıştırılmıştır. En son aşamada ise bu 10 birey içinden en iyi birey seçilmiş ve iterasyon sayısının %50'si kadar çalıştırılmıştır. Bu ikinci yaklaşımın birinci yaklaşıma göre daha iyi sonuç verdiği görülmüştür. İkinci yaklaşımda birey sayısı azaltılarak en iyi bireyin tutulup ve bu en iyi bireyin üstünde yaklaşımların çalıştırılmasına yönelik bir yol izlendiği için bu yaklaşım daha başarılı sonuçlar verdiği düşünülmektedir. Sonuçlar aşağıdaki çizelgelerde verilmiştir.

Popülasyonun bireyleri arasında bir bilgi paylaşımı veya bir etkileşim olmadığı için iterasyonlar boyunca sadece en iyi bireye sıra geldiğinde onun iyileştiği, diğer bireylerin ise bu bireyi geçemediği görülmüştür. Popülasyon bazlı çalışmalarda popülasyonun diğer bireylerinin bir katkısı olmadığı sadece en iyi bireyde güncelleme olduğu görüldükten sonra en iyi bireyi seçip onun üzerinden çalışmalara devam edilmesi düşünülmüş ve tek birey bazlı çalışmalar yapılmıştır. Popülasyon bazlı çalışmalar sadece 1. veri setine 1 kez uygulanmıştır. 1. veri setinde alınan sonuçlar doğrultusunda tek birey bazlı çalışmaların daha iyi sonuçlar vereceği düşünüldüğü için popülasyon bazlı çalışmalar diğer veri setlerine uygulanmamıştır.

Çizelge 4.3. Popülasyon bazlı sonuçlar

Veri seti	SR_OI	MRP_OI
Veri seti-1	12115	12089

Çizelge 4.4. Azalan popülasyon bazlı sonuçlar

Veri seti	SR_OI	MRP_OI
Veri seti-1	11090	11120

4.4. Tek Birey Bazlı Sonuçlar

Tez çalışmasında popülasyon bazlı çalışmalardan sonra ikinci kısım olarak tek birey bazlı çalışmalar yapılmıştır. Başlangıçta üretilen başlangıç popülasyonun en iyi bireyi seçilmiş ve iterasyonlar boyunca alt sezgiseller bu en iyi bireye uygulanmıştır. Bu kısım çalışmaları popülasyon bazlı çalışmalardan daha iyi ve daha hızlı sonuçlar vermiştir. Çizelge 4.5'te 5 veri seti için SR_OI ve MRP_OI üst sezgisel yaklaşımlarının 10 kez çalıştırılmalarında buldukları en iyi, en kötü sonuçlar ve standart sapma değerleri verilmiştir. Her kategori kendi arasında karşılaştırılmış ve daha iyi olan sonuçlar koyu yazılmıştır. SR_OI ve MRP_OI yaklaşımlarının başlangıç çözümleri aynıdır.

Çizelge 4.5. Tek birey bazlı sonuçlar

Veri seti	SR_OI			MRP_OI		
	En İyi	En Kötü	Standart Sapma	En İyi	En Kötü	Standart Sapma
Veri seti-1	10549	10762	57,71048	10319	10915	151,4147
Veri seti-2	1379	1874	217,0371	1623	1798	63,6596
Veri seti-3	24488	24857	166,688	23283	24690	633,1763
Veri seti-5	7119	8028	372,1144	7705	7978	101,7819
Veri seti-6	32225	33805	553,5504	31460	33815	844,3341

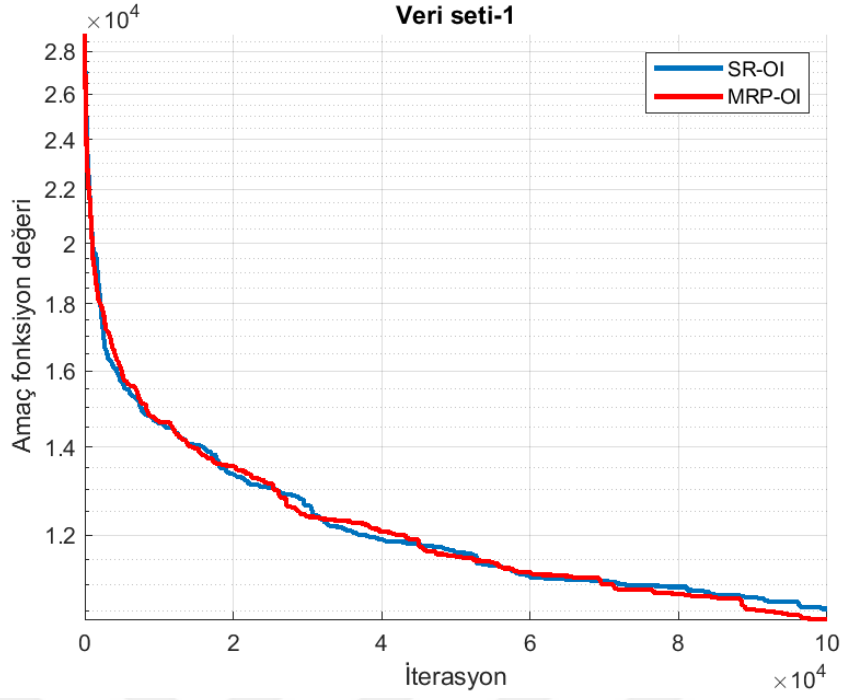
Çizelge 4.5.'teki SR_OI ve MRP_OI üst sezgisel yaklaşımlarının veri setlerinde gösterdikleri en iyi sonuçları incelersek; 1. veri setinde MRP_OI yaklaşımı küçük bir farkla SR_OI yaklaşımından daha iyi bir çözüm bulmuştur. 2. veri setinde SR_OI yaklaşımı MRP_OI yaklaşımından daha iyi bir çözüm bulmuştur. 3. veri setinde MRP_OI yaklaşımı büyük bir farkla SR_OI yaklaşımından daha iyi bir çözüm bulmuştur. 5. veri setinde SR_OI yaklaşımı MRP_OI yaklaşımından daha iyi bir çözüm bulmuştur. 6. veri setinde ise MRP_OI yaklaşımı SR_OI yaklaşımından büyük bir farkla daha iyi bir çözüm bulmuştur. Hem SR_OI üst sezgisel yaklaşımı hem MRP_OI üst sezgisel yaklaşımı ikisi

