



## Ders programı çizelgeleme problemi için bir literatür taraması A literature review for course scheduling problem

Hakan ALTUNAY<sup>1</sup>, Tamer EREN<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup>Endüstri Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Fakültesi, Fırat Üniversitesi, Elazığ, Türkiye.  
haltunay@firat.edu.tr

<sup>2</sup>Endüstri Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Fakültesi, Kırıkkale Üniversitesi, Kırıkkale, Türkiye.  
tamereren@gmail.com

Geliş Tarihi/Received: 23.12.2015, Kabul Tarihi/Accepted: 02.03.2016

\* Yazışılan yazar/Corresponding author

doi: 10.5505/pajes.2016.37233

Derleme Makalesi/Review Article

### Öz

Ders ve sınavlara ait zaman çizelgelerinin oluşturulması, başta üniversiteler olmak üzere, bütün eğitim kurumları için oldukça yorucu ve zaman alan bir faaliyettir. Ders programı çizelgeleme problemi de derslerin ve bu derslerden sorumlu öğretim üyelerinin, problem ve kurum özellikleriyle ilgili kısıtlar dikkate alınarak, en uygun derslik ve zaman dilimlerine atanmasını ifade eden bir zaman çizelgeleme problemidir. Bu makalede, 1960'lı yıllardan günümüze kadar geçen süreçte, ders programı çizelgeleme problemi alanında yapılmış, öne çıkan bilimsel çalışmaların ana hatlarıyla ele alındığı bir literatür taraması sunulmuştur. Bununla birlikte, araştırmacılar tarafından kullanılan çözüm yöntemlerinin; yöneylem araştırması temelli yaklaşımlar, metasezgisel temelli yaklaşımlar ve yeni yaklaşımlar şeklinde gruplandırıldığı bir analiz yer verilmiştir.

**Anahtar kelimeler:** Ders programı çizelgeleme problemi, Çizelgeleme, Yöneylem araştırması yöntemleri, Metasezgisel yöntemler, Literatür taraması

### Abstract

The timetabling of courses and examinations is a challenging and time consuming activity for all educational institutions, especially universities. The course scheduling problem is a type of timetabling problem that is concerned with assigning a number of courses and instructors to the most suitable classrooms and time-slots, subject to some constraint structures on characteristics of the problem and institutions. In this paper, we analyze the main points of the outstanding studies that have conducted on the problem since 1960. In addition, solution approaches that have been applied by researchers to solve the problem, including operations research based methods, metaheuristic-based methods and some novel methods are analyzed.

**Keywords:** Course scheduling problem, Scheduling, Operations research methods, Metaheuristic methods, Literature review

## 1 Giriş

Çizelgeleme, birçok imalat ve hizmet endüstrisinde etkin olarak kullanılan karar verme süreçlerinden biridir. İşletmelerin bünyesindeki; satın alma, üretim, ulaştırma, dağıtım, bilgi işleme ve haberleşme gibi birçok alanda çizelgeleme fonksiyonundan faydalanılmaktadır. Çizelgeleme fonksiyonu, hizmet veya mamul üreten herhangi bir işletmede, matematiksel veya sezgisel teknikler yardımı ile sınırlı kaynakların, tamamlanması gereken görevlere optimum şekilde tahsis edilmesine imkân sağlar. Kaynakların en uygun görevlere tahsisi de işletmelerin amaçlarının optimizasyonu ve belirlenen hedeflere erişilmesine olanak tanır [1],[2]. Söz konusu kaynakların, işletmenin hedeflerini optimize edecek şekilde uygun görevlere atanması işlemi çizelgeleme sürecinin amacını ortaya koymaktadır. Etkin bir çizelgeleme süreci ile belirlenen faaliyetlerin, daha az kaynak kullanarak ve daha kısa sürede tamamlanabilmesi sağlanır [3].

Kurum ve sektöre göre farklılık gösterebilen görev veya faaliyetler; hastanelerdeki sağlık personelinin çalışma saatlerinin düzenlenmesi, üniversite ve okul gibi eğitim kurumlarındaki ders veya sınav programlarının hazırlanması veya belediyelerdeki toplu taşıma araçlarının hareket saatlerinin belirlenmesi gibi zamana bağlı aktiviteler olabilmektedir. Tüm bu örnekler gibi haftalık veya günlük olarak planlanması gereken faaliyetler zaman çizelgeleme problemleri kapsamında değerlendirilmektedir [4]. Zaman çizelgeleme, belirli kısıtlar gözetilerek ve karşılanması gereken hedefler dikkate alınarak; verilen kaynakların tamamlanması

gereken görevlere ve uygun zaman dilimlerine atanması şeklinde tanımlanmaktadır [5]. Bir başka ifadeyle, zaman çizelgeleme problemleri; sınav, ders, toplantı gibi belirli sayıdaki faaliyetin, kısıtların mümkün olduğunca sağlanarak, sınırlı miktardaki zaman aralıklarına yerleştirilmesidir [6].

Zaman çizelgeleme problemleri çok farklı uygulama alanlarına sahip olsa da; çoğunlukla eğitim kurumlarındaki ders ve sınav programlarının düzenlenmesi işlemlerinde kullanılmaktadır. Eğitim kurumlarında karşılaşılan sınav ve ders programı hazırlanması gibi zaman çizelgeleme faaliyetleri genel olarak eğitimsel zaman çizelgeleme problemleri (EZÇP) olarak değerlendirilmektedir. Okul ve üniversite gibi kurumlarda idareciler, öğretim üyeleri ve öğrencilerin istek ve ihtiyaçlarını karşılayacak, mümkün bir ders programının oluşturulma zorluğu zaman çizelgeleme problemlerinin eğitim kurumları açısından önemini ortaya koymaktadır. Öyle ki; bazı durumlarda tek bir uygun çizelgenin oluşturulması bile imkânsız hale gelebilmektedir [7].

1960'lı yıllardan bu yana araştırmacıların ilgisini çeken EZÇP'nin çözümü için birçok yöntemden yararlanılmıştır. Ancak bu tip problemlere özgü genel bir çözüm yöntemi geliştirilememiştir. Bunun en önemli sebeplerinden birisi, eğitim kurumları arasındaki farklılıklardan kaynaklanan ihtiyaç ve taleplerin çeşitliliğidir. Örneğin; eğitim sistemlerinin ülkeden ülkeye farklılık göstermesi doğal bir sonuç gibi görülürken, aynı bölgedeki kurumlarda bile çok çeşitli uygulamalarla karşılaşılabilmektedir [8].

EZÇP, probleme özgü bazı özellikleri ve sahip oldukları kısıt yapılarına göre farklı kategorilerde değerlendirilmektedir.

Ancak EZÇP için kullanılan bu kategorilerden en yaygın olanı [9]-[11]: Okul çizelgeleme problemi, sınav programı çizelgeleme problemi ve ders programı çizelgeleme problemi (DPÇP) şeklinde problemi üç ayrı sınıfta inceleyen yaklaşımdır.

Carter ve Laporte'nin çok boyutlu bir atama problemi olarak tanımladıkları DPÇP; ders, öğretim üyesi ve derslik gibi belirli sayıdaki kaynağın, mümkün zaman dilimlerine atanması olarak ifade edilmektedir [12],[13]. DPÇP, bütün yükseköğretim kurumlarının, her eğitim-öğretim yılı içerisinde en az iki defa karşılaştığı uğraştırıcı ve zaman alan bir aktivitedir. Öyle ki bu çizelgeler bilgisayar yardımı olmaksızın yapılmaya çalışıldığında, öğrenciler ve öğretim üyeleri açısından çözülmesi olanaksız, çok ciddi aksaklıklara sebep olabilmektedir. Tüm bu sebepler DPÇP'nin bir eğitim kurumu için ne derece önemli bir sorun olduğunu gösterir niteliktedir. Üniversitelerde verilen eğitimin kalite seviyesini doğrudan etkileyebilecek ders programı çizelgeleme faaliyeti, elle çözülemeyecek kadar karmaşık ve zor bir süreci beraberinde getirmektedir.

Bu çalışmada bir EZÇP türü olan DPÇP için bir literatür taraması sunulmuştur. İkinci bölümde problemin tanımı ve özelliklerine ilişkin bilgiler yer almaktadır. Üçüncü bölümde ise, 50 yılı aşkın bir süredir araştırmacıların ilgisini çeken DPÇP alanında yapılmış; yöneylem araştırması temelli yaklaşımlar ve metasezgisel temelli yaklaşımlarla birlikte bazı yeni çözüm yöntemlerini de içeren 200'den fazla bilimsel yayın incelenerek, kullanılan çözüm yöntemleri ve araştırma eğilimlerini içeren bir analize yer verilmiştir.

## 2 Problemin tanımı

DPÇP, üniversitelerde her dönemin başında uzun uğraş ve vakit kaybına sebebiyet veren, mevcut derslerin haftalık programının oluşturulması sürecini temel alır. Kurum ve bölüm şartlarına göre çeşitlilik gösterebilen bu işlemde elde edilecek fayda; zorunlu ve esnek kısıtlamalar şeklinde sınıflandırılan kısıt yapılarının sağlanma derecesine bağlı olarak değişmektedir.

Bir üniversiteye veya bir bölüme ait DPÇP'nin etkin bir şekilde çözülebilmesi için öncelikle; ders, derslik ve öğretim üyeleri gibi kaynakların özelliklerinin doğru tanımlanmış olması gerekmektedir. İlk aşama olarak, aşağıdaki sorulara ilişkin veriler toplanmalıdır:

Bölüm içerisindeki derslerin;

- Haftalık ders saati bilgisi,
- Zorunlu veya seçimlik olması,
- Hangi öğretim üyeleri tarafından verilebileceği,
- Özel bir teçhizat gerektirip gerektirmediği,

Bölüm tarafından kullanılacak dersliklerin;

- Kapasite bilgileri,
- Kullanıma açık oldukları zaman dilimleri,
- Laboratuvar imkânının olup olmadığı gibi özellikleri,

Derslerden sorumlu öğretim üyelerine ilişkin;

- Hangi derslerden sorumlu olabilecekleri,
- Tam zamanlı veya yarı-zamanlı çalışma özellikleri,
- Ders saati için uygun zaman dilimleri,
- Olası özel tercihleri gibi bilgiler,

Bunların yanı sıra;

- Günlük olarak mümkün ders saati bilgisi,
- Öğle arası veya ders araları haricinde kalan uygun zaman dilimleri gibi bilgilerin ön aşamada elde edilmesi gerekmektedir [14],[4].

Sonraki aşamada, problemin tanımlanmasına yardımcı olan ders, öğretim üyesi ve derslikler ile ilgili veriler kuruma özgü bazı kısıt yapılarına dönüştürülmektedir. DPÇP alanında yapılan çalışmalarda sıkça adından söz ettiren bu kısıt yapıları, çeşitli özelliklerine göre zorunlu ve esnek kısıtlar olarak ikiye ayrılmaktadır. Zorunlu kısıtlar; derslerin uygun zaman dilimlerine atanarak çakışmaların önlenmesi için çizelgenin oluşturulabilmesi için kesinlikle sağlanması gereken kısıtlardır. Esnek kısıtlar ise karşılanması zorunlu olmayan, ancak karşılanması durumunda çözümün kalitesine katkı sağlayacak nitelikte olan kısıt yapılarıdır. Özetle; mümkün bir çizelgenin elde edilebilmesi için gerek ve şart koşul zorunlu kısıtların sağlanmasıdır. Elde edilen mümkün çizelgenin verimi ise esnek kısıtların karşılanma derecesine bağlıdır.

DPÇP'de dikkate alınan bu kısıtlar, eğitim kurumlarının özelliklerine, beklenti ve ihtiyaçlara göre oldukça fazla sayıda ve çeşitlilikte olabilmektedir. Zorunlu kısıtlar, esnek kısıtlara göre nispeten daha kalıplaşmış ifadelerden oluşmaktadır. Kimi araştırmacılar bazı zorunlu kısıtları, esnek kısıtlar olarak değerlendirebilmektedir. Bu da zorunlu kısıtlar ve esnek kısıtların kesin çizgilerle birbirlerinden ayrılmadığını, araştırmaların kapsamına ve amacına bağlı olarak bu yapıların değişkenlik gösterebileceğini ortaya koymaktadır.

Ders çizelgeleme alanında yapılan çalışmaları birbirinden ayıran, elde edilen çözümlerin verimliliğini doğrudan etkileyen zorunlu ve esnek kısıtların doğru anlaşılması bu alanla ilgilenen araştırmacılar için oldukça önemlidir. Bu bölümde, yaygın olarak kullanılan zorunlu ve esnek kısıtlara yer verilmiştir. Önceki çalışmalar dikkate alınarak, en çok kullanılan zorunlu ve esnek kısıtların bir bütün halinde görülmesi bundan sonraki çalışmalar için de yararlı olacaktır.

