

# KULLANICI TERCİHLERİNİN DİKKATE ALINMASI DURUMUNDA ÜNİVERSİTE DERS ÇİZELGELEME PROBLEMİ

Zehra KAMIŞLI ÖZTÜRK<sup>1\*</sup>, Nergiz KASIMBEYLİ<sup>2</sup>, Müjgan SAĞIR ÖZDEMİR<sup>1</sup>, Müge SOYUÖZ ACAR<sup>1</sup>, Erdener ÖZÇETİN<sup>1</sup>,  
Mehmet ALEGÖZ<sup>1</sup>, Gürhan CEYLAN<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Anadolu Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, Eskişehir

<sup>2</sup>Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Mühendislik Mimarlık Fakültesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, Eskişehir  
zkamisli@anadolu.edu.tr, nkasimbeyli@anadolu.edu.tr, msagir@ogu.edu.tr, msoyuoz@anadolu.edu.tr, eozcetin@anadolu.edu.tr,  
mehmetalegoz@anadolu.edu.tr, gurhanc@anadolu.edu.tr

Geliş Tarihi: 13.02.2015; Kabul Ediliş Tarihi: 12.11.2015

## ÖZ

Bu çalışmada, üniversitelerde bir eğitim döneminde en az iki defa karşılaşılan bir eğitimsel zaman çizelgeleme problemi için kaliteli çözümlerin elde edilmesi amacıyla, çok amaçlı 0-1 tamsayılı bir matematiksel model sunulmuştur. Faaliyetlerin (ders) kaynaklara (derslik-zaman) atandığı ders-derslik-zaman çizelgeleme problemi kısıt ve değişken sayıları açısından büyük boyutlu bir problemdir. Bu problemin çözümü, yoğun iş gücü ve kaynak gerektirmektedir. Dolayısıyla, eğitim kurumları açısından önemli olduğu kadar, zor da bir problemdir. Temel atama kısıtlarının yanı sıra, kurumdan kuruma değişimle birlikte, her problemin kendine özgü kısıt ve amaç fonksiyonları bulunmaktadır. Çalışmada, çok ölçütlü bir karar verme modeli ile kullanıcı tercih ve istekleri de dikkate alınarak geliştirilen matematiksel model, Anadolu Üniversitesi bünyesinde bir bölüme ait veriler ile ağırlıklı toplam skalerleştirme yöntemi kullanılarak çözdürüldüğünde, kabul edilebilir bir sürede en iyi çözüme ulaşılmıştır. Elde edilen çizelge mevcut çizelge ile karşılaştırıldığında, önerilen sistemin öğrenciler, öğretim üyeleri ve kaynak kullanımı açısından genel performansı artırıcı yönde iyi sonuç verdiği görülmüştür.

**Anahtar Kelimeler:** Çok ölçütlü karar verme, ders-derslik-zaman çizelgeleme problemi, matematiksel modelleme, optimizasyon

## UNIVERSITY COURSE SCHEDULING PROBLEMS IN CASE OF CONSIDERATION OF THE USER PREFERENCES

### ABSTRACT

In this study, a multi objective 0-1 integer mathematical model is proposed for the purpose of obtaining high-quality solutions to an educational timetabling problem faced a few times in each term in the universities. The course-room-time slot scheduling problem which assigns events (course) to resources (room-time slot) is a big dimensional problem based on the number of constraints and variables. The solution to this problem requires intensive labor and resources. Thus, the problem is important for educational institutions, and also is a difficult problem. Beside the main assignment constraints, each of them has its own specific constraint and objectives changing from one institution to another. The mathematical model which is developed by considering the user preferences with a multi criteria decision making model was experimented by using the data of a department in Anadolu University. During the solution step, the weighted sum scalarization method is used and it is seen that the mathematical model found the optimal solution within a reasonable time. The outcome is compared with the current schedule. The proposed approach gives better solutions will increase overall performance of the educational systems from the point of students and instructors.

**Keywords:** Multi criteria decision making, course-room-time slot scheduling problem, mathematical modelling, optimization

\* İletişim yazarı

## 1. GİRİŞ

Zaman çizelgeleme problemleri ilköğretim kurumlarında, liselerde ve üniversitelerde haftalık ders/sınav zaman çizelgelerinin hazırlanmasından metro ulaşım faaliyetlerinin çizelgelenmesine, personel nöbet çizelgelerinin hazırlanmasından (Azmat ve Widmer, 2004), makine çizelgeleme (Akyol ve Saraç, 2012; Koçanlı vd., 2013), üretim ve/veya servis işletmelerinde vardiya çizelgelenmesine (Liebchen ve Möhring, 2002) kadar yaygın bir alanda karşılaşılan problemlerdir. Eğitimsel zaman çizelgeleme ise bu alanda üzerinde sürekli çalışılan bir problem türüdür.

Eğitimsel zaman çizelgeleme problemleri, tüm eğitim kurumlarında, her dönem en az üç-dört kez çözülmesi gereken problemlerdir. Problemin girdi boyutunun büyümesiyle (kısıt ve değişken sayısının artmasıyla) birlikte çözüm uzayı üssel bir şekilde büyümekte ve buna bağlı olarak çözüm süresi çok hızlı bir şekilde artmaktadır. Bu problemlerde bireyler faaliyet ve/veya kaynaklara, yanı sıra faaliyetler de kaynaklara atanabilmektedir. Öğretim üyelerinin derslere veya gözetmenlerin sınavlara atanması bireylerin faaliyetlere atanmasına; gözetmen ya da öğreticilerin zaman dilimleri ya da dersliklere atanması ise bireylerin kaynaklara atanmasına örnek olarak verilebilir. Öte yandan, derslerin/sınavların dersliklere ve/veya zaman dilimlerine atanması ise faaliyetlerin kaynaklara atanmasıdır. Bu sınıflama içerisinde çok farklı kombinasyonlarda alt problemler ile karşılaşılabilir. Bu çalışma kapsamında, faaliyetlerin kaynaklara atanması için ders-derslik-zaman çizelgeleme atamasının yapıldığı *ders çizelgeleme problemi* ele alınmıştır.

Ders çizelgeleme hem yükseköğretim hem de ilk ve orta öğretim kurumlarında karşılaşılan bir problemdir. Ancak, ilk ve orta öğretim kurumlarında her sınıfın sabit bir dersliği olduğundan bir derslik atama problemi ile genellikle karşılaşmaz. Yanı sıra, ardışık dersler arasında boş zaman dilimleri olmadığından karşılaşılan bu ders çizelgeleme problemi üniversite ders çizelgeleme probleminin bir alt problemi gibi düşünülebilir. Çalışma kapsamında ele alınan ders zaman çizelgeleme problemi, üniversitelerdeki ders-derslik-zaman çizelgeleme problemi için ele alınmış olmakla birlikte, başka çizelgeleme problemlerine de benzetilerek çözümlerine temel olması

söz konusudur. Ele alınan ders çizelgeleme problemi için kullanıcı tercihlerini de dikkate alan çok amaçlı 0-1 tamsayılı bir matematiksel model geliştirilmiştir. Kurulan modelin çözümdeki başarısını sınamak amacıyla, Anadolu Üniversitesi Mühendislik Fakültesi-Endüstri Mühendisliği Bölümü ders derslik zaman çizelgeleme problemleri incelenmiş ve bu problem için en iyi çözüm elde edilmiştir.