de rastsalığa bağlı oldukları için kesin bir şekilde bu yaklaşım bundan iyidir yargısı yapılamamıştır. Bu yaklaşımların yakınsama grafiklerinde de görüleceği gibi genelde birbirine yakın çözümler bularak çözüm arama sürecini tamamlamışlardır. Ama denenen beş veri setinden üçünde MRP_OI üst sezgisel yaklaşımı daha başarılı sonuçlar verdiği için bu yaklaşıma SR_OI üst sezgisel yaklaşımına göre bir nebze daha başarılıdır yorumu yapılabilir.

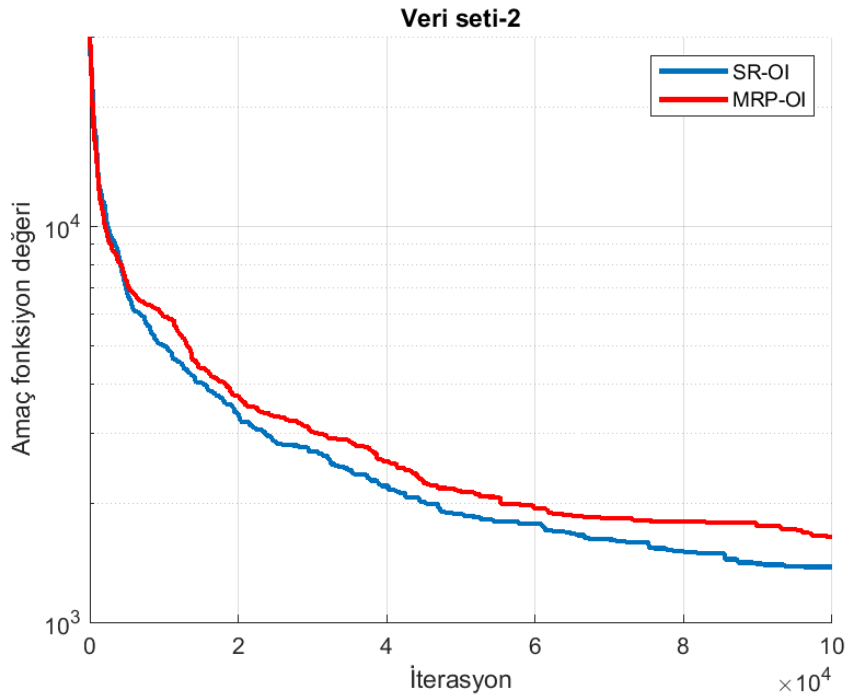
Çizelge 4.5.'teki SR_OI ve MRP_OI üst sezgisel yaklaşımlarının veri setlerinde gösterdikleri en kötü sonuçları incelersek; 1. ve 6. veri setlerinde SR_OI üst sezgisel yaklaşımı MRP_OI üst sezgisel yaklaşımından daha iyi çözüm bulmuştur. 2., 3. ve 5. veri setlerinde ise MRP_OI üst sezgisel yaklaşımı SR_OI üst sezgisel yaklaşımından daha iyi çözüm bulmuştur. Bu sonuçlarda da denenen beş veri setinden üçünde MRP_OI üst sezgisel yaklaşımı daha başarılı sonuçlar vermiştir.

Çizelge 4.5.'teki SR_OI ve MRP_OI üst sezgisel yaklaşımlarının standart sapma değerlerini incelersek; 1., 3. ve 6. veri setlerinde SR_OI üst sezgisel yaklaşımı MRP_OI üst sezgisel yaklaşımına göre daha istikrarlı çözümler bulmuştur. 2. ve 5. veri setlerinde ise MRP_OI üst sezgisel yaklaşımı SR_OI üst sezgisel yaklaşımına göre daha istikrarlı çözümler bulmuştur. Bu sonuçlara göre SR_OI üst sezgisel yaklaşımının MRP_OI üst sezgisel yaklaşımına göre daha kararlı olduğu yorumu yapılabilir.

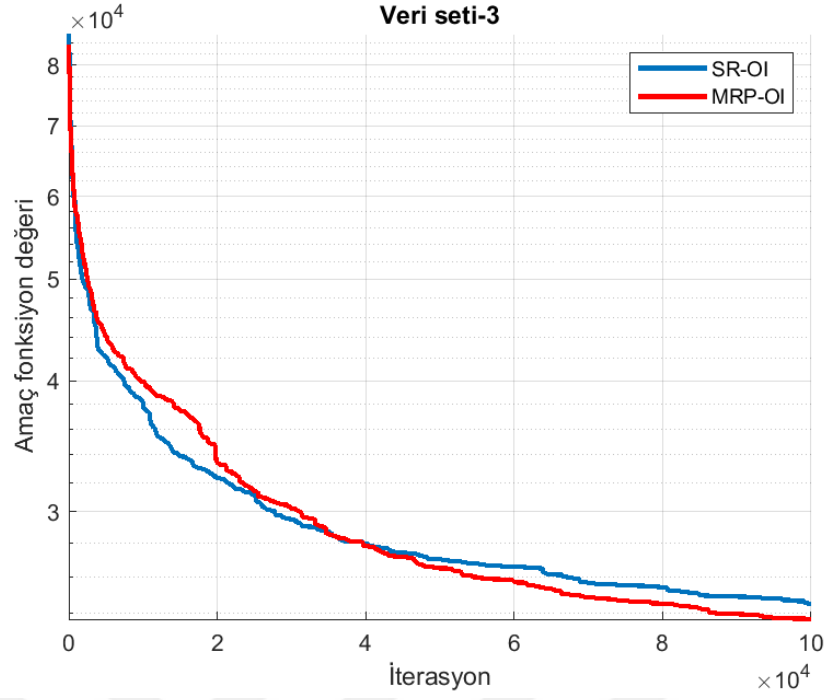
Aşağıdaki şekillerde SR_OI ve MRP_OI üst sezgisel yaklaşımlarının buldukları en iyi sonuçlara göre yakınsama eğrileri verilmiştir.