Zorunlu kısıtlar; mümkün bir çizelgenin elde edilmesi için kesinlikle sağlanması gereken yapıları ifade etmektedir. Zorunlu kısıtların genel kullanım amacı meydana gelebilecek olası çakışmaları önlemektir. DPÇP için zorunlu kısıtlar üniversiteler ve birimlerin özelliklerine göre çeşitlilik gösterse de en yaygın örnekleri aşağıdaki gibidir [15],[16]:

21. Hiçbir öğrenci grubu veya öğretim üyesi aynı zaman diliminde birden fazla ders veya dersliğe atanamaz,
22. Bir öğrenci grubunun sorumlu olduğu herhangi bir derse birden fazla öğretim üyesi atanamaz,
23. Program içerisindeki bütün derslerin atamaları eksiksiz olarak tamamlanmalıdır.
24. Derslerin atandığı dersliğin kapasitesi, dersten sorumlu öğrenci sayısına eşit veya büyük olmalıdır,
25. Herhangi bir dersliğe, aynı zaman dilimi içerisinde birden fazla ders atanamaz,
26. Her öğretim üyesi belirlenen sayıda derse atanabilir,
27. Bir öğretim üyesinin önceden belirlenmiş bir zaman dilimi veya güne atanması gerekebilir,
28. Bazı dersler arasındaki olası öncelik ilişkilerine dikkat edilmelidir,

- Z9. İki veya daha fazla ders saatine sahip derslere ait oturumlar ardışık zaman dilimlerinde yer almalıdır,
- Z10. Herhangi bir dersin aynı gün içerisindeki ders saati üçten fazla olmamalıdır,
- Z11. Bütün ders-derslik atamaları derslerin özelliklerini ve ihtiyaçlarını karşılayacak şekilde yapılmalıdır.
- Z12. Öğrenciler ve öğretim üyelerinin isteklerine göre belirli günlere veya belirli zaman dilimlerine ders ataması yapılmaması istenebilir.

Esnek kısıtlar ise; bir zorunluluk içermese de karşılanması arzu edilen ifadeleri içermektedir. Esnek kısıtların kullanım amacı, oluşturulan çizelgelerin kalitesini olabildiğince üst seviyeye çıkarmaktır. Modele ait bu yapılar genellikle amaç fonksiyonu ifadesine öncelik katsayıları ile birlikte dâhil edilerek işlerlik kazanmaktadır. Kurum ve birimlerin farklı özellikleri dikkate alındığında, zorunlu kısıtlara göre daha fazla çeşitlilik gösteren esnek kısıtlardan en çok kullanılanları [16]-[19]:

- E1. Öğretim üyelerinin olabildiğince tercih ettikleri zaman dilimleri ve dersliklere atanması,
- E2. Öğretim üyelerinin ders yüklerinin olabildiğince eşit dağıtılması,
- E3. Herhangi bir öğrenci grubu için gün içinde sadece bir ders atanmasının engellenmesi,
- E4. Derslerin ve ders saatlerinin bir haftalık zaman dilimine dengeli bir şekilde dağıtılması,
- E5. Bölünmüş herhangi bir dersin, farklı günlerdeki diğer oturumlarının da önceki oturumlarla aynı derslikte uygulanması,
- E6. Öğle molası için ayrılan zamanın bütün öğrenci grupları için 12.00 ve 14.00 saatleri arasına denk getirilmesi,
- E7. Öğle molası saati belirlenirken belirli bir zaman diliminde öğle arasında bulunan öğrenci sayısının dikkate alınması,
- E8. Her bir öğrenci grubu için ardışık zaman dilimindeki derslerin atandığı dersliklerin aynı binada olması,
- E9. Herhangi bir gün içerisindeki ders saati miktarının sınırlandırılması,
- E10. Derslik atamasının olabildiğince bölüme ait veya bölüm dışındaki belirlenmiş sınıflara yapılması,
- E11. Görece kavranması zor derslerin sabah saatlerine atanması,
- E12. Gün içerisindeki ilk ders ve son ders arasındaki sürenin olabildiğince kısa tutulması,
- E13. Programın, en azından haftanın bir gününü boşaltacak şekilde hazırlanması,
- E14. Dikkat dağınıklığının arttığı veya verimin düştüğü saatlere mümkün olduğunca az ders ataması yapılması, şeklinde ifade edilebilmektedir.

Kısıt yapılarının yanı sıra DPÇP'nin önemli bir parçası da amaç fonksiyonu ifadesidir. Bir optimizasyon probleminin çözümüne ilişkin kurulan matematiksel modeldeki değişkenlerin optimum değerlere ulaşabilmesini sağlayan bölüme amaç fonksiyonu denir. Amaç fonksiyonu, probleme özgü olarak bir minimizasyon veya maksimizasyon ifadesi olarak düzenlenebilmektedir. DPÇP'de mümkün olabilecek en kaliteli

çizelgelerin oluşturulması için amaç fonksiyonu bölümünün doğru şekilde tasarlanması oldukça önemlidir. DPÇP'nin çözümüne ilişkin kurulan modellerin birçoğunun amaç fonksiyonu ifadesi, esnek kısıtların sağlanma derecesini artırmaya yöneliktir. DPÇP alanında yapılan önceki çalışmalar incelendiğinde, amaç fonksiyonu yapısının farklı şekillerde kullanıldığı görülmektedir. Bunlardan en yaygın olanları [16]:

- A1. Öğrencilerin istek ve taleplerinin en üst düzeyde karşılanması,
- A2. Öğretim üyelerinin tercihlerinin karşılanma seviyesinin eniyilenmesi,
- A3. Tercih edilmeyen bir zaman dilimine atanan derslerin sayısının enküçüklenmesi,
- A4. Sınıf içerisinde ayakta kalan öğrenci sayısının enküçüklenmesi,
- A5. Kullanılan derslik sayısının enküçüklenmesi,
- A6. Olası ders saati ve derslik çakışmalarının en düşük seviyelere çekilmesi,
- A7. Gün içerisinde, bir öğrenci grubunun sorumlu olduğu iki ders arasında kalan boş zamanın enküçüklenmesi, şeklinde örneklenebilir.

### 3 Kullanılan çözüm yöntemleri ve yapılan çalışmalar

1960'lı yıllardan günümüze kadar geçen süreçte DPÇP'nin çözümü için birçok yöntem kullanılmıştır. Bu çalışmada, DPÇP için kullanılan çözüm yöntemleri; yöneylem araştırması temelli yaklaşımlar, metasezgisel temelli yaklaşımlar ve yeni çözüm yöntemleri şeklinde 3 ana başlıkta değerlendirilmiştir.

#### 3.1 Yöneylem araştırması temelli yaklaşımlar

DPÇP çözümü için kullanılan yöneylem araştırması temelli yaklaşımlar ve yapılan çalışmalar ise: matematiksel programlama, grafik renklendirme, kısıt programlama, ağ modelleri ve çok kriterli/çok amaçlı modelleme yöntemleri şeklinde 5 ayrı grupta incelenmiştir.

Bu yaklaşımlardan ilki ve en çok kullanılanı matematiksel programlama tekniğidir. Bir eniyileme tekniği olan matematiksel programlamanın kullanıldığı çalışmalarda, yoğunlukla matematiksel programlamanın uzantıları olan tamsayılı programlama ve doğrusal programlama (DP) tekniklerinden yararlanılmıştır. Matematiksel programlama yönteminin kullanıldığı DPÇP alanındaki ilk önemli çalışmalar, Andrew ve Collins [20], Akkoyunlu [21], Harwood ve Lawless [22], Breslaw [23], Shih ve Sullivan [24], Tripathy [25] tarafından yapılmıştır. Akkoyunlu [21], üniversitenin sadece bir bölümü için derslik boyutunun gözardı edildiği bir DP modeli geliştirmiştir. Harwood ve Lawless [22] öğretim üyelerinin tercihlerinin dikkate alındığı, amaç programlama ve karışık tamsayılı programlama tekniklerinin birlikte kullanıldığı bir DP modeli önermişlerdir. Shih ve Sullivan [24] ise problemin çözümü için, ders ve zaman dilimi tercihlerinin mümkün olan en üst seviyede sağlanmasını hedefleyen ve iki aşamadan oluşan bir 0-1 tamsayılı programlama modeli sunmuşlardır. Tripathy [25] ise bu çalışmalardan farklı olarak problemin çözümünde Lagrange gevşetmesi tekniğinden yararlanmıştır. 1980 yılına kadar geçen süreçte yapılan çalışmalara bakıldığında, çok sayıda çalışmada matematiksel programlama tekniğinden yararlanıldığı, önerilen modellerin çoğunda ise derslik kapasitesi ve özelliklerinin dikkate alınmadığı görülmektedir. İlerleyen dönemlerde ise Ferland ve

Roy [26], problemi sırasıyla; derslerin zaman dilimlerine ve dersliklere atandığı iki aşamalı bir atama problemi olarak ele almışlardır. Dinkel ve diğ. [27] çalışmalarında; fakülte, ders, zaman dilimi ve derslik boyutlarını içeren ağ temelli bir karar destek sistemi önererek, Texas A&M Üniversitesinde yapılan geniş çaplı bir örnek uygulamaya yer vermişlerdir. Badri [28] DPÇP için, öğretim üyelerinin ders ve zaman dilimi tercihlerini karşılamaya yönelik olan, çok amaçlı bir 0-1 tamsayılı programlama modeli önermiştir. United Arab Emirates Üniversitesinde yapılan örnek uygulama ise önerilen modelin verimli ders çizelgelerinin elde edilmesinde başarılı olduğunu göstermiştir. Boronico [29] ise çalışmasında, ek kaynak kullanımı ve çıkan ders sayısını en aza indiren bir matematiksel model önerisi sunmuştur. Dimopoulou ve Miliotis [30], ders ve sınav programı çizelgeleme işlemini gerçekleştirmek amacıyla tamsayılı programlama tekniğini kullanan bir bilgi sistemi geliştirmişler ve buna ek olarak bir üniversitede başarılı bir uygulama çalışması yapmışlardır. Baker ve diğ. [31] ise problemin çözümü için tamsayılı programlama modelinin yanında bir de kısıt programlama modeli sunmuşlardır. Daskalaki ve diğ. [32], DPÇP çözümü için yeni bir 0-1 tamsayılı programlama modeli ortaya koymuşlardır. Bu çalışma çok sayıda kurum ve üniversitenin şartlarını dikkate alması özelliğiyle büyük önem taşımaktadır. Modelin amaç fonksiyonuna eklenen maliyet katsayıları ile birlikte çözüm uzayının daraldığı ve problemin daha kolay çözülebilecek hale geldiğine değinen yazarlar, bir mühendislik fakültesinde yaptıkları örnek bir uygulamayı ve test sonuçlarını da paylaşmışlardır. Daskalaki ve Birbas [33], tamsayılı programlamanın kombinatorik problemler için yaygın bir çözüm yöntemi olmasına rağmen, problemin boyutundan kaynaklı bazı hesaplama güçlüklerinin bulunmasından yola çıkarak, iki aşamalı bir yaklaşım önermişlerdir. Bu çalışmada ayrıca, çözümü zorlaştıran kısıtların yumuşatılmasına dayanan prosedür sayesinde ders çizelgelerinin kalitesinden ödün vermeden hesaplama zamanının ciddi oranda azaltıldığına değinilmiştir. Günalay ve Şahin [34], amaç programlama yöntemini kullanarak DPÇP'nin çözümüne yönelik bir karar destek sistemi geliştirmişlerdir. Önerilen sistem bir örnek uygulamadan elde edilen veriler aracılığıyla test edilmiştir. İsmayilova ve diğ. [35], Analitik Hiyerarşi Prosesi(AHP) ve Analitik Ağ Süreci(AAS) yöntemlerini kullanarak, önerilen çok amaçlı 0-1 tamsayılı programlama modelinin amaç ifadelerinin önem değerlerini belirlemişlerdir. Schimmelpfeng ve Helder [36], Almanya'daki bir üniversiteye ait DPÇP için tamsayılı programlama yöntemini kullanmışlardır. Kısıtların ihlalini minimize edecek şekilde kurulan matematiksel model; 156 ders, 181 öğrenci grubu, 99 öğretim üyesi, 30 zaman dilimi ve farklı kapasitedeki 13 derslik için en iyi sonucu vermiştir. Bakır ve Aksop [37] ise öğrenci ve öğretim üyelerinin ders çizelgeleri konusundaki memnuniyetsizliğinin en aza indirilmesine yönelik olan bir 0-1 tamsayılı programlama modeli önermişlerdir. Önerilen model Gazi Üniversitesi, İstatistik bölümünün bahar dönemine ilişkin ders programının oluşturulmasında kullanılmıştır. Yazarlar modele bazı kısıtların eklenerek, problemin fakülte ve üniversite boyutunda çözümler üretilecek şekilde genişletilmesi gerekliliğini vurgulamışlardır. Bunların yanında, van den Broek ve diğ. [38], Sarin ve diğ. [39], Al ve Eren [40], van den Broek ve Hurkens [41], Cacchiani ve diğ. [42] gibi matematiksel programlama yönteminden yararlanan diğer örnekler de Tablo 1'de sunulmuştur. Genel bir değerlendirme yapılacak olursa; DPÇP'nin çözümü için başvuru olan ilk yöntemlerin matematiksel programlama yöntemleri olduğu görülmektedir.

Matematiksel programlama yöntemleri küçük boyutlu diyebileceğimiz DPÇP problemlerinde en iyi çözümü garanti etmektedir. Ancak kısıt ve değişken sayılarına bağlı olarak problemin boyutunun anormal şekilde büyümesi, bu yöntemler ile polinom zamanda optimum çözüme erişilemeyeceği gerçeğini ortaya çıkarmıştır. Bu alanda yapılan çok sayıda araştırma sonucunda, matematiksel programlama tabanlı yöntemlerin, DPÇP'nin üniversite ve fakülte düzeyindeki karmaşık örnekleri için etkin sonuçlar üretmediği görülmüştür. Büyük boyutlu problemlerle birlikte, artan çözüm süreleri ve problem karmaşıklığı gibi sebepler de araştırmacıları alternatif çözüm yöntemi arayışına yöneltmiştir.