İzleyen bölümlerde sırasıyla, ders çizelgeleme problemlerine ilişkin literatür taraması verilmiştir. Üçüncü bölümde, problem için önerilen matematiksel model ve gerçek veri ile elde edilen çözüm sunulmuş, son bölümde ise karşılaşılan güçlükler ve gelinen nokta tartışılmıştır.

## 2. DERS ÇİZELGELEME PROBLEMLERİ

Son 25 yıl içerisinde çeşitli zaman çizelgeleme problemleri üzerine önerilen modeller ve çözüm yaklaşımları incelendiğinde, en çok ilgiyi eğitimsel zaman çizelgeleme problemlerinin gördüğü söylenebilir. Eğitim kurumlarındaki zaman çizelgelerinde ders, derslik gibi kaynaklar veya faaliyetler ile öğrenci, öğretici, gözetmen gibi kişiler yer almaktadır. Öğreticiler aynı zamanda kaynak olarak da sayılabilir.

Ders çizelgeleme problemi temel olarak, hiçbir öğrenci ve öğreticinin aynı anda birden fazla dersi olmayacak şekilde derslerin, derslik ve zaman dilimlerine atanması problemidir. Bu çalışmada temel bileşenler, ders, derslik, zaman dilimi ve öğretici şeklindedir. Literatürde veya gerçek hayatta karşılaşılan herhangi bir probleme yukarıdaki bileşenlerin tümünü veya herhangi birini veyahut da birkaç anlamlı kombinasyonunu farklı sıralarda çözmekle çözüm aranabilir. Genellikle tüm bileşenleri aynı anda ele almak, çözümü olanaksız yapılar ortaya çıkarmaktadır. Dinkel vd. (1989), 1970 ve 80'lerde yapılan çalışmaların birçoğunda öğretici, ders ve derslik kombinasyonlarının zaman dilimlerine atanmasının ele alınmadığını, açılan ders çeşitliliği arttıkça problem boyutunun ve çizelgelerin oluşturulması için gerekli sürenin arttığını belirtmiştir. Schaerf (1999) de 1963-1999 yılları arasındaki çalışmalarını derlediği yayınında, problemin NP-tam olduğunu ve en iyi çözümün sadece küçük boyutlu problemler (örneğin en fazla 10 ders için) için elde edilebileceğini göstermiştir.

Ders zaman çizelgeleme problemlerinin boyutunun ve çözümleri için gerekli sürenin artması nedeniyle bu problemler, genellikle birden fazla aşamada; ders-derslik atama, ders-öğretici atama, öğrenci-ders atama gibi alt problemler şeklinde çözülmektedir. Bu çalışmaların büyük çoğunluğu, öğretim elemanlarının vereceği derslerin önceden bilindiği varsayımı altında derslerin çizelgelenmesiyle ilgilenebilir.

Ders çizelgeleme probleminde ele alınan kısıtlar, sıkı ve esnek olmak üzere iki sınıfa ayrılmaktadır. Sıkı, bir diğer deyişle, zorunlu kısıtlar, elde edilen çözümün/ders çizelgesinin uygun olması için sağlanması gereken zorunlu kısıtlardır. Esnek kısıtlar ise sağlanması istenen; fakat zorunlu olmayan kısıtlardır. Üniversite ders çizelgelerinin kalitesi de sağlanmayan esnek kısıt sayıları ile belirlenmektedir. Esnek kısıtlar, problemin ele alındığı kurumun gereksinimlerine göre belirlenen kurumdan kuruma farklılık gösterebilen kısıtlardır.

İzleyen alt bölümde, farklı boyutlarda ele alınan; ancak genel olarak ders çizelgeleme problemi olarak tanımlanan probleme ait literatür verilmiştir.

### 2.1 Ders Çizelgeleme Problemleri ve Literatür Taraması

Literatürde yer alan çalışmalar incelendiğinde, kurumlara özgü problemlerin yanı sıra, yaygın olarak Ben Paechter<sup>1</sup> tarafından tanımlanan ve teorik ve uygulamalı çalışmalarda metasezgisellerin nasıl çalıştığının araştırılmasına yönelik Avrupa Birliği destekli (HPRN-CT-1999-00106) bir proje olan “Metasezgiseller Ağrı”<sup>2</sup>’nde ele alınan ders çizelgeleme probleminin çözümünün araştırıldığı görülmüştür (Socha vd., 2003; Burke vd., 2003; Burke vd., 2007; Abuhamdah ve Ayob, 2009; Al-Betar vd., 2012; Acha ve Nieuwenhuis, 2012; Abuhamdah vd., 2014; Qaurooni and Akbarzadeh-T, 2013; Bolaji vd., 2014). Problemin kısıt ve amaçları aşağıdaki şekilde belirlenmiştir.

#### Sıkı Kısıtlar

1. Her ders, projeksiyon aleti, internet erişimi gibi bazı niteliklere gereksinim duymaktadır. Dersin atandığı derslikte gerekli nitelikler bulunmalıdır.

2. Bir öğrenci, aynı zaman diliminde birden fazla dersi alamaz.
3. Bir derslikte aynı zaman diliminde birden fazla ders yapılamaz.
4. Bir dersin atandığı dersliğin kapasitesi, dersi alan öğrenci sayısı için yeterli olmalıdır.

#### Esnek Kısıtlar

1. Bir öğrencinin mümkün olduğunca günün son zaman diliminde dersi olmamalıdır.
2. Bir öğrenci, gün içinde mümkün olduğunca ardışık olarak en fazla iki derse girmelidir.
3. Bir öğrencinin, mümkün olduğunca bir günde sadece bir dersi olmamalıdır.

Tüm sıkı kısıtların sağlandığı bir zaman çizelgesi uygun çözüm olarak kabul edilir. Tüm esnek kısıtların sağlanması ise genellikle mümkün değildir. Çözüm sonucunda sağlanmayan esnek kısıtların sayısı, çözüm kalitesinin bir göstergesidir. Ele alınan problemin amacı, sağlanmayan toplam esnek kısıt sayısını en küçükmektir. Dolayısıyla bu problem, üç amaçlı bir problem olarak ele alınmıştır. Ders-derslik-zaman dilimi atamasının yapıldığı bu ders çizelgeleme probleminin dikkat çeken özelliği ders saatlerinin sadece “1 saat” olarak varsayılmasıdır. Yanı sıra, öğretici ataması ve/veya öğretici tercihlerinin alınması da göz ardı edilmiştir. Dolayısıyla problem, gerçek uygulamalar ile birebir örtüşmemektedir.

Literatürde yer alan çalışmalardan gerçek problemleri ele almış olanlar için ise izleyen örnekleri verebiliriz. Daskalaki vd. (2004), Yunan üniversitelerinde karşılaşılan ders çizelgeleme problemleri için 0-1 tamsayılı programlama yapısında bir model önermişlerdir. Modelde, literatürde yaygın olarak kullanılan teklik ve tamamlanma kısıtlarının yanı sıra, blok olarak yapılması istenen derslerin mutlaka istenen ders saati uzunluğunda atanmasını sağlayan süreklilik kısıtları ve bazı öğretim elemanlarının verdiği derslerin problem çözülmeden önce istenen gün ve zaman aralığına atanmasını sağlayan ön atama (belirleme) kısıtları da mevcuttur.