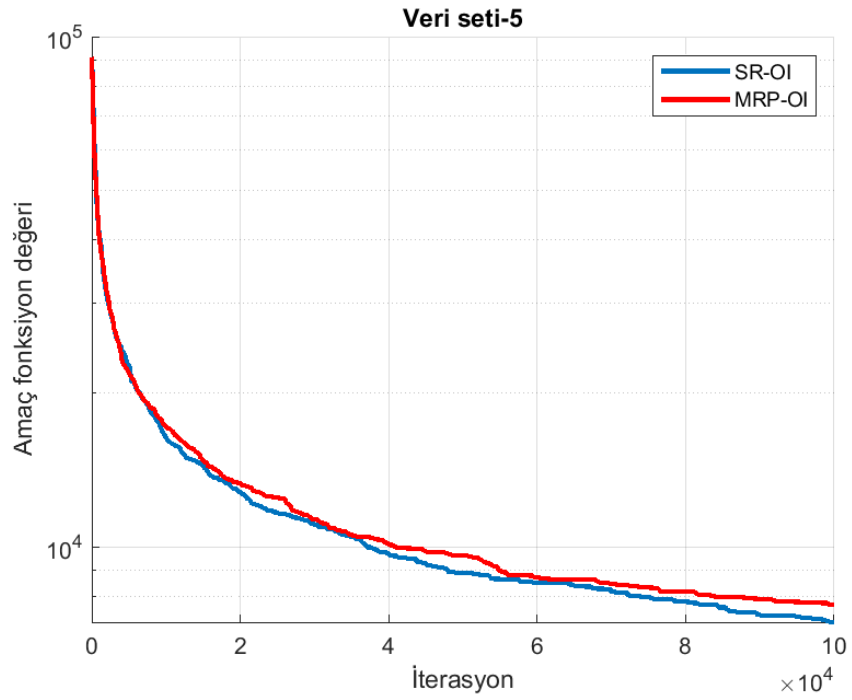
Şekil 4.1. Üst sezgisel yaklaşımların 1. veri setinde yakınsama eğrileri



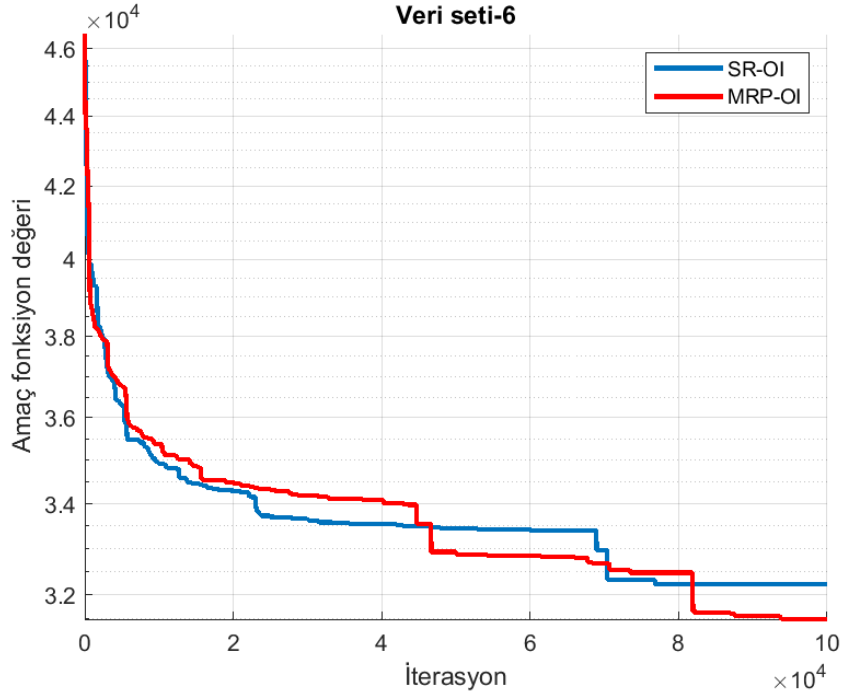
Şekil 4.2. Üst sezgisel yaklaşımların 2. veri setinde yakınsama eğrileri



Şekil 4.3. Üst sezgisel yaklaşımların 3. veri setinde yakınsama eğrileri



Şekil 4.4. Üst sezgisel yaklaşımların 5. veri setinde yakınsama eğrileri



Şekil 4.5. Üst sezgisel yaklaşımların 6. veri setinde yakınsama eğrileri

4.5. Önerilen Yaklaşımların Literatürdeki Yöntemler ile Karşılaştırılması

Literatürde ITC-2007 sınav çizelgeleme problemlerinin çözümü üzerine birçok çalışma görmek mümkündür. Bu problemleri çözmek için birçok farklı yöntem önerilmiştir. Bizim çalışmamızda bunlardan bir tanesidir. Burada sınav çizelgeleme problemlerini çözmek için üst sezgisel yaklaşımlar denenmiştir. Denenen bu yaklaşımları literatürdeki bazı çalışmalar ile karşılaştırılması Çizelge 4.6.'da verilmiştir. İlgili veri setindeki en iyi sonuçlar koyu yazılmıştır.