Bu başlık altında incelenecek yöneylem araştırması temelli diğer bir yöntem, grafik renklendirme tekniğidir. Welsh ve Powell [43], zaman çizelgeleme problemlerinin çözümünde grafik renklendirme yönteminin kullanılabilirliğini göstermiştir. Derslerin düğümlerle, zaman dilimlerinin de renklerle ifade edildiği yöntemde, eğer ortak öğrenci içeren dersler varsa bu düğümler birleştirilmektedir. Bağlantısı olan düğümlerin aynı renkte olamayacağı kısıtı altında, kullanılan renk sayısı en küçükmeye çalışılmaktadır. Grafik renklendirme yöntemi, DPÇP için uygulanabilirliği en kolay ve en yaygın yöntemlerden biridir. Dolayısıyla problemin çözümünde bu yöntemin kullanıldığı birçok çalışmaya rastlanmaktadır [44]-[51]. Matematiksel programlama tekniğine benzer olarak, bu yöntem de büyük boyutlu problemlerin çözümünde yetersiz kalmaktadır.

Kısıt programlama yöntemi de DPÇP'nin özellikleriyle örtüşen yöneylem araştırması tekniklerinden birisidir. Yöntemin temelinde tüm kısıtların sağlandığı mümkün bir çizelgeye ulaşma amacı vardır. Kısıt sağlama yöntemi olarak da bilinen bu yöntem, DPÇP'nin yoğun kısıt yapıları düşünüldüğünde, problemin çözümü için oldukça uygun bir yöntem olarak değerlendirilmektedir. Zhang ve Lau'nun [52] yaptıkları çalışma, kısıt programlama yönteminin DPÇP'nin çözümünde kullanılabilirliğini gösteren örneklerden biridir. Yazarlar, çalışmalarında yararlandıkları ILOG aracının, sahip olduğu zengin dil ve kütüphanesiyle problemin çözümüne yönelik büyük kazanımlar sağlanabileceği görüşünü savunmaktadır. Literatürde, DPÇP alanında kısıt programlama yönteminin kullanıldığı birçok çalışma mevcuttur [53]-[65]. DPÇP'nin çözümünde sıklıkla başvuru olan bu yöntemin kullanımı için güncel ve yaygın yaklaşım ise bazı sezgisel yöntemlerle kısıt programlama tekniğinin birlikte kullanılmasıdır. Bu sayede yöntemin bazı dezavantajlarından kaçınılarak, daha verimli çizelgelerin elde edilmesi sağlanmaktadır. Örneğin, Deris ve diğ. [66], DPÇP'ye ilişkin çözümlerin sadece genetik algoritmalar kullanılarak elde edilmesinin güçlüğüne dikkat çekmişler ve bu güçlüğün, kullanılacak uygunluk fonksiyonunun belirlenmesi aşamasındaki belirsizlikten kaynaklandığına değinmişlerdir. Bu çalışma ile de kısıt programlama ve genetik algoritmanın birlikte kullanıldığı bir melez algoritma önerilerek bu sorunun giderilebileceğini göstermişlerdir.

Ağ modelleri yaklaşımının kullanıldığı DPÇP çalışmalarının sayısı diğer yöntemlere göre nispeten daha azdır. Bu yöntem problemin bir ağ modeli olarak tasarlanması esasına dayanmaktadır. Ağ modelleri kullanılarak yapılan en önemli çalışmalar ise; Dyer ve Mulvey [67], Mulvey [68], Dinkel ve diğ. [27] şeklindedir.

Yöneylem araştırması temelli yaklaşımlar arasında incelenen son yöntem ise çok kriterli/çok amaçlı modelleme tekniğidir.



DPÇP'de elde edilmek istenen amaçlar çoğu zaman birden fazla ve birbirleriyle çelişen özelliklere sahiptir. Çok sayıda amaçlı olarak dikkate alınması gerektiği bu ve benzeri durumlarda çok kriterli veya çok amaçlı modelleme yöntemleri kullanılarak probleme çözüm aranmaktadır. DPÇP'nin çözümünde çok kriterli/çok amaçlı modelleme tekniğinden yararlanılan bazı önemli çalışmalar Tablo 1'de gösterilmiştir [69]-[73]. Bu grupta incelenen çalışmaların çoğunda hedef programlama tekniğine başvurulmuş, belirlenen amaçlardan sapma miktarlarının mümkün olabilecek en az seviyede tutulması sağlanmıştır. Amaç ifadeleri ise ağırlıklandırılarak modele ilave edilmiştir. Bu çalışmalarda söz konusu amaç ifadelerinin genellikle öğretim üyelerinin derslik, zaman dilimi tercihleri ve ders yükleri ile ilişkili olduğu görülmektedir. Problemin öğrenci odaklı olarak ele alındığı çalışmalarda ise amaç ifadelerinin öğrencilerin istek ve taleplerini karşılama niteliğinde olduğu dikkat çekmektedir. Örneğin; bir öğrenci grubunun aynı gün içerisinde sorumlu olduğu herhangi iki ders arasında kalan boş zamanın en küçüklenmesi, dersliklerin öğrenci gruplarının yer değiştirmelerini en aza indirecek şekilde atanmasının sağlanması gibi öğrencilerin ihtiyaçlarına yönelik amaç ifadelerine sıklıkla başvurulmaktadır.

DPÇP'nin en iyi çözümüne, yöneylem araştırması temelli yaklaşımlar olan; matematiksel programlama (tamsayılı programlama/doğrusal programlama), grafik renklendirme, kısıt programlama, ağ modelleri ve çok kriterli/çok amaçlı modelleme yöntemleri kullanılarak ulaşılabilmek mümkündür. Ancak bu yöntemler, genellikle güçlü bilgisayar sistemlerine ve çok fazla hesaplama zamanına ihtiyaç duymaktadır. Küçük boyutlu problemlerde verimli çözümlerin elde edilebildiği bu çözüm yöntemlerinin, üniversite ve fakülte boyutundaki büyük boyutlu DPÇP'nin çözümünde kullanılmalarının uygun olmadığı görülmektedir.

### 3.2 Metasezgisel temelli yaklaşımlar

Kısıt ve değişken sayılarına bağlı olarak problemin boyutunun üstel olarak büyümesiyle birlikte polinom zamanda en iyi çözüme erişilemeyeceği gerçeği, araştırmacıları en iyi çözümü garanti etmeyen metasezgisel temelli yaklaşımlara yöneltmiştir. DPÇP'nin çözümü için 1990 ve sonrasında içeren süreçte çok sayıda metasezgisel temelli yaklaşım kullanılmıştır. Çalışmanın bu bölümünde DPÇP'nin çözümü için kullanılan metasezgisel (Tek çözümlü/Popülasyon tabanlı algoritmalar) temelli yaklaşımlar ve yapılan çalışmalar: Tabu arama algoritması, Tavlama benzetimi, Değişken komşuluk arama, Yerel arama, Genetik algoritma, Karınca kolonisi optimizasyonu (KKO), Parçacık sürü optimizasyonu, Memetik algoritma, Harmoni arama algoritması şeklinde gruplandırılarak incelenecektir.

Tabu arama algoritması, kombinatoriyal optimizasyon alanında sıklıkla kullanılan bir yöntemdir. Genellikle, başka yöntemlerle birlikte kullanılarak, bu yöntemlerin yerel optimum tuzağına düşmesini engelleyen, uyarlanabilir bir yaklaşım olarak bilinmektedir. Tabu arama algoritmasının bugünkü modern şekli, Glover [74]-[75], Glover ve Laguna [76] tarafından geliştirilmiştir. Tabu arama; başlangıç çözümü, hareket mekanizması, aday liste stratejileri, hafıza, tabu yıkma kriterleri, durdurma koşulları gibi bazı temel elemanları içermektedir. Başlangıç çözümü, rastgele mümkün çözümler arasından seçilebilmekte veya bu aşamada bir algoritmadan yararlanılabilmektedir. Hareket mekanizması ise, mümkün çözümden yola çıkılarak elde edilecek yeni çözümleri

belirleyen araçtır. Tabu arama algoritması için mümkün çözümler, mevcut çözümün komşuluklarından meydana gelmektedir. Elde edilecek çözüm kalitesi hareket mekanizmasının işleyişi ile doğrudan ilgilidir. Enküçükleme problemleri için elde edilecek her yeni çizelgede amaç fonksiyonu değerinin azaldığı görülecektir. Çizelge sayısının bir fonksiyonu olan amaç fonksiyonu ifadesi azalan bir fonksiyonu göstermektedir. Büyük boyutlu problemlerde genellikle, ilk iterasyonlarda söz konusu azalma hızlı bir biçimde olurken, problemin sonlarına doğru bu iyileşme hızı azalmaktadır. Komşu arama algoritmalarının genel bir sorunu ise problemin yerel en iyiye takılma olasılığıdır. Bu dezavantajın üstesinden gelmek için, mevcut çizelgeden daha kötü bir çizelgenin denemesine izin verilmelidir. Bunların yanı sıra Tabu arama algoritması, zaman zaman daha kötü bir çözüme atlayabilme özelliğine de sahiptir [2].

DPÇP'nin çözümü amacıyla Tabu arama algoritmasından yararlanılan çok sayıda çalışmaya rastlamak mümkündür. Örneğin, Alvarez ve diğ. [77], temelinde Tabu arama algoritması olan, kullanışlı bir paket program geliştirmişlerdir. Bu çalışma bir anlamda Alvarez ve diğ. [78]'e de atıfta bulunmaktadır. Aladağ ve diğ. [79], DPÇP'nin çözümünde Tabu arama algoritmasını kullanmışlardır. Algoritma içerisinde farklı hareket türleri kullanılarak iki yeni komşuluk yapısı tanımlanmıştır. Hacettepe Üniversitesi İstatistik Bölümünü verilerinin kullanılarak 4 ayrı komşuluk yapısının karşılaştırması yapılmıştır. Bunların yanı sıra, DPÇP'nin çözümü için Tabu arama algoritmasının kullanıldığı birçok çalışmaya rastlamak mümkündür [80]-[86].

DPÇP alanında sıklıkla kullanılan metasezgisel yaklaşımlardan birisi de Tavlama benzetimi yöntemidir. Bu yöntem kombinatoriyal optimizasyon problemleri için iyi sonuçlar veren olasılıklı bir arama tekniği olma özelliğine sahiptir. Tavlama benzetimi yaklaşımının ortaya çıkmasında Kirkpatrick ve diğ. [87] ve Cherny [88] büyük katkıları bulunmaktadır. Uygulama alanı oldukça geniş olan bu yöntem, bir katının minimum enerji durumu elde edilene kadar yavaş yavaş soğutulduğu fiziksel tavlama sürecini taklit etmektedir. Amaç fonksiyonunun, yerel en iyiye takılmaması için bazı durumlarda daha kötü çözümlere ulaşılabilmektedir. Yapılan araştırmalar, Tavlama benzetimi tekniğinin kombinatoriyal eniyileme problemleri için en iyiye yakın çözümler veren kullanışlı bir yöntem olduğunu göstermektedir [89],[90],[2].

Bir kombinatoriyal eniyileme problemi olan DPÇP alanında Tavlama benzetimi yönteminin kullanıldığı çalışmalar ise; Dowsland [91], Abramson [92], Dige ve diğ. [93], Elmohamed ve diğ. [94], Kostuch [95], Bai ve diğ. [96], Tuga ve diğ. [97], Aycan ve Ayav [98], Abdullah ve diğ. [99], Basir ve diğ. [100], Cura [101], Ceschia ve diğ. [102] şeklinde sıralanabilir.

Metasezgisel temelli yaklaşımlar başlığı altında incelenen çözüm yaklaşımlarından biri de Değişken komşuluk arama yöntemidir. Bu yöntem kullanılarak yapılan DPÇP çalışmalarının oldukça az sayıda olduğu görülmektedir [103], [87].

Genetik algoritma, DPÇP alanındaki problemlerin çözümünde en çok kullanılan metasezgisel yaklaşımlardan biridir. Genetik algoritma yaklaşımı diğer metasezgiseller, Tavlama benzetimi ve Tabu arama yaklaşımlarına göre daha genel bir yöntem olarak bilinmektedir. Genetik algoritma yaklaşımının ortaya çıkmasında ise Holland [104], De Jong [105] ve Goldberg [106] büyük pay sahibidir. Yöntemin özelliklerine kısaca değinmek gerekirse; Genetik algoritmada çözüm uzayı, dizi veya

kromozom olarak gösterilen aday çözümlerden meydana gelmektedir. Her kromozom, bir amaç fonksiyonu değeri yani uygunluk değerine sahiptir. Seçilen herhangi bir kromozom kümesi ve bunların uygunluk değerleri bir yığını oluşturmaktadır. Genetik algoritmanın her aşamasında üretilen bir yığın hacmi, o aşamadaki nesli meydana getirmektedir. Genetik algoritma yöntemi probleme uyarlandığında ise; çizelgeler bir yığının üyelerini veya bireylerini ifade etmektedir. Her bireye özgü bir uygunluk değeri söz konusudur. Bu uygunluk değeri ise amaç fonksiyonu ifadesi ile kontrol edilir. Genetik algoritma yönteminde her bir iterasyon sonucundaki bir sonraki çözümler, önceki neslin bir bölümüne ait bireylerin mutasyonu ve çaprazlaması ile oluşmaktadır. Bireyler kromozomlar ile ifade edilmektedir. Her bir nesilde uygunluk değeri yüksek olan bireylerin hayatta kalma şansı en fazladır [2]. Yapılan çalışmalar incelendiğinde, Genetik algoritma yaklaşımının DPÇP alanında oldukça iyi sonuçlar ürettiği ve problem için kısa sürede verimli çözümlere ulaşmayı mümkün kıldığı görülmüştür. Khonggamnerd ve Innet [107], otomatik olarak hazırlanan ders çizelgelerinin verimini artırmak amacıyla bir genetik algoritma modeli önermişlerdir. Bu modelde; seçim, çaprazlama ve mutasyon olmak üzere üç genetik operatör kullanılmıştır. Modelin çözümünden elde edilen sonuçlar Genetik algoritmaların DPÇP'nin çözümünde kullanılabileceğini gösterir niteliktedir. 0.7 çaprazlama oranı ile bütün zorunlu kısıtların sağlandığı bir çizelge elde edilmiştir. Genetik algoritma yaklaşımının DPÇP'ye uygulanmasına ilişkin diğer çalışmalar ise: Burke ve diğ. [108], Paechter ve diğ. [109], Carrasco ve Rato [110], Ueda ve diğ. [111], Yu ve Sung [112], Wang [113], Jat ve Yang [114], Asham ve diğ. [115], Alsmadi ve diğ. [116], Kohshori ve diğ. [117] şeklinde sıralanabilir.