Chen ve Shih (2013), ders çizelgeleme problemlerinin zorluk derecesinin NP-Zor düzeyinde olan problemlerden biri olduğunu öne sürmüş bu yüzden kesin yöntemler yerine sezgisellerle çözüme gitmeyi uygun bulmuştur. Bu nedenle çalışmalarında, standart parçacık sürü optimizasyonu ve yerel arama sezgisellerini kullanmışlardır. Bir derslikte aynı zaman diliminde birden fazla ders yapılamaz gibi zorunlu kısıtlarının yanında, “yönetimde görev alan öğretim elemanlarının Perşembe öğleden sonra ders vermemesi” gibi kuruma özel kısıtlara da yer verilmiştir. Her bir yılın zorunlu derslerinin (düzensiz öğrencileri de göz önünde bulundurarak) farklı zamanlara atanması, öğretim elemanlarının zaman tercihlerinin dikkate alınması ve her bir öğreticinin haftalık toplam ders saatinin önceden belirlenmiş zaman limitleriyle sınırlı olması gibi farklı esnek kısıtlar da modele dahil edilmiştir. Çalışmada geliştirilen çözüm yöntemi, 16 öğretim üyesinin zaman dilimi tercihleri dikkate alınarak 10 ders, 10 derslik ve 40 saat zaman dilimi boyutunda bir problemde denenmiş ve ders-derslik-zaman dilimi ataması problemi belirtilen zorunlu kısıtları sağlayarak çözülmüş ve en iyi sonuca erişilmiştir.

Wehrer ve Yellen (2014), Rollins College için iki amaçlı bir model geliştirmiştir. İlk amaç, düzensiz öğrencilerin ders çakışmalarının en küçükleme, ikinci bir amaç da gün içindeki dersler arasındaki zaman dilimi sayısının en küçükleme. Çözüm için ağ boyama (graph coloring) yaklaşımı kullanılmıştır.

Shiau (2011), ders-derslik-zaman dilimi atama problemi konusunda yaptığı çalışmada, hem öğretim üyelerinin hem de öğrencilerin zaman dilimi tercihlerini dikkate almıştır. Bu çalışmada, en küçük problemde 17 öğretim üyesinin tercihi alınarak 8 ders ataması yapılırken, en büyük problemde de 49 öğretim üyesinin tercihleri dikkate alınarak 28 dersin ataması yapılmıştır. Bu boyuttaki bir çizelgeleme problemi için herhangi bir matematiksel model geliştirilmemiş, doğrudan bir metasezgisel ile çözüm elde edilmiştir.

Öğretim elemanlarının derslere atanması problemi de ders-derslik atama problemi gibi zaman boyutu içermeyen bir alt problemdir. Bu alt problemde amaç, her derse bir öğretici atamasının yapılmasıdır. Badri (1996), iki aşamalı olarak ele aldığı ders çizelgeleme probleminin ilk

aşamasında, öğretim elemanlarının tercihlerini en yüksek düzeyde karşılayacak şekilde öğretim elemanlarını derslere atamaktadır. Mir Hassani (2006) de öğretici tercihlerini dikkate almıştır. Öğretim elemanlarının göz önüne alındığı çalışmalar derlendiğinde (Harwood, 1975; Boronico, 2000; Ozdemir ve Gasimov, 2004; İsmayilova vd., 2007; Shiau, 2011; Chen ve Shih, 2013; Wehrer ve Yellen, 2014), bu tercihlerin genel olarak öğretim elemanının tercih ettiği derse atanması, derslerin belirli zaman dilimlerine atanması, bazı derslerin belirli dersliklere atanması, bir günde ilk ve son ders arasındaki sürenin mümkün olduğunca kısa olması, derslerin mümkün olduğunca en az sayıda güne atanması ve gece derslerinin mümkün olduğunca az olması şeklinde belirlendiği görülmüştür. Ancak bu çalışmaların bir kısmında öğretim elemanlarının tercihleri göz önünde bulundurulduğunda, model karmaşıklığı arttığı için derslik ataması göz ardı edilmiştir.

### 2.2 Çözüm Yaklaşımları

Eğitimsel zaman çizelgeleme problemlerinin çözümünde matematiksel programlama, sezgiseller, metasezgiseller ve kısıt programlama (constraint programming) gibi farklı yaklaşımlar kullanılmaktadır. Problemlerin ele alındığı ilk yıllarda, çözümler elle yapılmaktaydı. Yaygın yaklaşım, en fazla kısıtı olan dersin önce çizelgelenmesi ve ardından tüm dersler çizelgelenene kadar bu yaklaşımın devam etmesiydi. Kısmi çözüm üretmek zaman çizelgeleri oluşturan bu teknikler, sezgiseller olarak adlandırılmaktadır (Schaerf, 1999). Çözüm tekniği olarak sezgisellerin kullanımının ardından tamsayılı programlama, ağ renklendirme gibi daha genel yöntemlerin kullanımına geçilmiştir. Ders çizelgeleme problemlerinin çözümü açısından bakıldığında, çok sayıda değişkeni ve kısıtı olması nedeniyle, özellikle büyük ölçekli bu problemleri bir tamsayılı matematiksel model yardımıyla çözmek konusunda tam bir başarı sağlanamamaktadır (Gunawan vd., 2007). Farklı yönetsel kararların da etkisiyle problemlerin boyutu büyümekte ve yapısı karmaşıklaşmaktadır. Dolayısıyla, çözüm için gerekli süre üstel olarak arttığından, son yıllarda çözüm için farklı metasezgiseller geliştirilmiştir. Dowsland (1990) ve Kostuch (2005), eğitimsel zaman çizelgeleme problemlerini tavlama benzetimi yaklaşımı ile ele alan çalışmalara örnek olarak verilebilir.

<sup>1</sup> <http://www.dcs.napier.ac.uk/~benp/>

<sup>2</sup> <http://www.metaheuristics.net/>

Birden çok çözümü eş zamanlı olarak değerlendirebilmeleri nedeniyle, son yıllarda çok amaçlı en iyileme problemlerinin çözümünde evrimsel algoritmalara olan ilgi artmıştır. Corne vd. (1994), Paquete ve Fonseca (2001), Gani vd. (2004), Santiago-Mozos (2005) ve Beligiannisa vd.nin (2008) çalışmaları, evrimsel algoritmaların eğitimsel zaman çizelgeleme problemlerinde kullanımına örnek olarak verilebilir.