Çizelge 4.6. Tasarlanan üst sezgisellerin diğer yöntemlerle karşılaştırılması

Veri seti	SR_OI	MRP_OI	Y1	Y2	Y3	Y4	Y5	Y6	Y7	Y8
Veri seti-1	10549	10319	6235	4775	4370	4368	11823	9885	12035	6582
Veri seti-2	1379	1623	2974	385	385	390	976	393	3074	1517
Veri seti-3	24488	23283	15832	8996	9378	9830	26770	19931	15917	11912
Veri seti-5	7119	7705	4873	2929	2988	3022	6772	4065	6860	17659
Veri seti-6	32225	31460	31756	25740	26365	25995	30980	29935	32250	26905

Çizelge 4.7. Karşılaştırılan yöntemler

Kısaltma	Yöntem
Y1	Hibrit Üst Sezgisel Yaklaşım (Burke ve ark., 2010c)
Y2	Geliştirilmiş Çok Aşamalı Algoritma (Gogos ve ark., 2012)
Y3	Üç Aşamalı Kısıt Tabanlı Yaklaşım (Müller, 2009)
Y4	Büyük Tufan Algoritması Kullanan Hibrit Yaklaşım (Turabieh ve Abdullah, 2011)
Y5	Harmoni Arama Tabanlı Üst Sezgisel (Anwar ve ark., 2013)
Y6	Geliştirilmiş Harmoni Arama Tabanlı Üst Sezgisel (Anwar ve ark., 2014)
Y7	Gelişimsel Yaklaşım (Pillay, 2008)
Y8	Yapay Arı Kolonisi Algoritması (Alzaqebah ve Abdullah, 2011b)

Çizelge 4.6.'daki karşılaştırma sonuçlarına bakılırsa; 1. veri setinde SR_OI ve MRP_OI üst sezgisel yaklaşımlarının 5. ve 7. yöntemlerden daha iyi çözüm buldukları, 6. yönteme ise yaklaştıkları görülmektedir. 2. veri setinde SR_OI ve MRP_OI üst sezgisel yaklaşımları 1. ve 7. yöntemlerden daha iyi çözüm bulmuşlardır. Ayrıca bu veri setinde SR_OI yaklaşımı 8. yöntemden daha iyi çözüm bulmuş, MRP_OI yaklaşımı ise 8. yönteme yaklaşmıştır. 3. veri setinde SR_OI ve MRP_OI yaklaşımları 5. yöntemden daha iyi çözüm bulmuşlardır. 5. veri setinde SR_OI ve MRP_OI yaklaşımları 8. yöntemden daha iyi çözüm bulmuşlardır. Ayrıca bu veri setinde yaklaşımlar 5. ve 7. yöntemlere yaklaşmışlardır. 6. veri setinde SR_OI ve MRP_OI yaklaşımları 7. yöntemden daha iyi çözüm bulmuşlardır. Bu veri setinde MRP_OI yaklaşımı 1. yöntemden daha iyi sonuç bulmuş ve 5. yönteme yaklaşmıştır. Bu yorumlardan yola çıkarak tasarlanan üst sezgisellerin en başarılı sonucu vermediği ama bazı çalışmalara bazı veri setlerinde üstün geldiği görülmektedir. Tasarlanan bu üst sezgisel yaklaşımların karşılaştırılabilir olduğu hatta bazı çalışmalar ile rekabetçi olacağı çıkarımı yapılabilir. Bu üst sezgisel çalışmaların daha iyi sonuçlar vermesi için geliştirilmesi gerektiği açıktır.

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Sınav çizelgeleme problemleri özellikle üniversitelerde her sınav döneminde karşılaşılan çözülmesi güç, zaman ve zahmet gerektiren kısıtlı optimizasyon problemleridir. Sınav çizelgelerinin öğrenciye, gözetmenlere, yöneticiler vs. daha uygun olması için belirli kısıtlar vardır. Bu kısıtlar ne kadar fazla olursa problem de bir o kadar zorlaşmaktadır. Literatürde bu optimizasyon problemleri çözümü için sunulmuş birçok çalışma yer almaktadır. Bu tez çalışmasında da sınav çizelgeleme problemlerinin çözülmesine odaklanılmıştır.

Gerçekleştirilen bu çalışmada sınav çizelgeleme problemlerinin çözümü için üst sezgisel yaklaşımlar tasarlanmıştır. Problem olarak ITC-2007 tarafından sunulan on iki adet sınav çizelgeleme problemleri arasından beş tanesi kullanılmıştır. Bu problemlerin çözümünde önce katı kısıtları sağlayan kabul edilebilir çözümler elde edilmiş, daha sonra yumuşak kısıtların sağlanması ve çözümü daha kaliteli hale getirmek için üst sezgisel yaklaşımlar kullanılmıştır. Çalışmada bir aday çözümü (birey) tanımlamak için sınav sayısı büyüklüğünde tek boyutlu matris tanımlanmıştır. Bu aday çözümün değerlerinin ise oluşturulan RP matrisinin ilgili indisleri olacak şekilde ayarlanmıştır. Çalışmaların ilk adımı olarak katı kısıtları sağlayan bireyler üreten algoritma oluşturulmuş ve bu algoritma ile uygulanabilir bireyler üretilmiştir. Uygulanabilir çözümler elde edildikten sonra yumuşak kısıtların sağlanması, bu kısıtlardan alınan cezaların minimize edilmesi safhasına geçilmiştir.

Tez çalışmasında sezgisel seçen üst sezgisel yaklaşımlar kullanılmıştır. Sezgisel seçim yöntemlerinden ise tek noktalı arama yapan pertürbatif sezgiseller kullanan sezgisel seçim yaklaşımları kullanılmıştır. Bu yaklaşımlar sezgisel seçim ve hareket kabul etme bileşenlerinden oluşurlar. Çalışmada sezgisel seçim yöntemlerinden iki tanesi; SR ve MRP, hareket kabul yöntemlerinden de bir tanesi; OI kullanılmıştır. Böylece SR_OI ve MRP_OI olmak üzere iki farklı yaklaşım tasarlanmıştır. Tasarlanan bu iki üst sezgisel yaklaşım seçilen beş veri seti üzerinde test edilmiştir.