KKO yaklaşımı ise bu bölümde ele alınacak bir başka metasezgisel yaklaşımdır. KKO yaklaşımı, karıncaların besin kaynaklarından geriye doğru en kısa yolu bulmalarını temel almaktadır. Karıncanın hangi yöne gideceğine ilişkin kararını etkileyen medya feromon denilen maddeden oluşmaktadır. Hareket eden karınca bir miktar feromon maddesini yolu belirlemek amacıyla ardında bırakmaktadır. Daha önce o yolda bırakılan feromon maddesinin yoğunluğuna göre de gideceği yola karar vermektedir. Yoldan geçen karınca miktarına göre yolda bırakılan feromon izi yoğunlaşmakta ve maddenin yoğun halde bulunduğu rota daha çekici hale gelmektedir. Böylece bir yolun seçilme ihtimali oradan geçen karınca sayısına bağlı olarak değişmektedir [118],[119],[2]. Temel özellikleriyle ifade edilen bu yöntemin DPÇP'ye ilişkin verimli sonuçlar ürettiği görülmektedir. Örneğin; Socha ve diğ. [15], DPÇP'nin çözümünde KKO'yu kullanmışlardır. Oluşturdukları algoritmayı ise 3 problem sınıfından derlenen 11'den fazla örnek problem setiyle test etme imkânı bulmuşlardır. Elde edilen sonuçlar, KKO'nun rastgele çözümlerle başlayan yerel arama tekniklerinden daha verimli çizelgeler oluşturduğunu göstermiştir. Mayer ve diğ. [120], geliştirdikleri KKO tabanlı sezgisel algoritma ile önemli çalışmalardan birine imza atmışlardır. Zaman çizelgeleme alanında bilinirliği yüksek bir çalışmada, 24 örnekten 5'i dışında en iyi çözüme ulaşarak bütün algoritmalar arasında 4. sırada yer almıştır. Bu çalışmalar gibi DPÇP için KKO algoritmasının kullanıldığı çalışmalardan bazıları: Ayob ve Jaradat [121], Nothegger ve diğ. [122] şeklindedir.

Bu başlık altında değerlendirilen metasezgisel temelli, Yerel arama, Parçacık sürü optimizasyonu, Memetik algoritma ve Harmoni arama algoritması gibi yöntemler ile DPÇP alanında

yapılmış diğer çalışmalara ilişkin bilgiler ise Tablo 1'de sunulmuştur.

### 3.3 Ders programı çizelgeleme problemi için yeni yaklaşımlar

Bu bölümde de DPÇP'nin çözümünde kullanılan, ağırlıklı olarak son yıllarda yaygınlaşan bazı yeni yaklaşımlar ve bu yaklaşımlarla birlikte yapılan çalışmalara yer verilecektir. Ele alınan bu yeni yöntemler ise: Hibrit algoritmalar, Bulanık yöntemler, Kümeleme algoritmaları, Karar destek sistemleri/ Uzman sistemler, Yapay sinir ağları, Çoklu ajan sistemleri ve Hipersezgiseller şeklinde gruplandırılmıştır.

Önceki bölümlerde incelenen; yöneylem araştırması ve metasezgisel temelli yaklaşımların üstün yönlerinin dikkate alınarak, birlikte kullanıldığı Hibrit (Melez) yöntemlere özellikle son yıllarda DPÇP alanında sıklıkla başvurulmaktadır. Örneğin; Ayob ve Jaradat [121], iki ayrı melez algoritma geliştirmişlerdir. İlk algoritma Tavlama benzetimi ve KKO; ikincisi ise Tabu arama algoritma ve KKO yöntemlerinin birlikte kullanıldıkları hibrit sistemlerden oluşmaktadır. Önerilen algoritmaların elde edilen test sonuçları, literatürdeki farklı yöntem ve yaklaşımlardan elde edilen sonuçlarla karşılaştırılmıştır. Deneysel sonuçlar önerilen sistemlerin, diğer KKO örneklerinden daha başarılı sonuçlar ürettiğini göstermiştir. Joudaki ve diğ. [123] ise, Memetik algoritma ve bir yerel arama tekniği olarak Tavlama benzetimi algoritmasının birlikte kullanıldığı Hibrit bir sistem önerisi ile probleme yaklaşımlardır. Ayrıca, Memetik algoritmaya eklenen gelişim işlemcisi ile üretilen kromozomların iyileşmesini ve kısıt ihlallerinin azalmasını sağlamışlardır. Önerilen yöntemin bu yapısıyla, önceki yaklaşımlara kıyasla daha verimli sonuçlar sağladığına değinilmiştir. Bir başka çalışmada ise; Asham ve diğ. [115], ders programı çizelgeleme ve sınav programı çizelgeleme problemleri için, grafik renklendirme ve genetik algoritmanın birlikte kullanıldığı genetik renklendirme isimli bir hibrit model sunmuşlardır. Geliştirilen melez yöntemin en iyi sonucu vermediğini ancak; genetik algoritma ve grafik renklendirme yöntemleriyle karşılaştırıldığında, yöntemin bazı yönleriyle daha iyi sonuçlar ürettiğini ifade etmişlerdir. DPÇP'ye yönelik bir diğer çalışma da, Kohshori ve Abadeh [124], DPÇP'nin NP-Zor yapısına ve klasik algoritmalarla çözümünün zor olmasına değinerek 3 yeni Genetik Algoritma Hibriti (FGARI, FGASA ve FGATS) önermişlerdir. Ayrıca bu çalışmada esnek kısıtların ihlal derecesinin belirlenmesi amacıyla bulanık mantıktan da yararlanılmışlardır. DPÇP alanında Hibrit algoritmalar kullanılarak yapılan çalışmalara ilişkin verilen örneklerin sayısını arttırmak mümkündür (Tablo 1).

Bu bölümde incelenen bir başka çözüm aracı da bir yapay zekâ tekniği olan bulanık mantık yaklaşımının DPÇP'ye uygulanmasını ifade eden Bulanık yöntemlerdir. DPÇP alanında son yıllarda kullanılmaya başlanması ve diğer yöntemlere göre yeni bir teknik olması sebebiyle, bu alanda Bulanık yöntemler ile yapılmış çok az sayıda çalışma bulunmaktadır. Örneğin; Chaudhuri ve Kajal [125], daha önce birçok çözüm yönteminin uygulandığı DPÇP için bir bulanık genetik sezgisel algoritma önermişlerdir. Modeldeki bulanık mantık bileşeni, amaç satırı içerisindeki esnek kısıtların karşılanma derecesini kontrol etmek amacıyla kullanılmıştır. Hindistan'da büyük boyutlu bir problem üzerinde test edilen yöntem, zorunlu kısıtların tamamını, esnek kısıtların ise önemli bir kısmını karşılayarak başarılı sonuçlar üretmiştir. Yine bu çalışmada hesaplama karmaşıklığının azaltılması konusunda gelecek çalışmalara

yönelik önerilerde de bulunulmuştur. DPÇP alanında Bulanık mantık yaklaşımının uygulandığı diğer çalışmalar ise: Asmuni ve diğ. [126], Golabpour ve diğ. [127], Kohshori ve diğ. [118] şeklinde örneklenebilir.

DPÇP'nin çözümüne yönelik olarak: Kümeleme algoritmaları, Karar destek sistemleri/Uzman sistemler, Yapay sinir ağları, Çoklu ajan sistemleri ve Hipersezgiseller kullanılarak yapılan diğer çalışmalara da Tablo 1 aracılığıyla ulaşılabilir.

DPÇP alanında yapılmış çalışmaların derlendiği benzer literatür taramaları için Tablo 1'de belirtilen "Literatür Araştırmaları" bölümüne başvurulabilir. Bu bölümde yer alan literatür çalışmalarının çoğunda DPÇP, zaman çizelgeleme problemleri başlığı altında bir alt problem olarak ele alınmıştır. Bu yönüyle bu çalışmalar çok sayıda zaman çizelgeleme probleminin bütün olarak incelendiği araştırmalar olarak değerlendirilmektedir. DPÇP konusunu da içeren bu literatür çalışmalarında; zaman çizelgeleme problemlerinin tanıtıldığı, daha önce bu alanda yapılan çalışmaların derlendiği ve zaman çizelgeleme problemlerinin çözümüne ilişkin başvuru olan yöntemlere kısa bir şekilde değinildiği görülmektedir. Ancak zaman çizelgeleme problemlerinin genel olarak ele alındığı bu çalışmalarda DPÇP'nin yeteri kadar ayrıntılı incelenmediği dikkat çekmektedir. DPÇP, zaman çizelgeleme problemleri içerisinde önemli gittikçe artan, kullanım alanları açısından da giderek yaygınlaşan bir problem tipi olma özelliğine sahiptir. Bu çalışma ile DPÇP literatüründeki bu eksikliklerin giderilmesi ve bu alanda çalışma yapmayı planlayan araştırmacılara güncel ve kapsamlı bir kaynak sunulması amaçlanmaktadır. Hazırlanan bu çalışma literatürdeki örneklerinden içerik ve kapsam yönüyle farklılık göstermektedir. Diğer literatür araştırmalarının aksine, bu çalışmada sadece DPÇP üzerine yoğunlaşarak daha ayrıntılı bir incelemeye yer verilmiştir. Sonuç olarak, çoğunluğu güncel yayınlardan oluşan yaklaşık 200 bilimsel kaynak taranarak diğer literatür araştırmalarına nazaran daha kapsamlı bir çalışma sunulmuştur.

#### 4 Sonuçlar

DPÇP; özellikle üniversitelerde, artan bölüm, program ve öğrenci sayıları dikkate alındığında çözümü giderek güçleşen bir sorun haline gelmiştir. Bununla birlikte çözüm karmaşıklığı ve önemi itibarıyla DPÇP, 1960'lı yıllardan günümüze geçen süreçte yüzlerce çalışmaya da araştırma konusu olmuştur. Bu çalışmada bütün eğitim kurumları için oldukça uğraştırıcı ve bu derece önemli bir aktivite olan DPÇP'ye ilişkin bir literatür taramasına yer verilmiştir. Çalışmanın ilk bölümlerinde problemin tanımı ve özelliklerine ilişkin bazı bilgiler yer almaktadır. İlerleyen bölümlerde ise, 50 yılı aşkın bir süredir araştırmacıların ilgisini çeken DPÇP alanında yapılmış; yöneylem araştırması temelli yaklaşımlar ve metasezgisel temelli yaklaşımlarla birlikte bazı yeni çözüm yöntemlerini de içeren 200'den fazla bilimsel yayın incelenerek, kullanılan çözüm yöntemleri ve araştırma eğilimlerinin incelendiği geniş çaplı bir analiz sunulmuştur. Yöneylem araştırması temelli yaklaşımlar, metasezgisel temelli yaklaşımlar ve yeni çözüm yöntemlerinin kullanıldığı çalışmaların incelenen tüm çalışmalar içerisindeki payları Şekil 1'de gösterilmiştir. Şekil 2'de ise DPÇP'nin çözümünde kullanılan metasezgisel temelli yöntemler ve bu yöntemlerin kullanım sıklığına ilişkin bilgileri içeren bir görsele yer verilmiştir.

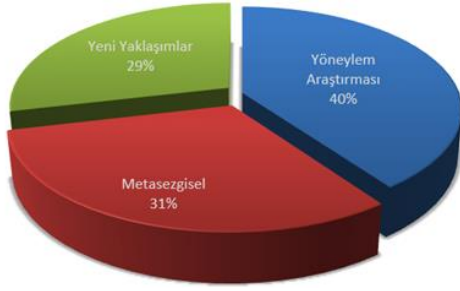
Bu çalışma kapsamında incelenen tüm bilimsel kaynaklara ilişkin genel bir değerlendirme yapmak gerekirse; DPÇP'nin çözümü için başvuru olan ilk ve en eski yöntemlerin yöneylem

araştırması temelli optimizasyon tekniklerinin olduğu görülmektedir. İlerleyen dönemlerde, kısıt ve değişken sayılarına bağlı olarak problem boyutunun üstel şekilde büyüdüğü farkedilmesiyle birlikte polinom zamanda en iyi çözüme erişilemeyeceği gerçeği, araştırmacıları en iyi çözümü garanti etmeyen, metasezgisel temelli yöntemlere yöneltmiştir. Bu yöntemlerden en çok kullanılanlarının ise Tabu arama, Tavlama benzetimi ve Genetik algoritma gibi metasezgisel yaklaşımlar olduğu görülmektedir. Sonraki dönemlerde ise; yöneylem araştırması ve metasezgisel temelli yaklaşımların üstün yönlerinin dikkate alınarak, bu yaklaşımların birlikte kullanıldığı Hibrit (Melez) yöntemlerin ağırlıklı olarak tercih edildiği görülmektedir. Özellikle son yıllarda DPÇP alanında yapılan çalışmaların, yeni geliştirilen Hibrit algoritmalar ve hipersezgiseller yönünde geliştiği gözlemlenmiştir.