Doğal karıncaların yuvaları ile besin kaynakları arasında izledikleri yolların gözlenmesine dayanan karınca kolonileri meta sezgiseli, son yıllarda eğitimsel zaman çizelgeleme problemlerinin çözümünde kullanılan bir başka çözüm yaklaşımıdır (Socha vd., 2003; Azimi, 2005). Smith vd. (2003), Carrasco ve Pato (2004) ve Corr vd. (2006), yapay sinir ağlarını ders zaman çizelgeleme probleminde kullanan çalışmalardır. Chen ve Shih (2013), öğretici-ders-derslik ataması probleminin çözümü için parçacık sürü optimizasyonu metasezgiselini kullanmıştır. Shiau (2011) de parçacık sürü optimizasyonu metasezgiselini kullandığı bir çalışma gerçekleştirmiştir. Al-Betar vd. (2012) ise harmony algoritmasını ders çizelgeleme probleminin çözümünde ilk kullananlardır. Bu çalışmada, harmony search algoritmasının kesikli ve sürekli problemlerdeki esnekliği, kolay adapte edilebilirliği gibi avantajlarından yararlanılmıştır.

Bazı çalışmalarda ise problemlerin çözümünde, farklı metasezgisellerin meta sezgisel ve/veya diğer çözüm yaklaşımları ile birleştirilmesiyle geliştirilen, melez algoritmalar kullanılmıştır (Burke vd., 1996). Chiarandini vd. (2006) tarafından geliştirilen yasaklı arama, tavlama benzetimi ve Değişken Komşuluk Azalması (VND) algoritmalarının birleştirilmesinden oluşan melez meta sezgisel ile ders zaman çizelgeleme probleminin çözümünde başarılı sonuçlar elde edilmiştir.

Petrovic ve Burke (2004), eğitimsel zaman çizelgeleme problemleri ele alındığında, metasezgisellerin ve çok amaçlılık yaklaşımlarının birbirinden bağımsız konular olmadığını ve aralarında dikkate değer bir örtüşme olduğunu belirtmiştir. Zaten kombinatorik yapıya sahip olan bu problemlerin çok amaçlı olarak ele alınması, çözümü daha da zorlaştırdığından metasezgisellere olan ihtiyaç daha belirgin hale gelmiştir. Socha vd. (2003), Burke vd. (2003), Asmuni vd. (2005), Abdullah vd.

(2005), Burke vd. (2007), Ejaz ve Javed (2007), Abuhamdah ve Ayob (2009), Al-Betar vd. (2012), Acha ve Nieuwenhuis (2012), Abuhamdah vd. (2014), Qaurooni ve Akbarzadeh-T (2013) ve Bolaji vd.nin (2014) çalışmaları, ders çizelgeleme problemini çok amaçlı olarak ele alan çalışmalara örnek olarak verilebilir.

### 3. DERS-DERSLİK-ZAMAN ÇİZELGELEME PROBLEMİ İÇİN BİR ÇÖZÜM YAKLAŞIMI

Çalışma kapsamında ele alınan konu, ders ve sınav çizelgeleme şeklinde iki ana gruba ayrılabilen eğitimsel zaman çizelgeleme problemlerinden “ders çizelgeleme problemi” olarak belirlenmiştir. Konumuz, farklı eğitim kurumlarında karşılaşılan ders çizelgeleme problemleri içinden de ders-derslik-zaman dilimi atamasının yapıldığı “yükseköğretim kurumlarında ders çizelgeleme problemi” olarak belirlenmiş olup, kısaca, “ders çizelgeleme problemi” olarak adlandırılmıştır.

Belirlenen ders çizelgeleme problemi çok amaçlı olarak ele alınmış ve matematiksel olarak modellenerek çözülmüştür. Çalışmanın bu boyutunda ele alınan ders-derslik-zaman çizelgeleme probleminde, literatürde yer alan problemlerin birçoğuna ek olarak, derslik kapasiteleri ile yönetimin ve öğretim elemanlarının ders saatlerine yönelik tercihleri de ele alınmakta, dolayısıyla problemin boyutu daha da artmaktadır.

#### 3.1 Matematiksel Model

Önceki bölümde de belirtildiği üzere, ders-derslik-zaman dilimi atamasının yapıldığı ders çizelgeleme problemlerinin dikkat çeken genel özelliği ders saatlerinin “1 saatlik” olarak varsayılmasıdır. Yanı sıra, öğretici ataması ve/veya öğretici tercihlerinin alınması da çoğu durumda (Socha vd., 2003; Burke vd., 2003; Burke vd., 2007; Abuhamdah ve Ayob, 2009; Al-Betar vd., 2012; Acha ve Nieuwenhuis, 2012; Abuhamdah vd., 2014; Qaurooni and Akbarzadeh-T, 2013; Bolaji vd., 2014) göz ardı edilmiştir. Dolayısıyla problemin, gerçek uygulamalar ile örtüşmediği duruma sıkça karşılaşılmaktadır. Aslında buradaki temel sebep, pek çok çalışmanın önerdiği model veya sezgisel algoritmayı test problemleri ile karşılaştırma ihtiyacıdır. Belirtilen özelliklerdeki test problemlerinde (*small, medium, large*)

ders saatlerinin “1 saat” olarak alınması yaygın karşılaşılan bir durumdur (Socha vd., 2003; Burke vd., 2003; Burke vd., 2007; Abuhamdah ve Ayob, 2009; Al-Betar vd., 2012; Acha ve Nieuwenhuis, 2012; Abuhamdah vd., 2014; Qaurooni and Akbarzadeh-T, 2013; Bolaji vd., 2014). Literatür araştırmasında da belirtildiği üzere, ders çizelgeleme problemi üniversiteden üniversiteye farklılık gösterebilir; fakat genel yapısındaki karşılanması zorunlu kısıtlara ek olarak kullanıcı tercihleri de dikkate alabilen esnek kısıtlara yer verilmesini örgütsel performansı arttırabileceği düşünülmektedir.

Bu aşamada, tüm eğitim sistemleri için geçerli olacak (üniversitelerin mühendislik fakülteleri bölümleri için bile) genel bir model geliştirmenin zorluğunu hatırlamak gerekmektedir. Bu noktadan hareketle, bu bölümde ders çizelgeleme problemi için geliştirilen model, Anadolu Üniversitesi Mühendislik Fakültesi-Endüstri Mühendisliği Bölümü ders çizelgesi hazırlama esasları temel alınarak oluşturulmuştur. Daskalaki vd. (2004) ile Köçken vd.nde (2014) olduğu gibi bu çalışmada da dersler, oturma bölünerek ele alınmış ve tek oturumlu dersler ve çift oturumlu dersler olmak üzere sınıflandırılmıştır. Bu çalışmada, zorunlu atamaya ek olarak birçok kurum için ortak sayılabilecek kısıtlar tanımlanmıştır:

- Hem öğrencilerin hem de öğretimci dinlenmeleri açısından 12:00-13:00 zaman dilimleri öğle tatili olarak belirlenmeli ve bu saatlerde ders yapılmamalıdır.
- 2 ve 3 saatlik dersler tek oturumda yapılmalı; 4 saat ve üzeri dersler iki oturuma bölünmelidir.

Zorunlu kısıtların yanı sıra, sağlanması istenen ve yine birçok kurum için orta sayılabilecek esnek kısıtlar olabildiğince tanımlanmıştır:

- Düzenli bir öğrencinin, bir günde en az 4 saat dersi olmalıdır.
- İki oturumlu derslerin oturumları arasında en az bir gün boşluk bırakılmalıdır.