Tasarlanan üst sezgiseller önce popülasyon bazlı olarak çalıştırılmıştır. Bu çalışmaların istenilen zamanda istenilen sonuçları vermediği görülmüştür. Bu nedenle sonraki kısım olarak popülasyon içerisinde en iyi birey seçilerek çalışmalar tek birey üzerinden devam etmiştir. Tek birey bazlı çalışmaların popülasyon bazlı çalışmalardan daha iyi çözümler bulunduğu görülmüştür. Popülasyon bazlı çalışmaların başarılı

olamamasının ve istenilen zamanda sonuç vermemesinin nedeni popülasyonun bireyleri arasında bir etkileşim olmadığı çıkarımına bağlanmıştır.

Bu tez çalışmasında yumuşak kısıtları sağlayarak çözümün kalitesini daha da artırmak adına ceza matrislerine dayalı alt sezgiseller kullanılmış ve alt sezgiseller ile üst sezgisel yaklaşımı güçlendirmeye odaklanılmıştır. Bu kapsamda 11 adet alt sezgisel tanımlanmıştır. Bu sezgisellerden 5 tanesi oluşturulan ceza matrislerine göre çalışmaktadır. İkili ve tekli olmak üzere iki tür ceza matrisi tanımlanmıştır. İkili ceza matrisi, sınavları bulundukları periyot ve dersliğe göre değerlendirilerek ikili olarak ilişkilerinden doğan cezaları hesaplanmıştır. Tekli ceza matrislerinde ise sınavların tekil olarak bulundukları periyot ve dersliğe göre cezaları hesaplanmıştır. 5 alt sezgisel bu ceza matrislerine bakarak en yüksek cezalı sınavlara bulundukları periyot ve derslikten farklı daha uygun yeni periyot ve derslikler bulmaya çalışmaktadır. Bu ceza matrisleri ile alt sezgisellerin etkinlikleri ve başarıları artırılmaya çalışılmıştır.

Veri setleri üzerinde SR_OI ve MRP_OI üst sezgisel yaklaşımların sonuçları incelendiğinde birbirlerine yakın sonuçlar verdikleri görülmüştür. Bu yaklaşımlar rastsalığa dayalı yaklaşımlar oldukları için ikisi arasında kıyaslama yapılırken kesin bir çıkarım yapılamamıştır. Ama en iyi ve en kötü sonuçlar göz önüne alındığında 5 veri setinden 3 tanesinde MRP_OI üst sezgisel yaklaşımı SR_OI yaklaşımına göre daha iyi sonuçlar verdiği için MRP_OI yaklaşımına bir nebze daha başarılı bir yöntemdir yorumu yapılabilir. Standart sapma değerlerine göre kıyaslama yapıldığında 5 veri setinden 3 tanesinde SR_OI üst sezgisel yaklaşımının MRP_OI üst sezgisel yaklaşımından daha kararlı sonuçlar ürettiği için SR_OI üst sezgisel yaklaşımı daha istikrarlıdır denilebilir.

Tasarlanan SR_OI ve MRP_OI üst sezgisel yaklaşımlarının literatürdeki bazı çalışmalar ile kıyaslandığında en başarılı sonuçları vermedikleri görülmüştür. Bazı çalışmaların bazı veri setlerindeki sonuçlara bakıldığında SR_OI ve MRP_OI üst sezgisel yaklaşımlarının üstün geldiği görülmüştür. Buradan yola çıkılarak tasarlanan bu üst sezgisel yaklaşımların karşılaştırılabilir yaklaşımlar olduğu hatta bazı çalışmalar ile rekabetçi olduğu çıkarımları yapılmıştır.

Tasarlanan bu üst sezgisel yaklaşımların daha iyi sonuçlar vermesi için geliştirilmeye açık olduğu görülmüştür. Tasarlanan yaklaşımlarda öğrenme kullanılmamış üst sezgisel aşama tamamen rastgeleliğe dayandırılmıştır. Gelecek çalışmalarda tasarlanan bu yaklaşımlara öğrenme mekanizmaları eklenerek daha akıllı çalışmalar yapılabilir. Üst sezgisel aşamaya alt sezgisellerin başarıları ve başarısızlığına göre değerlendiren ve bu değerlendirmeye göre seçimler yapabilen eklentiler eklenebilir.

Tasarlanan üst sezgisel yaklaşımlarda iki tane sezgisel seçim ve bir tane hareket kabul yöntemleri kullanılmıştır. Literatürde daha birçok sezgisel seçim ve hareket kabul yöntemi bulunmaktadır. Gelecek çalışmalarda üst sezgisel yaklaşımlara farklı sezgisel seçim ve hareket kabul yöntemleri eklenerek, bu yöntemlerin kombinasyonları denenebilir.

Tasarlanan bu üst sezgisel yaklaşımların sonuç vermesi problem boyutunun büyük olması ve iterasyon sayısının da etkisiyle zaman almıştır. Gelecek çalışmalarda bu zamanın azaltılmasına yönelik incelemeler yapıp, uygulanabilir.

Sınav çizelgeleme problemlerinde en iyi sonuçları veren çalışmalar genelde birçok aşamadan oluşan çalışmalar olduğu görülmüştür. Gelecek çalışmalarda tasarlanan bu yaklaşımları da bu başarılı çalışmalar gibi birçok sezgisel, yerel arama vb. aşamalarından oluşan yaklaşımlara dönüştürülebilir. Gelecek çalışmalarda katı kısıtları sağlayan bireyler elde edildikten sonra tamir fonksiyonları ile bireylerin üst sezgisel yaklaşımlarla değerlendirilmeden önce daha uygun çizelgeler olması sağlanabilir. Gelecek çalışmalarda başlangıç popülasyonun boyutunun daha büyük tutulması ile daha çok birey değerlendirilebilir. Böylece bireylerde çeşitlik olur ve en iyi bireye yakın birey üretilmiş olabilir.