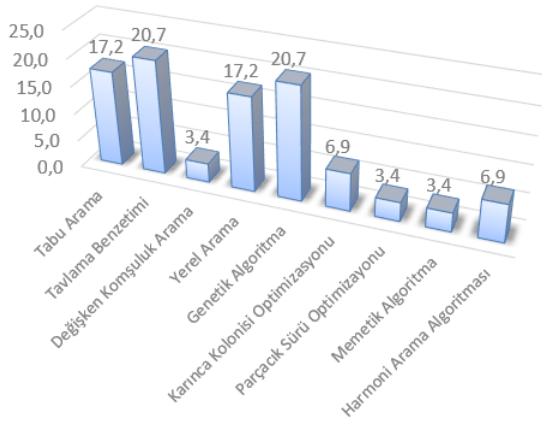
Tablo 1: DPÇP çözümünde kullanılan yöntemler ve yapılan çalışmalar.

Yaklaşım	Yöntem	Kaynaklar	
Yöneylem Araştırması	Tamsayılı/ Doğrusal Programlama	Andrew ve Collins [20], Akkoyunlu [21], Harwood ve Lawless [22], Breslaw [23], Shih ve Sullivan [24], Tripathy [25], McClure ve Wells [128], Ferland ve Roy [26], Gosselin ve Truchon [129], Laporte ve Desrosiers [130], Dinkel vd. [27], Tripathy [131], Johnson [132], Ferland ve Fleurent [133], Badri [28], Badri vd. [72], Boronico [29], Dimopoulos ve Miliotis [30], Baker vd. [31], Dimopoulos ve Miliotis [134], Özdemir ve Gasimov [18], Daskalaki vd. [32], Martin [135], Avella ve Vassiliev [136], Sarin [137], Daskalaki ve Birbas [33], Al-Yakoob ve Sherah [138], Günalay ve Şahin [34], MirHassani [8], Ismayilova [35], Al-Yakoob ve Sherah [139], Cheng ve Krak [140], Schimmelpfeng ve Helber [36], Gunawan vd. [141], Burke vd. [142], Baker ve Aksop [37], Van Den Broek vd. [38], Sarin vd. [39], Al ve Eren [40], van den Broek vd. [41], Cacchiani vd. [42],	
	Grafik Renklendirme	Welsh ve Powell [43], Werra [44], Selim [45], Cangalovic ve Schreuder [46], Mathais el ve Conn [47], Hertz ve Robert [48], Redi [49], Kazak vd. [50], Dandashi ve Al-Mouhamed [51],	
	Kısıt Programlama	Kang ve White [53], Frangouli vd. [54], Deris vd. [55], Goltz vd. [56], Deris vd. [66], Deris vd. [57], Abdennadher vd. [58], Zervoudakis ve Stamatoopoulos [59], Müller [60], Legierski ve Widawski [61], Radova ve Murray [62], Valoux ve Housos [63], Cambazard vd. [64], Zhang ve Lau [52], Hossain ve Zibran [65],	
	Ağ Modelleri	Dyer ve Mulvey [67], Mulvey [68], Dinkel vd. [27],	
	Çok Kriterli/Çok Amaçlı Modelleme	Miyaji vd. [69], Lee ve Sehniederjans [70], Schliederjans ve Kim [71], Badri vd. [72], Şahin [73], Özdemir ve Gasimov [18],	
	Tabu Arama	Hertz [80], Costa [81], Alvarez vd. [78], Alvarez vd. [77], Burke vd. [82], Arntzen ve Lokketangen [83], Mushi [84], Dammak vd. [85], Aladag vd. [79], Lü ve Hao [86],	
	Tavlama Benzetimi	Dowland [91], Abranson [92], Dige vd. [93], Elmhamed vd. [94], Kostuch [95], Bai vd. [96], Tuga vd. [97], Aycan ve Ayav [98], Abdullah vd. [99], Basir vd. [100], Cura [101], Ceschia vd. [102],	
	Değişken Konşuluk Arama	Abdullah vd. [103], Lü vd. [87],	
	Metasezgisel (Tek Çözümlü/Popülasyon Tabanlı Algoritmalar)	Yerel Arama	Hertz [143], Kiarer ve Yellen [144], Schaefer ve Gaspero [145], Asratian ve Werra [146], Rossi-Doria vd. [147], Müller vd. [148], Beyroothy vd. [149], Murray vd. [150], Jat ve Yang [151], Kohshori vd. [117],
		Genetik Algoritmalar	Burke vd. [108], Paechter vd. [109], Deris vd. [66], Carrasco ve Rato [110], Ueda vd. [111], Yu ve Sung [112], Wang [113], Jat ve Yang [114], Khongamnerd ve Innet [107], Asham vd. [115], Alsmadi vd. [116], Kohshori vd. [117],
Karınca Kolonisi Optimizasyonu		Socha vd. [15], Mayer vd. [120], Ayob ve Jaradat [121], Nothegger vd. [122],	
Parçacık Sürü Optimizasyonu		Shiau [152], Chen and Shih [153],	
Memetik Algoritmalar		Jat ve Yang [154], Joudaki vd. [123],	
Harmoni Arama Algoritmaları		Al-Betar vd. [155], Al-Betar ve Khader [156], Nguyen vd. [157], Wahid ve Hussin [158],	
Yeni Yaklaşımlar		Hibrit Algoritmalar	Deris vd. [66], Mirazavi vd. [159], Rachmawati ve Srinivasan [160], Chiarandini vd. [161], Abdullah vd. [162], Gunawan vd. [163], Tuga vd. [97], Rahoual ve Saad [164], Abdullah ve Hamdan [165], Pongcharoen vd. [166], Ayob ve Jaradat [121], Turabieh ve Abdullah [167], Joudaki vd. [123], Jat ve Yang [168], Shiau [154], Kohshori vd. [117], Gunawan vd. [169], Abdullah vd. [170], Kohshori ve Abadeh [124], Asham vd. [116], Kohshori ve Liri [171], Cambazard vd. [172], Bolaji vd. [173], Badoni vd. [174], Fong vd. [175],
	Bulanık Yöntemler	Asmuni vd. [126], Golabpour vd. [127], Chaudhuri ve Kajal [125], Kohshori vd. [117],	
	Kümeleme Algoritmaları	Amantooi ve Haddadnia [176], Shatnawi vd. [177],	
	Karar Destek Sistemleri / Uzman Sistemler	Dyer ve Mulvey [67], Kassicieh vd. [178], Glassey ve Mizrach [179], Chahal ve Werra [180], Dinkel vd. [27], Ferland ve Fleurent [134], Piechowiak ve Kolski [181], Foulds ve Johnson [182], Dasgupta ve Khazanchi [183], Günalay ve Şahin [34],	
	Yapay Sinir Ağları	Carrasco ve Kato [184],	
	Çoklu Ajan Sistemleri	Meisels ve Kaplinsky [185], Yanga vd. [186], Simad ve Guid [187], Oprea [188], Obit vd. [189], Yanga ve Paranjape [190],	
	Hiper Sezgiseller	Petrovic ve Qu [191], Burke vd. [192], Burke vd. [193], Burke vd. [194], Soria-Alcaraz vd. [195],	
	Literatür Araştırmaları		Schmidt ve Stroblin [196], Werra [44], Stallert [197], Carter ve Laporte [12], Schaefer [9], Burke [98], Petrovic [199], Lewis [200], MirHassani ve Habibi [16], Piliay [201], Babaei vd. [202],





Şekil 1: İncelenen çalışmalara göre, DPÇP'nin çözümünde yararlanılan yöntemlerin genel dağılımı.



Şekil 2: İncelenen çalışmalara göre, DPÇP'nin çözümünde yararlanılan metasezgisel temelli yöntemlerin dağılımı.

## 5 Kaynaklar

- [1] Baker KR. *Introduction to Sequencing and Scheduling*. New York, USA, John Wiley and Sons, 1974.
- [2] Eren T, Güner, E. "Çok ölçütlü akış tipi çizelgeleme problemleri için bir literatür taraması". *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 10(1), 19-30, 2004.
- [3] Güldalı A. Seri İş-Akışlı Atölye Çizelgelemesinde Sezgisel Teknikler. Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, Ankara, Türkiye, 1990.
- [4] Özyandı G. Ders Çizelgeleme Probleminin 0-1 Tamsayı Programlama Tabanlı Uygulaması. Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, Ankara, Türkiye, 2010.
- [5] Wren A. *Scheduling, Timetabling and rostering-a special relationship*. Editors: Burke E, Ross P. Practice and Theory of Automated Timetabling, 46-75, Berlin, Germany, Springer-Verlag, 1996.
- [6] Burke EK, Petrovic S, Qu R. "Case-Based heuristic selection for timetabling problems". *Journal of Scheduling*, 9(2), 115-132, 2006.
- [7] Botsalı AR. A Timetabling Problem: Constraint and Mathematical Programming Approaches. MSc Thesis, Bilkent University, Ankara, Turkey, 2000.
- [8] Mirhassani SA. "A Computational approach to enhancing course timetabling with integer programming". *Applied Mathematics and Computation*, 175(1), 814-822, 2006.
- [9] Schaefer A. "A Survey of automated timetabling". *Artificial Intelligence Review*, 13, 87-127, 1999.
- [10] Schaefer A, Gaspero L. "Local search techniques for educational timetabling problems". *6th International Symposium on Operational Research (SOR-01)*, Preddvor, Slovenia, 26-28 September 2001.
- [11] Qu R, Burke EK, McCollum B, Merlot LTG, Lee SY. "A survey of search methodologies and automated system development for examination timetabling". *Journal of Scheduling*, 12(1), 55-89, 2009.
- [12] Carter MW, Laporte G. "Recent developments in practical course scheduling". *2nd Conference on Practice and Theory of Automated Timetabling II*, Toronto, Canada, 20-22 August 1997.
- [13] Burke EK, MacCarthy B, Petrovic S, Qu R. "Case-Based reasoning in course timetabling: an attribute graph approach". *4th International Conference on Case-Based Reasoning*, Vancouver, Canada, 30 July-2 August 2001.
- [14] Soule K. Faculty Scheduling Using Genetic Algorithms. MSc Thesis, Rochester Institute of Technology, Department of Computer Science, New York, USA, 2006.
- [15] Socha K, Knowles J, Samples M. "A Max-Min ant system for the university course timetabling problem". *3rd International Workshop on Ant Algorithms (ANTS'02)*, London, UK, 12-14 September 2002.
- [16] Mirhassani SA, Habibi F. "Solution approaches to the course timetabling problem". *Artificial Intelligence Review*, 39(2), 133-149, 2013.
- [17] Hilton AJW, Slivnik T. "Stirling DSG. Aspects of edge list-colourings". *Discrete Mathematics*, 231(1-3), 253-264, 2001.
- [18] Özdemir MS, Gasimov RN. "The analytic hierarchy process and multiobjective 0-1 faculty course assignment". *European Journal of Operational Research*, 157(2), 398-408, 2004.
- [19] Öztürk ZK. Eğitimsel Zaman Çizelgeleme Problemleri için Çözüm Yaklaşımları ve Web Tabanlı Bir Karar Destek Sistemi Önerisi. Doktora Tezi, Anadolu Üniversitesi, Eskişehir, Türkiye, 2010.
- [20] Andrew GM, Collins R. "Matching faculty to courses". *College and University*, 46(2), 83-89, 1971.
- [21] Akkoyunlu EA. "A linear algorithm for computing the optimum university timetable". *The Computer Journal*, 16(4), 347-350, 1973.
- [22] Harwood GB, Lawless RW. "Optimizing organizational goals in assigning faculty teaching schedules". *Decision Sciences*, 6(3), 513-524, 1975.
- [23] Breslaw JA. "A linear programming solution to the faculty assignment problem". *Socio-Economic Planning Science*, 10(6), 227-230, 1976.
- [24] Shih W, Sullivan JA. "Dynamic course scheduling for college faculty via zero-one programming". *Decision Sciences*, 8(4), 711-721, 1977.
- [25] Tripathy A. "A lagrangean relaxation approach to course timetabling". *Journal of Operations Research Society*, 31(7), 599-603, 1980.
- [26] Ferland JA, Roy S. "Timetabling problem for university as assignment of activities to resources". *Computers and Operations Research*, 12(2), 207-218, 1985.
- [27] Dinkel JJ, Mote J, Venkataramanan MA. "An efficient decision support system for academic course scheduling". *Operations research*, 37(6), 853-864, 1989.
- [28] Badri MA. "A two-stage multiobjective scheduling model for faculty-course-time assignments". *European Journal of Operational Research*, 94(1), 16-28, 1996.
- [29] Boronico J. "Quantitative modeling and technology driven departmental course scheduling". *Omega*, 28(3), 327-346, 2000.