Modelde yer alan indis ve parametreler, karar değişkenleri ve sistem kısıtları aşağıdaki şekilde verilmiştir.

#### Kullanılan Parametreler

- Derslerin yapıldığı *günler* (Pazartesi, Salı, Çarşamba, Perşembe, Cuma)

- Derslerin yapıldığı *saatler* (12:00-13:00 zaman dilimleri arası hariç, her gün 09:00-18:00 arasındaki zaman dilimleri)
- *Öğrenci grupları* (1.sınıf, 2. Sınıf, 3. Sınıf ve 4. Sınıf alttan veya üstten dersi olmayan düzenli öğrenciler)
- *Dersler* (4 yıllık müfredatta yer alan tüm dersler)
- *Öğrenci gruplarının aldığı dersler* (2014-2015 güz dönemi için toplam 25 ders)
- *Öğretim üyesi* (14 öğretim üyesi)
- *Öğretim üyesinin verdiği dersler*
- *Derslikler ve kapasiteleri*
- *Derslerin oturum sayısı*
- *Öğretim üyelerinin gün ve zaman dilimi memnuniyet katsayıları*
- *Yönetimin zaman dilimlerine yönelik kararları* (örneğin 12:00-13:00 zaman dilimine ders atanmamalı)
- *Amaç fonksiyonlarının ağırlıkları*

olarak belirlenmiştir.

#### İndis Kümeleri

- Ders indisleri kümesi:  $J = \{j \mid j=1, \dots, 25\}$
- Öğrenci grubu indisleri kümesi:  $I = \{i \mid i=1, 2, 3, 4\}$
- Derslik indisleri kümesi:  $K = \{k \mid k=1, \dots, 10\}$
- Öğretim üyesi indisleri kümesi:  $L = \{l \mid l=1, \dots, 10\}$
- Zaman dilimleri kümesi:  $T = \{t \mid t=1, \dots, 8\}$
- Gün indisleri kümesi:  $D = \{d \mid d=1, \dots, 5\}$
- Ders oturumları indisleri kümesi:  $P = \{p \mid p=1, 2\}$

#### Parametre ve Küme Gösterimleri

$J_l = \{j \in J \mid l. \text{ öğretim üyesinin verdiği } j \text{ dersleri}\}$

$J_{tek} = \{j \in J \mid \text{ tek oturumlu dersler kümesi}\}$

$J_{çift} = \{j \in J \mid \text{ çift oturumlu dersler kümesi}\}$

$J_i = \{j \in J \mid i. \text{ öğrenci grubunun programında yer alan } j \text{ dersleri}\}$

$J_k = \{j \in J \mid \text{ kapasiteye bağlı olarak } k. \text{ derslikte verilebilecek } j \text{ dersleri}\}$

$K_j = \{k \in K \mid j \text{ dersi için uygun olan } k \text{ derslikleri}\}$

$J_2 = \{j \in J \mid \text{ bir oturumu 2 saat olan dersler kümesi}\}$

$J_3 = \{j \in J \mid \text{ bir oturumu 3 saat olan dersler kümesi}\}$

$h_{jp}$  :  $j$ . dersin  $p$ . oturumunun süresi  
 $b_j$  :  $j$ . dersin haftalık toplam ders saati sayısı  
 $w_t$  :  $t$ . zaman dilimi için öğretim üyeleri tarafından belirlenmiş memnuniyet katsayısı

$w_{jd}$  :  $j$ . dersin ve  $d$ . gün yapılmasına ilişkin öğretim üyeleri tarafından belirlenmiş memnuniyet katsayısı  
 $p_1, p_2, p_3$  ve  $p_4$ : dört farklı amaç için belirlenmiş ağırlıklar

### Karar Değişkenleri

$$x_{jkd} = \begin{cases} 1, & j. \text{ ders, } k. \text{ derslikte, } d. \text{ gün, } t. \text{ zaman diliminde yapılıyor ise} \\ 0, & d. d. \end{cases}$$

$$y_{id}^1 = \begin{cases} 1, & i. \text{ öğrenci grubunun } d. \text{ günde dersi varsa} \\ 0, & d. d. \end{cases}$$

$$y_{jpkd}^2 = \begin{cases} 1, & j. \text{ dersin } p. \text{ oturumu } k. \text{ derslikte } d. \text{ gün yapılıyor ise} \\ 0, & d. d. \end{cases}$$

$$y_{jd}^3 = \begin{cases} 1, & j. \text{ dersin ardışık günlerde oturumu varsa} \\ 0, & d. d. \end{cases}$$

### Model

#### Kısıtlar

$$\sum_{j \in J_k} x_{jkd} \leq 1 \quad \forall k, d, t \quad (1)$$

$$\sum_{j \in J_l} \sum_{k \in K_j} x_{jkd} \leq 1 \quad \forall l, d, t \quad (2)$$

$$\sum_{j \in J_i} \sum_k x_{jkd} \leq 1 \quad \forall i, d, t \quad (3)$$

$$\sum_d \sum_t \sum_{k \in K_j} x_{jkd} = b_j \quad \forall j \quad (4)$$

$$\sum_{j \in J_i} \sum_{k \in K_j} \sum_t x_{jkd} \leq 8 \quad \forall i, \forall d \quad (5)$$

$$\sum_{j \in J_i} \sum_{k \in K_j} \sum_t x_{jkd} \geq 4 * y_{id}^1 \quad \forall i, \forall d \quad (6)$$

$$x_{j,k,d,4} + x_{j,k,d,5} \leq 1 \quad \forall d, \forall j \in J_2 \quad \forall k \in K_j \quad (7)$$

$$x_{j,k,d,4} + x_{j,k,d,5} + x_{j,k,d,6} \leq 1 \quad \forall d, \forall j \in J_3 \quad \forall k \in K_j \quad (8)$$

$$\sum_t x_{j,k,d,t} = y_{j,1,k,d}^2 * h_{j1} \quad \forall d, \forall j \in J_{tek}, \forall k \in K_j \quad (9)$$

$$\sum_d \sum_{k \in K_j} y_{j,1,k,d}^2 = 1 \quad \forall j \in J_{tek} \quad (10)$$

$$\sum_t x_{j,k,d,t} = \sum_p y_{j,p,k,d}^2 * h_{j,p} \quad \forall d, \forall j \in J_{çift}, \forall k \in K_j \quad (11)$$

$$\sum_d \sum_p \sum_{k \in K_j} y_{j,p,k,d}^2 = 2 \quad \forall j \in J_{çift} \quad (12)$$

$$\sum_{k \in K_j} \sum_p y_{j,p,k,d}^2 \leq 1 \quad \forall d, \forall j \in J_{çift} \quad (13)$$

$$-x_{j,k,d,t} + x_{j,k,d,t+1} - x_{j,k,d,t+2} \leq 0 \quad \forall d, \forall t \in T \setminus \{7,8\}, \forall j \in J_2, \forall k \in K_j \quad (14)$$

$$-x_{j,k,d,t} + x_{j,k,d,t+1} - x_{j,k,d,t+3} \leq 0 \quad \forall d, \forall t \in T \setminus \{6,7,8\}, \forall j \in J_3, \forall k \in K_j \quad (15)$$

$$\sum_p \sum_{k \in K_j} (y_{j,p,k,d}^2 + y_{j,p,k,d+1}^2) \leq 1 + y_{jd}^3 \quad \forall d, \forall j \in J_{çift} \quad (16)$$

$$x_{jkd}, y_{id}^1, y_{jpkd}^2, y_{jd}^3 \in \{0,1\}$$

### Amaç Fonksiyonu

$$\text{Enb } Z = \sum_j \sum_k \sum_d \sum_t (p_1 w_{j,d} + p_2 w_t) x_{j,k,d,t} - p_3 \sum_d \sum_{j \in J_{çift}} y_{j,d}^3 + p_4 \sum_i \sum_d y_{i,d}^1 \quad (17)$$