KAYNAKLAR

- Abdullah, S., Turabieh, H., McCollum, B. ve McMullan, P., 2010, A tabu-based memetic approach for examination timetabling problems, *International Conference on Rough Sets and Knowledge Technology*, 574-581.
- ACAR, M. F. ve ŞEVKLİ, M., 2013, Sınav çizelgelemesi için matematiksel model yaklaşımı, *Verimlilik Dergisi*, 2013 (1), 75-86.
- Ahandani, M. A., Baghmisheh, M. T. V., Zadeh, M. A. B. ve Ghaemi, S., 2012, Hybrid particle swarm optimization transplanted into a hyper-heuristic structure for solving examination timetabling problem, *Swarm and Evolutionary Computation*, 7, 21-34.
- Al-Betar, M. A., Khader, A. T. ve Thomas, J. J., 2010, A combination of metaheuristic components based on harmony search for the uncapacitated examination timetabling, *the 8th Int. Conf. Practice and Theory of Automated Timetabling (PATAT 2010)*, 57-80.
- Alkan, A. ve Ozcan, E., 2003, Memetic algorithms for timetabling, *The 2003 Congress on Evolutionary Computation, 2003. CEC'03.*, 1796-1802.
- Altıntaş, C., 2011, Sezgisel algoritmalarla sınav çizelgeleme problemi çözümü, *SDÜ Fen Bilimleri Enstitüsü*.
- Alzaqebah, M. ve Abdullah, S., 2011a, Hybrid artificial bee colony search algorithm based on disruptive selection for examination timetabling problems, *International Conference on Combinatorial Optimization and Applications*, 31-45.
- Alzaqebah, M. ve Abdullah, S., 2011b, Artificial bee colony search algorithm for examination timetabling problems, *International Journal of Physical Sciences*, 6 (17), 4264-4272.
- Anwar, K., Khader, A. T., Al-Betar, M. A. ve Awadallah, M. A., 2013, Harmony search-based hyper-heuristic for examination timetabling, *2013 IEEE 9th International Colloquium on Signal Processing and its Applications*, 176-181.
- Anwar, K., Khader, A. T., Al-Betar, M. A. ve Awadallah, M. A., 2014, Development on Harmony Search Hyper-heuristic Framework for Examination Timetabling Problem, *International Conference in Swarm Intelligence*, 87-95.
- Arogundade, O. T., Akinwale, A. T. ve Aweda, O. M., 2010, A genetic algorithm approach for a real-world university examination timetabling problem, *International Journal of Computer Applications*, 12 (5), 0975-8887.
- Azimi, Z. N., 2004, Comparison of metaheuristic algorithms for examination timetabling problem, *Journal of Applied Mathematics and computing*, 16 (1-2), 337.
- Bader-El-Den, M., Poli, R. ve Fatima, S., 2009, Evolving timetabling heuristics using a grammar-based genetic programming hyper-heuristic framework, *Memetic Computing*, 1 (3), 205.
- Berberoğlu, A. A., 2011, Hyper-Heuristics for The Unit Commitment Problem, Master, *Istanbul Technical University*.
- Bilgin, B., Özcan, E. ve Korkmaz, E. E., 2006, An experimental study on hyper-heuristics and exam timetabling, *International Conference on the Practice and Theory of Automated Timetabling*, 394-412.
- Biroğul, S., 2005, Genetik algoritma yaklaşımıyla atölye çizelgeleme, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, ANKARA, Ocak*.

- Burke, E., Eckersley, A., McCollum, B., Sanja, P. ve Qu, R., 2003a, Using simulated annealing to study behaviour of various exam timetabling data sets.
- Burke, E., Kendall, G., Newall, J., Hart, E., Ross, P. ve Schulenburg, S., 2003b, Hyper-heuristics: An emerging direction in modern search technology, In: *Handbook of metaheuristics*, Eds: Springer, p. 457-474.
- Burke, E., Dror, M., Petrovic, S. ve Qu, R., 2005, Hybrid graph heuristics within a hyper-heuristic approach to exam timetabling problems, In: *The next wave in computing, optimization, and decision technologies*, Eds: Springer, p. 79-91.
- Burke, E., Curtois, T., Hyde, M., Kendall, G., Ochoa, G., Petrovic, S., Vázquez-Rodríguez, J. A. ve Gendreau, M., 2010a, Iterated local search vs. hyper-heuristics: Towards general-purpose search algorithms, *IEEE congress on evolutionary computation*, 1-8.
- Burke, E. K., Newall, J. P. ve Weare, R. F., 1995, A memetic algorithm for university exam timetabling, *international conference on the practice and theory of automated timetabling*, 241-250.
- Burke, E. K., Misir, M., Ochoa, G. ve Ozcan, E., 2008, Learning heuristic selection in hyperheuristics for examination timetabling, *Proceedings of 7th International Conference of Practice and Theory of Automated Timetabling (PATAT08)*, Montreal, Canada.
- Burke, E. K., Hyde, M., Kendall, G., Ochoa, G., Özcan, E. ve Woodward, J. R., 2010b, A classification of hyper-heuristic approaches, In: *Handbook of metaheuristics*, Eds: Springer, p. 449-468.
- Burke, E. K., Qu, R. ve Soghier, A., 2010c, Adaptive selection of heuristics for improving constructed exam timetables, *Proc. PATAT*, 136-151.
- Burke, E. K., Kendall, G., Misir, M. ve Özcan, E., 2012, Monte carlo hyper-heuristics for examination timetabling, *Annals of Operations Research*, 196 (1), 73-90.
- Burke, E. K., Gendreau, M., Hyde, M., Kendall, G., Ochoa, G., Özcan, E. ve Qu, R., 2013, Hyper-heuristics: A survey of the state of the art, *Journal of the Operational Research Society*, 64 (12), 1695-1724.
- Carter, M. W., Laporte, G. ve Lee, S. Y., 1996, Examination timetabling: Algorithmic strategies and applications, *Journal of the Operational Research Society*, 47 (3), 373-383.
- Cheraitia, M. ve Haddadi, S., 2016, Simulated annealing for the uncapacitated exam scheduling problem, *International Journal of Metaheuristics*, 5 (2), 156-170.
- Corne, D., Ross, P. ve Fang, H.-L., 1994, Evolutionary timetabling: Practice, prospects and work in progress, In *Proceedings of the UK Planning and Scheduling SIG Workshop*, Strathclyde.
- Corr, P. H., McCollum, B., McGreevy, M. ve McMullan, P., 2006, A new neural network based construction heuristic for the examination timetabling problem, In: *Parallel Problem Solving from Nature-PPSN IX*, Eds: Springer, p. 392-401.
- Cowling, P., Kendall, G. ve Soubeiga, E., 2000, A hyperheuristic approach to scheduling a sales summit, *International conference on the practice and theory of automated timetabling*, 176-190.
- Çelikbilek, Y., 2016, Üniversite Sınav Çizelgeleme Problemlerinin Yapay Zeka Teknikleri ile Çözümü, PhD., *İstanbul Üniversitesi*.
- David, P., 1997, A constraint-based approach for examination timetabling using local repair techniques, *International Conference on the Practice and Theory of Automated Timetabling*, 169-186.