- [30] Dimopoulou M, Miliotis P. "Implementation of a university course and examination timetabling system". *European Journal of Operational Research*, 130(1), 202-213, 2001.
- [31] Baker KR, Magazine MJ, Polak GG. "Optimal block design models for course timetabling". *Operations Research Letters*, 30(1), 1-8, 2002.
- [32] Daskalaki S, Birbas T, Housos E. "An integer programming formulation for a case study in university timetabling". *European Journal of Operational Research*, 153(1), 117-135, 2004.
- [33] Daskalaki S, Birbas T. "Efficient solutions for a university timetabling problem through integer programming". *European Journal of Operational Research*, 160(1), 106-120, 2005.
- [34] Günalay Y, Şahin T. "A decision support system for the university timetabling problem with instructor preferences". *Asian Journal of Information Technology*, 5(12), 1479-1484, 2006.
- [35] Ismayilova NA, Sagir M, Gasimov RN. "A multiobjective faculty-course-time slot assignment problem with preferences". *Mathematical and Computer Modelling*, 46(7-8), 1017-1029, 2007.
- [36] Schimmelpfeng K, Helber S. "Application of a real-world university-course timetabling model solved by integer programming". *OR Spectrum*, 29(4), 783-803, 2007.
- [37] Bakır MA, Aksop C. "A 0-1 integer programming approach to a university timetabling problem". *Hacettepe Journal of Mathematics and Statistics*, 37(1), 41-55, 2008.
- [38] Van Den Broek J, Hurkens C, Woeginger G. "Timetabling problems at the TU Eindhoven". *European Journal of Operational Research*, 196(3), 877-885, 2009.
- [39] Sarin SC, Wang Y, Varadarajan A. "A university-timetabling problem and its solution using benders' partitioning: A case study". *Journal of Scheduling*, 13(2), 131-141, 2010.
- [40] Al A, Eren T. "Tamsayılı programlama modeli ile ders çizelgeleme problemi: Bir örnek uygulama". *Kırıkkale Üniversitesi Bilimde Gelişmeler Dergisi*, 1(2), 47-55, 2012.
- [41] Van Den Broek J, Hurkens C. "An IP-based heuristic for the post enrolment course timetabling problem of the ITC2007". *Annals of Operational Research*, 194(1), 439-454, 2012.
- [42] Cacchiani V, Caprara A, Roberti R, Toth P. "A new lower bound for curriculum-based course timetabling". *Computers & Operations Research*, 40(10), 2466-2477, 2013.
- [43] Welsh DJA, Powell MB. "An upper bound for the chromatic number of a graph and its application to timetabling problems". *The Computer Journal*, 10(1), 85-86, 1967.
- [44] Werra D. "An introduction to timetabling". *European Journal of Operational Research*, 19(2), 151-162, 1985.
- [45] Selim SM. "Split vertices in vertex colouring and their application in developing a solution to the faculty timetable problem". *The Computer Journal*, 31(1), 76-82, 1988.
- [46] Cangalovic M, Schreuder JAM. "Exact coloring algorithms for weighted graphs applied to timetabling problems with lectures of different lengths". *European Journal of Operational Research*, 51(2), 248-258, 1991.
- [47] Mathaisel D, Comm C. "Course and classroom scheduling: an interactive computer graphics approach". *Journal of Systems and Software*, 15(2), 149-157, 1991.
- [48] Hertz A, Robert V. "Constructing a course schedule by solving a series of assignment type problems". *European Journal of Operational Research*, 108(3), 585-603, 1998.
- [49] Redl TA. A Study of University Timetabling that Blends Graph Coloring with the Satisfaction of Various Essential and Preferential Conditions. Ph.D. Thesis, Rice University, Houston, Texas, USA, 2004.
- [50] Razak HA, Ibrahim Z, Hussin NM. "Bipartite graph edge coloring approach to course timetabling". *International Conference on Information Retrieval & Knowledge Management*, Shah Alam, Malaysia, 17-18 March 2010.
- [51] Dandashi A, Al-Mouhamed M. "Graph coloring for class scheduling". *8th ACS/IEEE International Conference on Computer Systems and Applications*, Hammamet, Tunisia, 16-19 May 2010.
- [52] Zhang L, Lau S. "Constructing university timetable using constraint satisfaction programming approach". *International Conference on Computational Intelligence for Modeling, Control and Automation and International Conference on Intelligent Agents, Web Technologies and Internet Commerce (CIMCA-IAWTIC'05)*, Washington DC, USA, 28-30 November, 2005.
- [53] Kang L, White GM. "A logic approach to the resolution of constraints in timetabling". *European Journal of Operational Research*, 61(3), 306-317, 1992.
- [54] Frangouli H, Harmandas V, Stamatopoulos P. "UTSE: Construction of optimum timetables for university courses-A CLP based approach". *3rd International Conference and Exhibition on Practical Applications of Prolog*, Paris, France, 3-6 April 1995.
- [55] Deris S, Ormatu S, Ohta H, Samat PABD. "University timetabling by constraint-based reasoning: A case study". *Journal of the Operational Research Society*, 48(12), 1178-1190, 1997.
- [56] Goltz HJ, Küchler G, Matzke D. "Constraint-Based timetabling for universities". *11th International Conference on Applications of Prolog (INAP-98)*, Tokyo, Japan, 20-22 October 1998.
- [57] Deris S, Omatu S, Ohta H. "Timetable planning using the constraint-based reasoning". *Computers & Operations Research*, 27(9), 819-840, 2000.
- [58] Abdennadher S, Saft M, Will S. "Classroom assignment using constraint logic programming". *2nd International Conference and Exhibition on the Practical Application of Constraint Technology and Logic Programming (PACLIP 2000)*, Manchester, United Kingdom, 10-12 April 2000.
- [59] Zervoudakis K, Stamatopoulos P. *A Generic Object-Oriented Constraint-Based Model for University Course Timetabling*. Editors: Burke E, Erben W. Practice and Theory of Timetabling III, 28-47, Berlin, Germany, Springer-Verlag, 2001.
- [60] Müller T. "Some novel approaches to lecture timetabling". *4th Workshop of Constraint Programming for Decision and Control (CPDC)*, Gliwice, Poland, 17-19 September 2002.
- [61] Legierski W, Widawski R. "System of automated timetabling". *25th International Conference on Information Technology Interfaces*, Cavtat, Croatia, 19-22 June 2003.
- [62] Rudova H, Murray K. *University Course Timetabling With Soft Constraints*. Editors: Burke E, de Causmaecker P. Practice and Theory of Automated Timetabling, 310-328, Berlin, Germany, Springer-Verlag, 2003.

- [63] Valoux C, Housos E. "Constraint programming approach for school timetabling". *Computers and Operations Research*, 30(10), 1555-1572, 2003.
- [64] Cambazard H, Demazeau F, Jussien N, David P. *Interactively solving school timetabling problems using extensions of constraint programming*. Editors: Burke E, Trick M, The Practice and Theory of Automated Timetabling V, 190-207, Berlin, Germany, Springer-Verlag, 2005.
- [65] Hossain S, Zibran MF. "A multi-phase approach to the university course timetabling problem". *6<sup>th</sup> Cologne Twente Workshop on Graphs and Combinatorial Optimization*, Enschede, Netherlands, 29-31 May 2007.
- [66] Deris S, Omatu S, Ohta H, Saad P. "Incorporating constraint propagation in genetic algorithm for university timetable planning". *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, 12(3), 241-253, 1999.
- [67] Dyer JS, Mulvey JM. "An integrated optimization/information system for academic departmental planning". *Management Science*, 22(12), 1332-1341, 1976.
- [68] Mulvey JM. "A classroom/time assignment model". *European Journal of Operational Research*, 9(1), 64-70, 1982.
- [69] Miyaji I, Ohno K, Mine H. "Solution method for partitioning students into groups". *European Journal of Operations Research*, 33(1), 82-90, 1981.
- [70] Lee S, Sehniederjans M. "Multi criteria assignment problem: A goal programming approach". *Interfaces*, 13(4), 75-81, 1983.
- [71] Schniederjans MJ, Kim GC. "A goal programming model to optimize departmental preference in course assignments". *Computers and Operations Research*, 14(2), 87-96, 1987.
- [72] Badri MA, Davis DL, Davis FD, Hollingsworth J. "A multi-objective course scheduling model: combining faculty preferences for courses and times". *Computers and Operations Research*, 25(4), 303-316, 1998.
- [73] Şahin T. Goal Programming Approach to Solve the Timetabling Problem at Turkish Military Academy. Master Thesis, Bilkent University Department of Management, Ankara, Turkey, 2004.
- [74] Glover F. "Tabu search-part I". *ORSA Journal on Computing*, 1(3), 190-206, 1989.
- [75] Glover F. "Tabu search-part II". *ORSA Journal on Computing*, 2(1), 4-32, 1990.
- [76] Glover F, Laguna M. *Tabu Search*. Boston, United States of America, Kluwer Academic Publishers, 1997.
- [77] Alvarez R, Crespo E, Tamarit JM. "Design and implementation of a course scheduling system using tabu search". *European Journal of Operational Research*, 137(3), 512-523, 2002.
- [78] Alvarez R, Crespo E, Tamarit JM. "Assigning students to course sections using tabu search". *Annals of Operations Research*, 96(1), 1-16, 2000.
- [79] Aladag CH, Hocaoglu GA, Basaran M. "The effect of neighborhood structures on tabu search algorithm in solving course timetabling problem". *Expert Systems with Application*, 36(10), 12349-12356, 2009.
- [80] Hertz A. "Finding a feasible course schedule using tabu search". *Discrete Applied Mathematics*, 35(3), 255-270, 1992.
- [81] Costa D. "A Tabu search algorithm for computing an operational timetable". *European Journal of Operational Research*, 76(1), 98-110, 1994.
- [82] Burke EK, Kendall G, Soubeiga E. "A tabu search hyperheuristic for timetabling and rostering". *Journal of Heuristics*, 9, 451-470, 2003.
- [83] Arntzen H, Lokketangen A. "A tabu search heuristic for a university timetabling problem". *5<sup>th</sup> Metaheuristics International Conference (MIC 2003)*, Kyoto, Japan, 25-28 August 2005.
- [84] Mushi AR. "Tabu search heuristic for university course timetabling problem". *African Journal of Science and Technology (AJST) Science and Engineering Series*, 7(1), 34-40, 2006.
- [85] Dammak A, Elloumi A, Kamoun H, Ferland J. "A tabu search procedure for course timetabling problem at a Tunisian University". *The 7<sup>th</sup> Conference on the Practice and Theory of Automated Timetabling*, Montréal, Canada, 18-22 August 2008.
- [86] Lü Z, Hao JK. "Adaptive tabu search for course timetabling". *European Journal of Operational Research*, 200(1), 235-244, 2010.
- [87] Kirkpatrick S, Gelatt CD, Vecchi MP. "Optimization by simulated annealing". *Science*, 220(4598), 671-680, 1983.
- [88] Cherny V. "Thermodynamical approach to traveling salesman problem: an efficient simulation algorithm". *Journal of Optimization Theory and Applications*, 45(1), 41-51, 1985.
- [89] Aarts EHL, Korst JH. *Simulated Annealing and Boltzmann Machines: A Stochastic Approach to Combinatorial Optimization and Neural Computing*. New York, USA, John Wiley, 1989a.
- [90] Aarts EHL, Korst JH. "Boltzmann machines for traveling salesman problems". *European Journal of Operational Research*, 39(1), 79-95, 1989b.
- [91] Dowsland KA. "A timetabling problem in which clashes are inevitable". *Journal of Operations Research*, 41(10), 907-918, 1990.
- [92] Abramson D. "Constructing school timetables using simulated annealing: Sequential and parallel algorithm". *Management Science*, 37(1), 98-113, 1991.
- [93] Dige P, Lund C, Ravn HF. "Timetabling by simulated annealing". *Lecture Notes in Economics and Mathematical Systems*, 396, 151-174, 1993.
- [94] Elmohamed MAS, Coddington P, Fox G. "A comparison of annealing techniques for academic course scheduling". *The Practice and Theory of Automated Timetabling II (PATAT'97)*, 1408, 92-112, 1998.
- [95] Kostuch P. "The university course timetabling problem with a three-phase approach". *Practice and Theory of Automated Timetabling V*, 3616, 109-125, 2005.
- [96] Bai R, Burkner EK, Kendall G, Collum BM. "A simulated annealing hyper-heuristic for university course timetabling". *The 6<sup>th</sup> International Conference on the Practice and Theory of Automated Timetabling*, Brno, Czech Republic, 30 August-1 September 2006.
- [97] Tuga M, Berretta R, Mendes A. "A hybrid simulated annealing with kempe chain neighborhood for the university timetabling problem". *6<sup>th</sup> IEEE/ACIS International Conference on Computer and Information Science (ICIS 2007)*, Melbourne, Australia, 11-13 July 2007.