$d$ . gün,  $t$ . zaman diliminde  $k$ . derslikte en fazla bir ders yapılması (1) nolu kısıt kümesi ile sağlanmaktadır.  $l$ . Öğretim üyesinin  $d$ . gün  $t$ . zaman diliminde birden fazla dersliğe atanmaması ise (2) nolu kısıt ile sağlanmaktadır.

$i$ . öğrenci grubuna,  $d$ . gün  $t$ . zaman diliminde birden fazla ders atanmaması (3) nolu kısıt kümesi ile garantilenmektedir.  $j$ . dersin, tüm saatlerinin haftalık ders programında yer alması gerekliliği (4) nolu kısıt kümesi ile sağlanmaktadır.

$i$ . öğrenci grubu,  $d$ . günde en fazla 8 saat ders alabilir (5). Bu zorunlu kısıta ek olarak, (6) nolu esnek kısıt kümesi ile de  $i$ . öğrenci grubunun haftalık ders programındaki  $d$ . güne mümkün olduğunca en az iki ders (veya buna karşılık 4 ders saati) atanması sağlanmaktadır. Böylece, öğrenci gruplarının haftalık programda boş günlerinin bırakılması olabildiğince engellenmeye çalışılmaktadır.

Sistemde 12:00-13:00 zaman dilimleri öğle tatili olarak kabul edilmektedir. Dolayısıyla, bir oturumu iki saat olan  $j$ . dersin ilk saatinin 12:00'de başlaması (7) nolu kısıt kümesi ile önlenirken, üç saatlik bir oturum için bu durum (8) kısıtı ile engellenmektedir.

(9) ve (10) nolu kısıt grupları ile tek oturumluk (2 veya 3 saatlik) derslerin bir günde tanımlanan sürede ( $h_j$ ) çizelgelenmesi sağlanmaktadır. Birden fazla oturma sahip dersler için, derse ait iki oturumu aynı gün içerisine çizelgelenmemesi gerekmektedir. Örneğin 5 saatlik bir dersin 3'er ve 2'ser saatlik iki oturumu ya da 6 saatlik bir dersin 3'er saatlik iki oturumu aynı gün içerisinde çizelgelenmemelidir. İki oturumlu  $j$ . dersin  $p$ . oturumunun saatlerinin tanımlanan sürede atanması ve tüm oturumlarının çizelgelenmesi (11) ve (12) nolu kısıt grupları ile sağlanır. İki oturumunun aynı güne çizelgelenmemesi ise (13) nolu kısıt kümesi ile garantilenmiştir.

Tek oturma sahip dersler için oturma ait ders saati 2 veya 3 saat olabilir. Bir dersin bir oturumu kaç saatlik ise bu saatler art arda çizelgelenmelidir. Örneğin iki saatlik bir oturumun ilk saati saat 9:00'da başlıyorsa, ikinci saati de 10:00'da başlamalıdır.  $j$ . dersin oturumunun tüm

saatlerinin art arda tek bir günde atanması sağlanmalıdır. Bu durum (14) nolu kısıt kümesi ile sağlanmaktadır. Üç ders saati uzunluğundaki bir oturumun tüm saatlerinin bir gün içerisinde art arda atanması da (15) nolu kısıt kümesi ile sağlanmaktadır.

Yönetim tarafından alınan karar gereği, iki oturumlu bir dersin oturumları arasında en az bir gün boşluk bırakılmalıdır. Bu koşul (16) nolu kısıt kümesi ile sağlanmaktadır. Bu kısıt, olabildiğince sağlanması istenen esnek bir kısıttır.

Bu problemde birden fazla amaç eniyilenmek istenmektedir. Bu amaçlar sırasıyla, *öğretim elemanlarının gün tercihlerinin sağlanması, öğretim elemanlarının zaman dilimi tercihlerinin sağlanması, birden fazla oturuma sahip derslerin oturumları arasındaki gün sayısının en büyüklmesi ve öğrencilerin haftalık programda derslerinin olduğu gün sayısının en büyüklmesi*dir (17).

$$\text{Enb } Z = \sum_j \sum_k \sum_d \sum_t (p_1 w_{j,d} + p_2 w_t) x_{j,k,d,t} - p_3 \sum_d \sum_{j \in J_{çift}} y_{j,d}^3 + p_4 \sum_i \sum_d y_{i,d}^1 \quad (17)$$

$j$ . dersin  $d$ . güne atanması memnuniyet katsayısı  $w_{jd}$  ve herhangi bir dersin  $t$ . zaman diliminde olmasına yönelik memnuniyet katsayısı  $w_p$ , bölüm öğretim üyeleri tarafından 3 en çok, 1 de düşük memnuniyeti gösterecek şekilde 1-3 skalası üzerinden belirlenmiştir. Amaç fonksiyonunda,  $\sum_j \sum_k \sum_d \sum_t (p_1 w_{j,d} + p_2 w_t) x_{j,k,d,t}$  ile ders günlerine ve saatlerine ilişkin toplam memnuniyetin en büyüklmesi istenmektedir.

$j$ . dersin iki oturumu varsa, bu oturumlar farklı  $d$ . günlerde olmalı. Bu sebeple (16) nolu kısıtta,  $j$  dersinin iki oturumunun  $d$  ve  $d+1$ . günlerde çizelgelenme durumu belirleniyor. Amaç fonksiyonunda da peş peşe iki gün oturumu olan toplam ders sayısı en küçüklenerek ( $p_3 \sum_d \sum_{j \in J_{çift}} y_{j,d}^3$ ), mümkün olduğunca, iki oturum arası gün sayısı en büyüklmek istenmektedir.

$i$ . öğrenci grubunun  $d$ . günde dersi olması durumunda,  $y_{i,d}^1$  karar değişkeni 1 değerini alacaktır. Amaç

fonksiyonunda tüm öğrenci gruplarının derslerinin atandığı toplam gün sayısı ( $p_4 \sum_i \sum_a y_{i,a}$ ) en büyüklenerek, öğrencilerin haftalık programda derslerinin olduğu gün sayısının en büyüklenmek istenmektedir.