- Demeester, P., Bilgin, B., De Causmaecker, P. ve Berghe, G. V., 2012, A hyperheuristic approach to examination timetabling problems: benchmarks and a new problem from practice, *Journal of scheduling*, 15 (1), 83-103.
- Di Gaspero, L. ve Schaerf, A., 2000, Tabu search techniques for examination timetabling, *International Conference on the Practice and Theory of Automated Timetabling*, 104-117.
- Duong, T.-A. ve Lam, K.-H., 2004, Combining Constraint Programming and Simulated Annealing on University Exam Timetabling, *RIVF*, 205-210.
- Egwuche, O. S., 2020, Examination Timetabling with Graph Coloring for Emerging Institutions, *2020 International Conference in Mathematics, Computer Engineering and Computer Science (ICMCECS)*, 1-6.
- Even, S., Itai, A. ve Shamir, A., 1975, On the complexity of time table and multi-commodity flow problems, *16th Annual Symposium on Foundations of Computer Science (sfcs 1975)*, 184-193.
- Gogos, C., Alefragis, P. ve Housos, E., 2012, An improved multi-staged algorithmic process for the solution of the examination timetabling problem, *Annals of Operations Research*, 194 (1), 203-221.
- Gürel, Ü. B., 2012, Sınav çizelgeleme probleminin optimizasyonu, *Maltepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü*.
- Hung, N. Q. V., Binh, T. Q. ve Anh, D. T., 2005, A Memetic Algorithm for Timetabling, *Proceedings of 3rd Int. Conf. RIVF*, 289-294.
- Innet, S., 2013, A novel approach of genetic algorithm for solving examination timetabling problems: A case study of Thai Universities, *2013 13th International Symposium on Communications and Information Technologies (ISCIT)*, 233-237.
- Jha, S. K., 2014, Exam timetabling problem using genetic algorithm, *International Journal of Research in Engineering and Technology*, 3 (5), 649-654.
- June, T. L., Obit, J. H., Leau, Y.-B. ve Bolongkikit, J., 2019, Implementation of Constraint Programming and Simulated Annealing for Examination Timetabling Problem, In: *Computational Science and Technology*, Eds: Springer, p. 175-184.
- Kalaycı, C. B., 2008, Öğrenci başarısına odaklı sınav çizelgeleme modeli ve yazılım uygulaması, *Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*.
- Kendall, G. ve Hussin, N. M., 2004, A tabu search hyper-heuristic approach to the examination timetabling problem at the MARA university of technology, *International Conference on the Practice and Theory of Automated Timetabling*, 270-293.
- Kiraz, B., 2018, Dinamik Çok Amaçlı Eniyileme Problemleri için Hibrid Çerçevenin İncelenmesi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi Part C: Tasarım ve Teknoloji*, 6 (1), 17-32.
- Lei, Y., Gong, M., Jiao, L. ve Zuo, Y., 2015, A memetic algorithm based on hyper-heuristics for examination timetabling problems, *International Journal of Intelligent Computing and Cybernetics*.
- Malim, M. R., Khader, A. T. ve Mustafa, A., 2006, Artificial immune algorithms for university timetabling, *Proceedings of the 6th international conference on practice and theory of automated timetabling*, 234-245.
- Marie-Sainte, S. L., 2017, A new hybrid particle swarm optimization algorithm for real-world university examination timetabling problem, *2017 Computing Conference*, 157-163.