- [98] Aycaan E, Ayav T. "Solving the course scheduling problem using simulated annealing". *IEEE International Advance Computing Conference*, Patiala, India, 6-7 March 2009.
- [99] Abdullah S, Shaker K, McCollum B, McMullan P. "Dual sequence simulated annealing with round-robin approach for university course timetabling". *Evolutionary Computation in Combinatorial Optimization*, 6022, 1-10, 2010.
- [100] Basir N, Ismail W, Norwawi NM. "A simulated annealing for Tahmidi course timetabling". *Procedia Technology*, 11, 437-445, 2013.
- [101] Cura T. "Timetabling of faculty lectures using simulated annealing algorithm". *İstanbul Ticaret Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 6(12), 1-20, 2007.
- [102] Ceschia S, Di Gaspero L, Schaerf A. "Design, engineering, and experimental analysis of a simulated annealing approach to the post enrolment course timetabling problem". *Computers and Operational Research*, 39(7), 1615-1624, 2012.
- [103] Abdullah S, Burke EK, McCollum B. "An investigation of variable neighbourhood search for university course timetabling". *2<sup>nd</sup> Multidisciplinary International Conference on Scheduling and Applications*, 2, 413-427, New York, USA, 2005.
- [104] Holland JH. *Adaptation in Natural and Artificial Systems*, Ann Arbor, USA, University of Michigan Press, 1975.
- [105] De Jong KA. An Analysis of the Behavior of a Class of Genetic Adaptive Systems. Ph.D. Thesis, University of Michigan an Arbor, USA, 1975.
- [106] Goldberg DE. *Genetic Algorithms in Search, Optimization and Machine Learning*. Boston, MA, USA, Addison-Wesley Longman Publishing Co., Inc. 1989.
- [107] Khonggamnerd P, Innet S. "On improvement of effectiveness in automatic university timetabling arrangement with applied genetic algorithm". *4<sup>th</sup> International Conference on Computer Sciences and Convergence Information Technology*, Washington DC, USA, 24-26 November 2009.
- [108] Burke E, Elliman D, Weare R. "A genetic algorithm based university timetabling system". *2<sup>nd</sup> East-West International Conference on Computer Technologies in Education*, Crimea, Ukraine, 19-23 September 1994.
- [109] Paechter B, Cumming A, Luchian H, Petriuc M. "Two solutions to the general timetable problem using evolutionary methods". *IEEE Conference on Evolutionary Computing*, Orlando, USA, 27-29 June 1994.
- [110] Carrasco MP, Rato MV. "A multiobjective genetic algorithm for the class/teacher timetabling problem". *Practice and Theory of Timetabling III*, 2079, 3-17, 2001.
- [111] Ueda H, Ouchi D, Takahashi K, Miyahara T. "A co-evolving timeslot/room assignment genetic algorithm technique for university timetabling". *Practice and Theory of Timetabling III*, 2079, 48-63, 2001.
- [112] Yu E, Sung KS. "A genetic algorithm for a university weekly courses timetabling problem". *International Transactions in Operational Research*, 9, 703-717, 2002.
- [113] Wang YZ. "Using genetic algorithm methods to solve course scheduling problems". *Expert Systems with Applications*, 25(1), 39-50, 2003.
- [114] Jat SN, Yang S. "A guided search genetic algorithm for the university course timetabling problem". *4<sup>th</sup> Multidisciplinary International Conference on Scheduling: Theory and Applications*, Dublin, Ireland, 10-12 August 2009.
- [115] Asham GM, Soliman MM, Ramadan AR. "Trans genetic coloring approach for timetabling problem". *Artificial Intelligence Techniques Novel Approaches & Practical Applications (IJCA)*, 1, 17-25, 2011.
- [116] Alsmadi OMK, Abo-Hammour ZS, Abu-Al-Nadi DI, Algsoon A. "A novel genetic algorithm technique for solving university course timetabling problems". *7<sup>th</sup> International Workshop on Systems, Signal Processing and Their Applications*, Tipaza, Algeria, 9-11 May 2011.
- [117] Kohshori MS, Abadeh MS, Sajedi H. "A fuzzy genetic algorithm with local search for university course timetabling". *3<sup>rd</sup> International Conference on Data Mining and Intelligent Information Technology Applications*, Coloane, Macao, 24-26 October 2011.
- [118] Dorigo M, Maniezzo V, Colnari A. "Ant system: optimization by a colony of cooperating agents". *IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics*, 26(1), 29-41, 1996.
- [119] Dorigo M, Di Caro G, Gambardella LM. "Ant algorithms for discrete optimization". *Artificial Life*, 5(2), 137-172, 1999.
- [120] Mayer A, Nothegger C, Chwatal A, Raidl G. "Solving the post enrolment course timetabling problem by ant colony optimization". *7<sup>th</sup> International Conference on the Practice and Theory of Automated Timetabling*, Montreal, Canada, 19-22 August 2008.
- [121] Ayob M, Jaradat G. "Hybrid ant colony systems for course timetabling problems". *IEEE 2<sup>nd</sup> Conference on Data Mining and Optimization* Selangor, Malaysia, 27-28 October 2009.
- [122] Nothegger C, Mayer A, Chwatal A, Raidl G. "Solving the post enrolment course timetabling problem by ant colony optimization". *Annals of Operational Research*, 194(1), 325-339, 2012.
- [123] Joudaki M, Imani M, Mazhari N. "Using improved memetic algorithm and local search to solve university course timetabling problem". Islamic Azad University, Doroud, Iran, 2010.
- [124] Kohshori MS, Abadeh MS. "Hybrid genetic algorithms for university course timetabling". *IJCSI International Journal of Computer Science Issues*, 9(2), 446-455, 2012.
- [125] Chaudhuri A, Kajal D. "Fuzzy genetic heuristic for university course timetable problem". *International Journal Advance Soft Computation Applications*, 2(1), 100-123, 2010.
- [126] Asmuni H, Burke EK, Garibaldi JM. "Fuzzy multiple heuristic ordering for course timetabling". *5<sup>th</sup> United Kingdom Workshop on Computational Intelligence (UKCI 2005)*, London, UK, 10-12 June 2005.
- [127] Golabpour A, Mozdorani Shirazi H, Farahi A, Kootiani M, Beige H. "A fuzzy solution based on memetic algorithms for timetabling". *IEEE International Conference on MultiMedia and Information Technology*, Las Vegas, USA, 30-31 December 2008.
- [128] McClure RH, Wells CE. "A mathematical programming model for faculty course assignment". *Decision Sciences*, 153(3), 409-420, 1984.
- [129] Gosselin K, Truchon M. "Allocation of classrooms by linear programming". *The Journal of the Operational Research Society*, 37(6), 561-569, 1986.
- [130] Laporte G, Desrochers S. "The problem of assigning students to course sections in a large engineering school". *Computational and Operations Research*, 13(4), 387-394, 1986.



- [131] Tripathy A. "Computerised decision aid for timetabling-a case analysis". *Discrete Applied Mathematics*, 35(3), 313-323, 1992.
- [132] Johnson D. "A database approach to course timetabling". *Journal of the Operational Research Society*, 44(5), 425-433, 1993.
- [133] Ferland JA, Fleurent C. "SAPHIR: A decision support system for course scheduling". *Interfaces*, 24(2), 105-115, 1994.
- [134] Dimopoulou M, Miliotis P. "An automated university course timetabling system developed in a distributed environment: a case study". *European Journal of Operational Research*, 153(1), 136-147, 2004.
- [135] Martin CH. "Ohio University's college of business uses integer programming to schedule classes". *Interfaces*, 34(6), 460-465, 2004.
- [136] Avella P, Vasiliev I. "A computational study of a cutting plane algorithm for university course timetabling". *Journal of Scheduling*, 8(6), 497-514, 2005.
- [137] Sarin SC, Wang Y, Varadarajan A. "Solving a timetabling Problem Using Benders' Decomposition". *2<sup>nd</sup> Multidisciplinary International Conference on Scheduling: Theory and Applications (MISTA 2005)*, New York, USA, 18-21 July, 2005.
- [138] Al-Yakoob SM, Sherali HD. "Mathematical programming models and algorithms for a class-faculty assignment problem". *European Journal of Operational Research*, 173(2), 488-507, 2006.
- [139] Al-Yakoob SM, Sherali HD. "A mixed-integer programming approach to a class timetabling problem: a case study with gender policies and traffic considerations". *European Journal of Operational Research*, 180 (3), 1028-1044, 2007.
- [140] Cheng E, Kruk S. "A case study of an integer programming model for instructor assignments and scheduling problem". *3<sup>rd</sup> Multidisciplinary International Conference on Scheduling: Theory and Applications (MISTA)*, Paris, France, 28-31 August 2007.
- [141] Gunawan A, Ng KM, Poh KL. "A hybrid algorithm for the university course timetabling problem". *7<sup>th</sup> International Conference on the Practice and Theory of Automated Timetabling*, Montreal, Canada, 19-22 August 2008.
- [142] Burke EK, Marecek J, Parkes AJ, Rudová H. "Penalising patterns in timetables: Novel integer programming formulations". *International Conference of the German Operations Research Society (GOR)*, Saarbrücken, Germany, 5-7 September, 2007.
- [143] Hertz A. "Tabu search for large scale timetabling problems". *European Journal of Operational Research*, 54, 39-47, 1991.
- [144] Kiarer L, Yellen J. "Weighted graphs and university course timetabling". *Computers and Operations Research*, 19(1), 59-67, 1992.
- [145] Schaefer A, Di Gasparo L. "Local search techniques for educational timetabling problems". *6<sup>th</sup> International Symposium on Operational Research (SOR-01)*, Preddvor, Slovenia, 26-28 September 2001.
- [146] Asratian AS, Werra D. "A generalized class-teacher model for some timetabling problems". *European Journal of Operational Research*, 143(3), 531-542, 2002.
- [147] Rossi-Doria O, Blum C, Knowles J, Sampels M, Socha K, Paechter B. "A local search for the timetabling problem". *4<sup>th</sup> International Conference on the Practice and Theory of Automated Timetabling*, Gent, Belgium, 21-23 August 2002.
- [148] Müller T, Bartak R, Rudova H. "Iterative forward search: Combining local search with maintaining arc consistency and conflict based statistics". *10<sup>th</sup> International Conference on Constraint Programming*, Toronto, Canada, September 27 -October 1, 2004.
- [149] Beyrouthy C, Burke EK, Landa Silva JD, McCollum B, McMullan P, Parkes AJ. "Towards improving the utilization of university teaching space". *Journal of Operational Research Society*, 60(1), 130-143, 2007.
- [150] Murray K, Muller, T, Rudova H. "Modeling and solution of a complex university course timetabling problem". *Practice and Theory of Automated Timetabling*, LNCS 3867, 189-209, 2007.
- [151] Jat SN, Yang S. "Genetic algorithms with guided and local search strategies for university course timetabling". *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics—Part C: Applications and Reviews*, 41(1), 93-106, 2011.
- [152] Shiao DF. "A hybrid particle swarm optimization for a university course scheduling problem with flexible preferences". *Expert Systems Applications*, 38(1), 235-248, 2011.
- [153] Chen RM, Shih HF. "Solving university course timetabling problems using constriction particle swarm optimization with local search". *Algorithms*, 6(2), 227-244, 2013.
- [154] Jat SN, Yang S. "A memetic algorithm for the university course timetabling problem". *20<sup>th</sup> IEEE International Conference on Tools with Artificial Intelligence*, Dayton, USA, 3-5 November 2008.
- [155] Al-Betar MA, Khader AT, Gani TA. "A harmony search algorithm for university course timetabling". *7<sup>th</sup> International Conference on the Practice and Theory of Automated Timetabling (PATAT 2008)*, Montreal, Canada, 18-22 August 2008.
- [156] Al-Betar MA, Khader AJ. "A hybrid harmony search for university course timetabling". *Multidisciplinary International Conference on Scheduling: Theory and Applications (MISTA 2009)*, Dublin, Ireland, 10-12 August 2009.
- [157] Nguyen K, Nguyen P, Tran N. "A hybrid algorithm of harmony search and bees algorithm for a university course timetabling problem". *International Journal of Computer Science Issues*, 9(1), 12-17, 2012.
- [158] Wahid J, Hussin NM. "Harmony great deluge for solving curriculum based course timetabling problem". *3<sup>rd</sup> International Conference on System Engineering and Technology*, Shah Alam, Malaysia, 19-20 August 2013.
- [159] Mirrazavi SK, Mardle SJ, Tamiz M. "A two-phase multiple objective approach to university timetabling utilising optimisation and evolutionary solution methodologies". *Journal of the Operational Research Society*, 54(11), 1155-1166, 2003.
- [160] Rachmawati L, Srinivasan D. "A hybrid fuzzy evolutionary algorithm for a multi-objective resource allocation problem". *5<sup>th</sup> International Conference on Hybrid Intelligent Systems*, Rio de Janeiro, Brazil, 6-9 November 2005.