Literatürde yer alan çalışmalar incelendiğinde, çok amaçlı olarak ele alınan problemlerin, genellikle birden fazla amacın tek bir skaler değere dönüştürülerek çözüldüğü görülmüştür. Çalışmada belirlenmiş olan bu dört amaç, eşit derecede öneme sahip değildir.  $p_1, p_2, p_3$  ve  $p_4$  katsayıları ile bu amaçlar ağırlıklandırılmış ve ağırlıklı toplam skalerleştirme yöntemi ile elde edilen skaler fonksiyon en büyüklenmiştir. Bir karar probleminde sonucun parametrelere bağımlı olması, parametrelerin sağlıklı tahmin edilmesini gerektirir. Çalışmada, amaç fonksiyonlarının ağırlıklarının daha gerçekçi ve sistematik bir şekilde bulunması için çok ölçütlü bir karar verme tekniği olan Analitik Serim Süreci (ASS) modeli geliştirilmiştir.

Yönetmel açıdan bakıldığında, sorunsuz yapılan ders çizelgeleri büyük önem taşımaktadır. Ders çizelgeleme sürecinin performansını etkileyen diğer katılımcılar da öğrenciler ve öğretim üyeleri olmaktadır. Öğretim üyelerinin de derslerin yapıldığı zaman dilimleri ve derslikler konusunda çeşitli istekleri olabilir. ASS, özellikle sonlu sayıda seçeneğin bulunduğu problemlerde en iyi seçeneğin belirlenmesi için kullanılmaktadır. Seçenekler için elde edilen değerler (ağırlıklar), bazen bir bütçenin elde edilen ağırlıklar oranında yatırımlara seçenek dağıtılması gibi kararlarda da kullanılabilir. Çalışmamızda, her bir seçenek için elde edilen ağırlık, çizelgeleme probleminin amaç fonksiyonun skalerleştirilmesinde kullanılmıştır.

Ders çizelgeleme probleminin amaçlarını önceliklendirmek için tek serimli; fakat ayrıntılı bir ASS modeli oluşturulmuştur. Problemin amaçları olan öğretim elemanlarının gün tercihlerinin sağlanması, öğretim elemanlarının zaman dilimi tercihlerinin sağlanması, birden fazla oturuma sahip derslerin oturumları arasındaki gün sayısının en büyüklenmesi ve öğrencilerin haftalık programda derslerinin olduğu gün sayısının en büyüklenmesi seçenekler kümesinin elemanları olarak belirlenmiştir. Bu amaçları etkileyen ölçütler özelliklerine göre gruplandırılarak kümeler oluşturulmuştur. Bu kümeler: ETKİLENENLER, PEDAGOJİK

ÖZELLİKLER, OTURUM, UYGULANABİLİRLİK ve SEÇENEKLER olarak belirlenmiştir.

Belirlenen kümelerin elemanlarını da aşağıdaki şekilde verebiliriz:

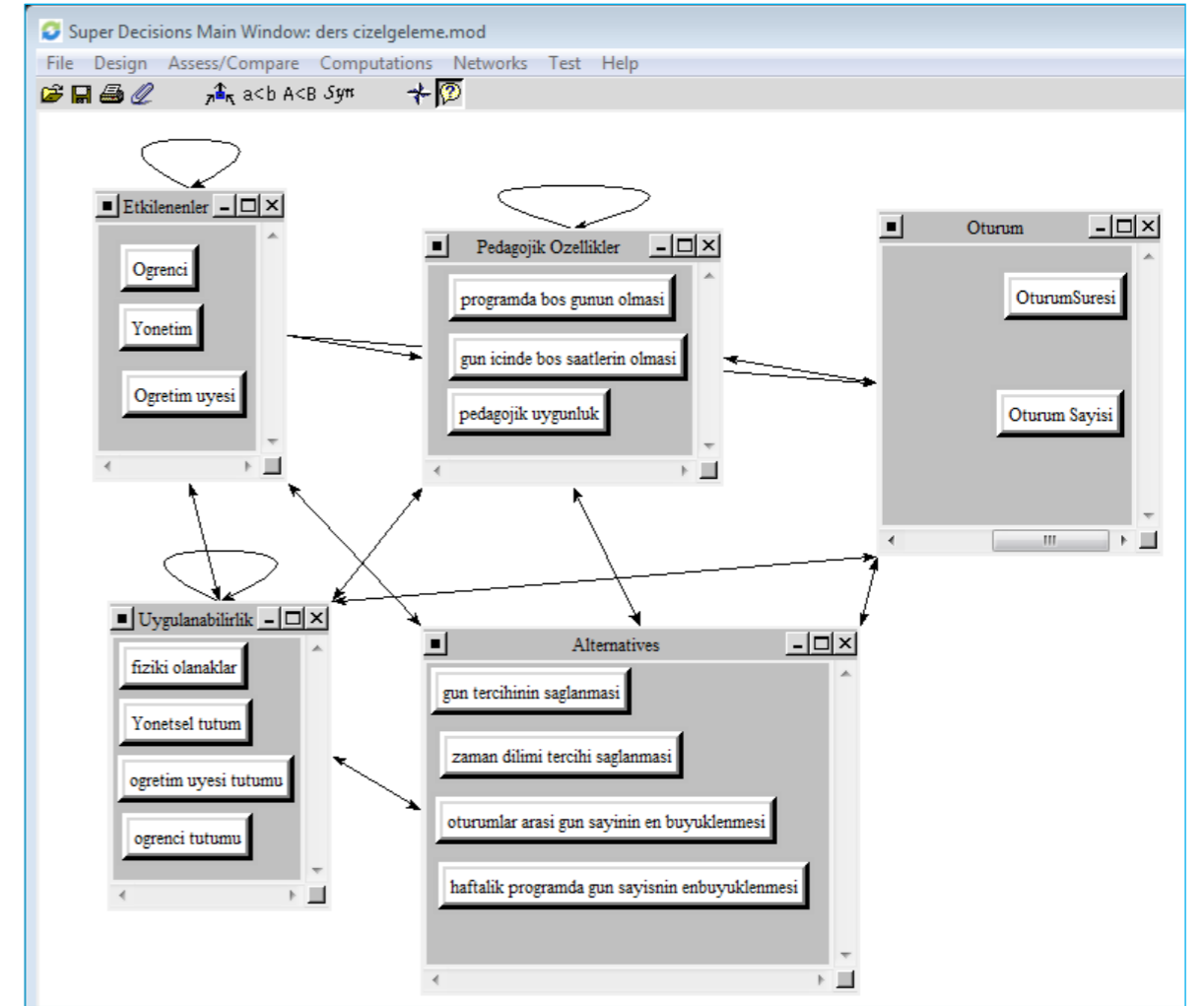
| KÜME                   | ELEMANLAR   |
|------------------------|---|
| • Etkilenenler         | Öğrenci, öğretim üyesi, yönetim   |
| • Pedagojik özellikler | Programda boş günün olması, gün içinde boş saatlerin olması, pedagojik uygunluk |
| • Oturum               | Oturum süresi, oturum sayısı  |
| • Uygulanabilirlik     | Fiziki olanaklar, yönetsel tutum, öğretim üyesi tutumu, öğrenci tutumu          |

Küme ve elemanlarının belirlenmesinin ardından, içsel ve dışsal bağlantılar belirlenmiştir (Şekil 1).