- McCollum, B., McMullan, P., Burke, E. K., Parkes, A. J. ve Qu, R., 2007, The second international timetabling competition: Examination timetabling track, *Technical Report QUB/IEEE/Tech/ITC2007/-Exam/v4. 0/17, Queen's University*
- McCollum, D. B., 2007, International Timetabling Competition, <http://www.cs.qub.ac.uk/itc2007/>: [01.06.2020].
- Mohmad Kahar, M. ve Kendall, G., 2015, A great deluge algorithm for a real-world examination timetabling problem, *Journal of the Operational Research Society*, 66 (1), 116-133.
- Montero, E., Riff, M.-C. ve Altamirano, L., 2011, A pso algorithm to solve a real course+ exam timetabling problem, *International conference on swarm intelligence*, 14-15.
- Muklason, A., Bwananesia, P. C., YT, S. H., Angresti, N. D. ve Supoyo, V. A., 2018, Automated Examination Timetabling Optimization Using Greedy-Late Acceptance-Hyperheuristic Algorithm, *2018 International Conference on Electrical Engineering and Computer Science (ICECOS)*, 201-206.
- Müller, T., 2009, ITC2007 solver description: a hybrid approach, *Annals of Operations Research*, 172 (1), 429.
- Ozcan, E., Bykov, Y., Birben, M. ve Burke, E. K., 2009, Examination timetabling using late acceptance hyper-heuristics, *2009 IEEE Congress on Evolutionary Computation*, 997-1004.
- Özcan, E., Bilgin, B. ve Korkmaz, E. E., 2008, A comprehensive analysis of hyper-heuristics, *Intelligent Data Analysis*, 12 (1), 3-23.
- Özkazanç, A., 1999, Atölye Tipi Üretim Ortamında İşlerin Çizelgelenmesi İçin Yapay Sinirsel Ağ Yaklaşımı, *Lisans Tezi, Osmangazi Üniv. Eskişehir.*
- Pais, T. C. ve Amaral, P., 2012, Managing the tabu list length using a fuzzy inference system: an application to examination timetabling, *Annals of Operations Research*, 194 (1), 341-363.
- Petrovic, S., Patel, V. ve Yang, Y., 2004, Examination timetabling with fuzzy constraints, *International Conference on the Practice and Theory of Automated Timetabling*, 313-333.
- Pillay, N., 2008, A developmental approach to the examination timetabling problem, *Practice and theory of automated timetabling (PATAT 2008)*, 19-22.
- Pillay, N. ve Banzhaf, W., 2009, A study of heuristic combinations for hyper-heuristic systems for the uncapacitated examination timetabling problem, *European Journal of Operational Research*, 197 (2), 482-491.
- Pillay, N., 2010, Evolving hyper-heuristics for a highly constrained examination timetabling problem, *Proceedings of the 8th International Conference on the Practice and Theory of Automated Timetabling (PATAT'10)*, 336-346.
- Pillay, N., 2012, Hyper-heuristics for educational timetabling, *Proceedings of the 9th International Conference on the Practice and Theory of Automated Timetabling*, 316-340.
- Pinedo, M., 2002, *Scheduling theory*, Prentice-Hall, p.
- Prida Romero, B., 1982, Examination scheduling in a large engineering school: A computer-assisted participative procedure, *Interfaces*, 12 (2), 17-24.
- Qu, R. ve Burke, E. K., 2009, Hybridizations within a graph-based hyper-heuristic framework for university timetabling problems, *Journal of the Operational Research Society*, 60 (9), 1273-1285.
- Qu, R., Burke, E. K., McCollum, B., Merlot, L. T. ve Lee, S. Y., 2009, A survey of search methodologies and automated system development for examination timetabling, *Journal of scheduling*, 12 (1), 55-89.

- Reis, L. ve Oliveira, E., 1999, Constraint logic programming using set variables for solving timetabling problems, *12th international conference on applications of Prolog*.
- Sabar, N. R., Ayob, M. ve Kendall, G., 2009, Solving examination timetabling problems using honey-bee mating optimization (ETP-HBMO), *Proceedings of the Multidisciplinary International Conference on Scheduling: Theory and Applications (MISTA), Dublin, Ireland*.
- Sabar, N. R., Ayob, M., Qu, R. ve Kendall, G., 2012, A graph coloring constructive hyper-heuristic for examination timetabling problems, *Applied Intelligence*, 37 (1), 1-11.
- Sabuncuoglu, I., 1998, Scheduling with neural networks: a review of the literature and new research directions, *Production Planning & Control*, 9 (1), 2-12.
- SEÇME, G., 2014, Stokastik paralel montaj hattı dengeleme problemine üst sezgisel yaklaşım, Ph.D., *Erciyes Üniversitesi*.
- Seyfi, G., 2018, Metasezgisel algoritmalar kullanılarak sınav çizelgeleme, *Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*.
- Sin, E. S., 2011, Reinforcement learning with EGD based hyper heuristic system for exam timetabling problem, *2011 IEEE International Conference on Cloud Computing and Intelligence Systems*, 462-466.
- Sin, E. S. ve Kham, N. S. M., 2012, Hyper heuristic based on great deluge and its variants for exam timetabling problem, *arXiv preprint arXiv:1202.1891*.
- Suvay, H., 2019, Sınav Çizelgeleme Probleminin Çözümü İçin Genetik Algoritma Yaklaşımı, *Sivas Cumhuriyet Üniversitesi-Sosyal Bilimler Enstitüsü*.
- Thompson, J. M. ve Dowsland, K. A., 1998, A robust simulated annealing based examination timetabling system, *Computers & Operations Research*, 25 (7-8), 637-648.
- Turabieh, H. ve Abdullah, S., 2011, An integrated hybrid approach to the examination timetabling problem, *Omega*, 39 (6), 598-607.
- Uymaz, S. A., 2015, Yeni bir biyolojik ilhamlı metasezgisel optimizasyon metodu: Yapay alg algoritması, *Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*.
- Welsh, D. J. ve Powell, M. B., 1967, An upper bound for the chromatic number of a graph and its application to timetabling problems, *The Computer Journal*, 10 (1), 85-86.
- Yıldırım, S., 2014, ÖĞRETME VE ÖĞRENME TABANLI OPTİMİZASYON ALGORİTMASI İLE SINAV ÇİZELGELEME PROBLEMLERİNİN ÇÖZÜMÜ, Master, *Dokuz Eylül Üniversitesi*.

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı : Ferda Nur ARICI
Uyruğu : T.C.
Doğum Yeri ve Tarihi : Seydişehir, 08.07.1994
Telefon : 05445380123
Faks : -
E-Posta : fnarici@erbakan.edu.tr

EĞİTİM

Derece	Adı, İlçe, İl	Bitirme Yılı
Lise	: Enis Şanlıoğlu Lisesi, Seydişehir, Konya	2012
Üniversite	: Selçuk Üniversitesi, Selçuklu, Konya	2017
Yüksek Lisans	: Konya Teknik Üniversitesi, Selçuklu, Konya	Devam ediyor
Doktora	: -	

İŞ DENEYİMLERİ

Yıl	Kurum	Görevi
2019	Necmettin Erbakan Üniversitesi	Araştırma Görevlisi

UZMANLIK ALANI

Yapay Zeka, Optimizasyon

YABANCI DİLLER

İngilizce

YAYINLAR

Arıcı, FerdaNur & Kaya, Ersin. (2019). Comparison of Meta-heuristic Algorithms on Benchmark Functions. Academic Perspective Procedia. 2. 508-517. 10.33793/acperpro.02.03.41.