- [161] Chiarandini M, Birattari M, Socha K, Rossi-Doria O. "An effective hybrid algorithm for university course timetabling". *Journal of Scheduling*, 9(5), 403-432, 2006.
- [162] Abdullah S, Burke EK, McCollum B. "A hybrid evolutionary approach to the university course timetabling problem". *IEEE Congress on Evolutionary Computation*, Singapore, 25-28 September 2007.
- [163] Gunawan A, Ng KM, Poh KL. "Solving the teacher assignment-course scheduling problem by a hybrid algorithm". *International Journal of Computer, Information, and Systems Science, and Engineering*, 1(2), 136-141, 2007.
- [164] Rahoual M, Saad R. "Solving timetabling problems by hybridizing genetic algorithms and tabu search". *The Practice and Theory of Automated Timetabling VI (PATAT'06)*, 3867, 467-472, 2007.
- [165] Abdullah S, Hamdan AR. "A Hybrid approach for university course timetabling". *International Journal of Computer Science and Network Security (IJCSNS)*, 8(8), 127-131, 2008.
- [166] Pongcharoen P, Promtet W, Yenradee P, Hicks C. "Stochastic optimisation timetabling tool for university course scheduling". *International Journal of Production Economics*, 112(2), 903-918, 2008.
- [167] Turabieh H, Abdullah S. "Incorporating tabu search into memetic approach for enrolment-based course timetabling problems". *IEEE 2nd Conference on Data Mining and Optimization*, Selangor, Malaysia, 27-28 October 2009.
- [168] Jat SN, Yang S. "A hybrid genetic algorithm and tabu search approach for post enrolment course timetabling". *Journal of Scheduling*, 14(6), 617-637, 2011.
- [169] Gunawan A, Ng KM, Poh KL. "A hybridized lagrangian relaxation and simulated annealing method for the course timetabling problem". *Computers & Operations Research*, 39(12), 3074-3088, 2012.
- [170] Abdullah S, Turabieh H, McCollum B, McMullan P. "A hybrid metaheuristic approach to the university course timetabling problem". *Journal of Heuristics*, 18(1), 1-23, 2012.
- [171] Kohshori MS, Liri MS. "Multi population hybrid genetic algorithms for university course timetabling". *International Journal for Advances in Computer Science*, 3(1), 12-22, 2012.
- [172] Cambazard H, Hebrard E, O'Sullivan B, Papadopoulos, A. "Local search and constraint programming for the post enrolment-based timetabling problem". *Annals of Operational Research*, 194(1), 111-135, 2012.
- [173] Bolaji AS, Khader AT, Al-Betar MA, Awadallah MA. "University course timetabling using hybridized artificial bee colony with hill climbing optimizer". *Journal of Computational Science*, 5(5), 809-818, 2014.
- [174] Badoni RP, Gupta DK, Mishra P. "A new hybrid algorithm for university course timetabling problem using events based on groupings of students". *Computers & Industrial Engineering*, 78, 12-25, 2014.
- [175] Fong CW, Asmuni H, McCollum B, McMullan P, Omatu S. "A new hybrid imperialist swarm-based optimization algorithm for university timetabling problems". *Information Sciences*, 283, 1-21, 2014.
- [176] Amintoosi M, Haddadnia J. "Fuzzy c-means clustering algorithm to group students in a course into smaller sections". *Springer-Verlag Berlin Heidelberg*, 147-160, 2005.
- [177] Shatnawi S, Al -Rababah K, Bani-Ismael B. "Applying a novel clustering technique based on fp-tree to university timetabling problem: A case study". *International Conference on Computer Engineering and Systems*, Cairo, Egypt, 30 November-2 December 2010.
- [178] Kassicieh SK, Burleson DK, Lievano RJ. "Design and implementation of a decision support system for academic scheduling". *Information and Operational Research*, 54(1), 39-47, 1986.
- [179] Glassey CR, Mizrach M. "A decision support system for assigning classes to rooms". *Interfaces*, 16(5), 92-100, 1986.
- [180] Chahal N, Werra D. "An interactive system for constructing timetables on a PC". *European Journal of Operational Research*, 40(1), 32-37, 1989.
- [181] Piechowiak S, Kolski C. "Towards a generic object oriented decision support system for university timetabling: An interactive approach". *International Journal of Information Technology and Decision Making*, 3(1), 179-208, 2004.
- [182] Foulds LR, Johnson DG. "Slotmanager: A microcomputer-based decision support system for university timetabling". *Decision Support Systems*, 27(4), 367-381, 2000.
- [183] Dasgupta P, Khazanchi D. "Adaptive decision support for academic course scheduling using intelligent software agents". *International Journal of Technology in Teaching and Learning*, 1(2), 63-78, 2005.
- [184] Carrasco MP, Pato MV. "A Comparison of discrete and continuous neural network approaches to solve the class/teacher timetabling problem". *European Journal of Operational Research*, 153(1), 65-79, 2004.
- [185] Meisels A, Kaplansky E. "Scheduling agents-distributed timetabling problems". *Springer-Verlog Berlin Heidelberg, LNCS 2740*, 166-177, 2003.
- [186] Yanga Y, Paranjape R, Benedicenti L. "An agent based general solution model for the course timetabling problem". *5th International Joint conference on Autonomous Agents (AAMAS'06)*, Hakodate, Hokkaido, Japan, 8-12 May 2006.
- [187] Strnad D, Guid N. "A multi-agent system for university course timetabling". *Applied Artificial Intelligence*, 21(2), 137-153, 2007.
- [188] Oprea M. "MAS\_UP-UCT: A multi-agent system for university course timetable scheduling". *International Journal of Computers, Communications & Control*, 2(1), 94-102, 2007.
- [189] Obit JH, Landa-Silva D, Ouelhadj D, Khan Vun T, Alfred R. "Designing a multi-agent approach system for distributed course timetabling". *11th International Conference on Hybrid Systems (HIS)*, Malacca, Malaysia, 5-8 December 2011.
- [190] Yanga Y, Paranjape R. "A multi-agent system for course timetabling". *Intelligent Decision Technologies. Computer Science and Artificial Intelligence*, 5(2), 113-131, 2011.
- [191] Petrovic S, Qu R. "Case-Based reasoning as a heuristic selector in a hyperheuristic for course timetabling problems". *Knowledge-Based Intelligent Information Engineering Systems and Allied Technologies*, 82, 336-340, 2002.
- [192] Burke EK, MacCarthy BL, Petrovic S, Qu R. "Knowledge discovery in a hyper-heuristic for course timetabling using case-based reasoning". *Lecture Notes in Computer Science*, 2740, 276-287, 2003.

- [193] Burke EK, Silva JDL, Soubeiga E. "Multi-Objective hyper-heuristic approaches for space allocation and timetabling, meta-heuristics: Progress as real problem solvers". *5<sup>th</sup> Metaheuristics International Conference*, Kyoto, Japan, 25-28 August 2005.
- [194] Burke EK, Meisels A, Petrovic S, Qu R, McCollum B. "A graph-based hyper-heuristic for educational timetabling problems". *European Journal of Operational Research*, 176(1), 177-192, 2007.
- [195] Soria-Alcaraz JA, Ochoa G, Swan J, Carpio M, Puga H, Burke EK. "Effective learning hyper-heuristics for the course timetabling problem". *European Journal of Operational Research*, 238(1), 77-86, 2014.
- [196] Schmidt G, Strohlein T. "Timetable construction-an annotated bibliography". *Computer Journal*, 23(4), 307-316, 1980.
- [197] Stallaert J. "Automated timetabling improves course scheduling at UCLA". *Interfaces*, 27(4), 67-81, 1997.
- [198] Burke EK, Werra D, Kingston J. *Handbook of Graph Theory*. 2<sup>nd</sup> ed. London, UK, CRC Press, 2004.
- [199] Petrovic S, Burke EK. *University Timetabling*. Editors: J. Leung, *Handbook of Scheduling: Algorithms, Models, and Performance Analysis*, 45, Chapman Hall/CRC Press, 2004.
- [200] Lewis R. "A survey of metaheuristic-based techniques for university timetabling problems". *OR Spectrum*, 30(1), 167-190, 2008.
- [201] Pillay N. "A review of hyper-heuristics for educational timetabling". *Annals of Operations Research*, 239(1), 3-38, 2014.
- [202] Babaei H, Karimpour J, Hadidi A. "A survey of approaches for university course timetabling problem". *Computers and Industrial Engineering*, 86, 43-59, 2015.



### Ek A

Yaklaşım	Yöntem	Kaynaklar
<b>Yöneylem Araştırması</b>	Tamsayılı/ Doğrusal Programlama	Andrew ve Collins [20], Akkoyunlu [21], Harwood ve Lawless [22], Breslaw [23], Shih ve Sullivan [24], Tripathy [25], McClure ve Wells [128], Ferland ve Roy [26], Gosselin ve Truchon [129], Laporte ve Desrochers [130], Dinkel vd. [27], Tripathy [131], Johnson [132], Ferland ve Fleurent [133], Badri [28], Badri vd. [72], Boronico [29], Dimopoulou ve Miliotis [30], Baker vd. [31], Dimopoulou ve Miliotis [134], Özdemir ve Gasimov [18] Daskalaki vd. [32], Martin [135], Avella ve Vasil'Ev [136], Sarin [137], Daskalaki ve Birbas [33], Al-Yakoob ve Sherali [138], Günalay ve Şahin [34], MirHassani [8], Ismayilova [35], Al-Yakoob ve Sherali [139], Cheng ve Kruk [140], Schimmelpfeng ve Helber [36], Gunawan vd. [141], Burke vd. [142], Bakır ve Aksop [37], Van Den Broek vd. [38], Sarin vd. [39], Al ve Eren [40], van den Broek vd. [41], Cacchiani vd. [42].
	Grafik Renklendirme	Welsh ve Powell [43], Werra [44], Selim [45], Cangalovic ve Schreuder [46], Mathaisel ve Comm [47], Hertz ve Robert [48], Redl [49], Razzak vd. [50], Dandashi ve Al-Mouhamed [51].
	Kısıt Programlama	Kang ve White [53], Frangouli vd. [54], Deris vd. [55], Goltz vd. [56], Deris vd. [66], Deris vd. [57], Abdennadher vd. [58], Zervoudakis ve Stamatopoulos [59], Müller [60], Legierski ve Widawski [61], Rudova ve Murray [62], Valoux ve Housos [63], Cambazard vd. [64], Zhang ve Lau [52], Hossain ve Zibrán [65].
	Ağ Modelleri	Dyer ve Mulvey [67], Mulvey [68], Dinkel vd. [27].
	Çok Kriterli/Çok Amaçlı Modelleme	Miyaji vd. [69], Lee ve Sehniederjans [70], Schniederjans ve Kim [71], Badri vd. [72], Şahin [73], Özdemir ve Gasimov [18].
<b>Metasezgisel (Tek Çözümlü/ Popülasyon Tabanlı Algort.)</b>	Tabu Arama	Hertz [80], Costa [81], Alvarez vd. [78], Alvarez vd. [77], Burke vd. [82], Amtzen ve Lokketangen [83], Mushi [84], Dammak vd. [85], Aladag vd. [79], Lü ve Hao [86].
	Tavlama Benzetimi	Dowland [91], Abramson [92], Dige vd. [93], Elmohamed vd. [94], Kostuch [95], Bai vd. [96], Tuga vd. [97], Aycan ve Ayav [98], Abdullah vd. [99], Basir vd. [100], Cura [101], Ceschia vd. [102].
	Değişken Komşuluk Arama	Abdullah vd. [103], Lü vd. [87].
	Yerel Arama	Hertz [143], Kiarer ve Yellen [144], Schaerf ve Gaspero [145], Asratian ve Werra [146], Rossi-Doria vd. [147], Müller vd. [148], Beyrouthy vd. [149], Murray vd. [150], Jat ve Yang [151], Kohshori vd. [117].
	Genetik Algoritma	Burke vd. [108], Paechter vd. [109], Deris vd. [66], Carrasco ve Rato [110], Ueda vd. [111], Yu ve Sung [112], Wang [113], Jat ve Yang [114], Khonggannerd ve Innet [107], Asham vd. [115], Alsmadi vd. [116], Kohshori vd. [117].
	Karınca Kolonisi Optimizasyonu	Socha vd. [15], Mayer vd. [120], Ayob ve Jaradat [121], Nothegger vd. [122].
	Parçacık Sürü Optimizasyonu	Shiau [152], Chen and Shih [153].
	Memetik Algoritma	Jat ve Yang [154], Joudaki vd. [123].
	Harmoni Arama Algoritması	Al-Betar vd. [155], Al-Betar ve Khader [156], Nguyen vd. [157], Wahid ve Hussin [158].

### Ek A (Devamı)

<b>Yeni Yaklaşımlar</b>	Hibrit Algoritmalar	Deris vd. [66], Mirazavi vd. [159], Rachmawati ve Srinivasan [160], Chiarandini vd. [161], Abdullah vd. [162], Gunawan vd. [163], Tuga vd. [97], Rahoual ve Saad [164], Abdullah ve Hamdan [165], Pongcharoen vd. [166], Ayob ve Jaradat [121], Turabieh ve Abdullah [167], Joudaki vd. [123], Jat ve Yang [168], Shiau [154], Kohshori vd. [117], Gunawan vd. [169], Abdullah vd. [170], Kohshori ve Abadeh [124], Asham vd. [116], Kohshori ve Liri [171], Cambazard vd. [172], Bolaji vd. [173], Badoni vd. [174], Fong vd. [175].
	Bulanık Yöntemler	Asmuni vd. [126], Golabpour vd. [127], Chaudhuri ve Kajal [125], Kohshori vd. [117].
	Kümeleme Algoritmaları	Amintoosi ve Haddadnia [176], Shatnawi vd. [177].
	Karar Destek Sistemleri / Uzman Sistemler	Dyer ve Mulvey [67], Kassicieh vd. [178], Glassey ve Mizrach [179], Chahal ve Werra [180], Dinkel vd. [27], Ferland ve Fleurent [134], Piechowiak ve Kolski [181], Foulds ve Johnson [182], Dasgupta ve Khazanchi [183], Günalay ve Şahin [34].
	Yapay Sinir Ağları	Carrasco ve Pato [184].
	Çoklu Ajan Sistemleri	Meisels ve Kaplansky [185], Yanga vd. [186], Strnad ve Guid [187], Oprea [188], Obit vd. [189], Yanga ve Paranjape [190].
	Hiper Sezgiseller	Petrovic ve Qu [191], Burke vd. [192], Burke vd. [193], Burke vd. [194], Soria-Alcaraz vd. [195].
<b>Literatür Araştırmaları</b>	Schmidt ve Strohleim [196], Werra [44], Stallaert [197], Carter ve Laporte [12], Schaerf [9], Burke [198], Petrovic [199], Lewis [200], MirHassani ve Habibi [16], Pillay [201], Babaei vd. [202].	