Ders çizelgeleme problemi için geliştirilen matematiksel modelin dört farklı amacının ağırlığının belirlenmesi için geliştirilen ASS modelinde yer alan ölçütler, bu dört amacı etkileyen ve yine bu dört amacın etkilediği ölçütlerdir. ASS modelinde yer alan tüm ölçütler, çizelgeleme sürecinde alınan kararları etkileyen ölçütlerdir. Örneğin uygulamaya alınacak bir çizelge uygulanabilir olmalıdır. Bu uygulanabilirlik, süreçte yer alan tüm kişileri (yönetici, öğrenci, öğretim üyesi) ve derslik gibi fiziksel koşulları farklı oranlarda etkiler.

Küme ve elemanlar arasındaki bağlantıların belirlenmesinin ardından, ölçütlerin birbirleri üzerindeki etkileri göz önünde bulundurularak, görece önemlerin belirlenmesi için ikili karşılaştırmalar yapılmıştır. Örneğin, oturumlar arası gün sayısının en büyüklenmesi amacı üzerinde hangi faktör ne kadar daha fazla etkiye sahiptir? Pedagojik uygunluk mu? Öğretim üyesi tutumu mu? şeklinde sorular sorulmuştur.

Ders çizelgeleme probleminin farklı katılımcıları olduğundan ikili karşılaştırmalar öğretim üyeleri, bölüm yöneticileri ve öğrencilerden oluşan bir grup tarafından yapılmıştır. Uygulanabilirliğin öğretim üyesi açısından değerlendirildiği için örnek bir ikili karşılaştırma matrisi Şekil 2'de verilmiştir.



Şekil 1. Ders Çizelgeleme Problemi İçin Geliştirilen ASS Modeli

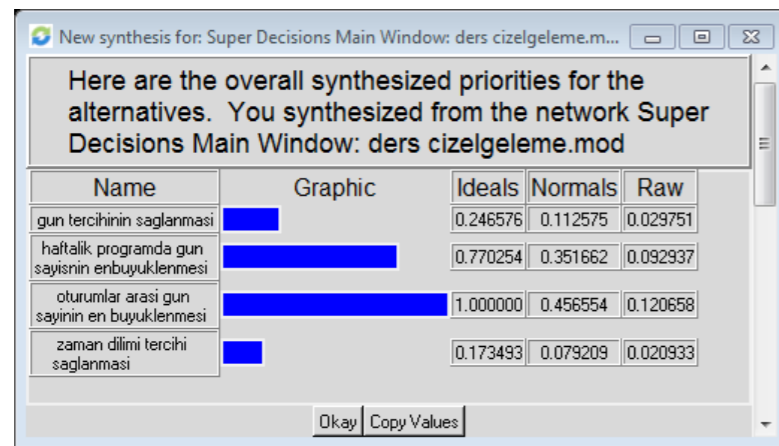
| Comparisons wrt "Oğretim üyesi" node in "Uygulanabilirlik" cluster |       |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |       |          |                |
|--|-------|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|-------|----------|----------------|
| File Computations Misc. Help                                       |       |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |       |          |                |
| Graphic Verbal Matrix Questionnaire                                |       |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |       |          |                |
| Comparisons wrt "Oğretim üyesi" node in "Uygulanabilirlik" cluster |       |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |       |          |                |
| fiziki olanaklar is moderately more important than öğrenci tutumu  |       |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |       |          |                |
| 1. fiziki olanaklar  | >=9.5 | 9 | 8 | 7 | 6 | 5 | 4 | 3 | 2 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | >=9.5 | No comp. | öğrenci tutumu |
| 2. fiziki olanaklar  | >=9.5 | 9 | 8 | 7 | 6 | 5 | 4 | 3 | 2 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | >=9.5 | No comp. | Yönetmel tutum |
| 3. öğrenci tutumu  | >=9.5 | 9 | 8 | 7 | 6 | 5 | 4 | 3 | 2 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | >=9.5 | No comp. | Yönetmel tutum |

Şekil 2. ASS İçin Örnek İkili Karşılaştırma Matrisi



Farklı yargıları bir araya getirirken geometrik ortalama alınmıştır. Karşılaştırmalar sonucu elde edilen limit matrise göre sürecin amaç fonksiyonları Super Decisions yazılımından elde edilmiştir (Şekil 3). Bu sonuçlara göre,  $p_1$ ,  $p_2$ ,  $p_3$  ve  $p_4$  parametreleri sırasıyla, 0.1125, 0.079, 0.456 ve 0.351 değerlerini almıştır.

Şekil 3'te verilen değerlere göre (normals sütunu), dört amaç fonksiyonumuzdan en büyük öneme sahip olan amaç, 0.456 ağırlık değeri ile "oturma arası gün sayısının en büyüklmesi" olarak belirlenmiştir.



Şekil 3. ASS Modeli Sonucu Elde Edilen Ağırlıklar

### 3.2 Elde Edilen Sonuçlar

Geliştirilen matematiksel model, Anadolu Üniversitesi-Endüstri Mühendisliği 2014-2015 güz dönemi dersleri örnek alınarak Intel Core 2 Duo 2.26 GHz işlemcili ve 8 GB belleğe sahip bilgisayarda, GAMS yazılımında bulunan CPLEX çözücüsü ile çözdürülmüş ve yaklaşık 13 dakikada optimal çözüm elde edilmiştir. Elde edilen ders çizelgesi her bir sınıf için sırasıyla, Tablo 1, Tablo 2, Tablo 3 ve Tablo 4'te verilmiştir. İlgili hücrelerdeki veriler hangi dersin (J1, J2, ...) hangi derslikte (K1, K2,...) ve haftanın hangi günü hangi zaman diliminde yapıldığını göstermektedir. Elde edilen çizelgeyi yorumlayacak olursak,

- Öğretim elemanlarının gün ve zaman dilimi tercihlerini dikkate alan bir çözüm elde edilmiştir. Örneğin J10 kodlu dersin 2. zaman diliminde olmasını istenmiş, atama sonucunda da J10 kodlu ders 2. zaman dilimine, yani 10:00-11:00 zaman dilimine atanmıştır.

- Sistemde 2 ve 3 saatlik dersler tek oturum, 4 ve üzeri ders saatine sahip dersler ise iki oturum halinde yapılmaktadır. Dolayısıyla, geliştirilen model ile 5, 4, 3 ve 2 saatlik dersler sırasıyla, 3+2, 2+2, 3 ve 2 saat olmak üzere çizelgelenmiştir. Ayrıca, oturumlar arasında da en az bir gün boşluk bırakılmıştır.
- Örneğin 5 saatlik Üretim Yöntemleri ve Malzeme Seçimi dersi (J4 kodlu ders) 3+2 saatlik iki oturum halinde, Çarşamba 09:00-11:00 ve Cuma günleri 09:00-10:00 zaman dilimlerine atanmıştır.

- Sistemde öğrenci ve öğretmenlerin en az bir saat öğle tatiline sahip olmaları istenmektedir. Bu durumu sağlamak için yazılan kısıt ile dersler, başlangıç saatleri öğlen arasına, yani saat 12:00'ye denk gelmeyecek şekilde çizelgelenmiştir.
- Birden fazla oturumu olan derslerin farklı oturumlarının aynı günde olmaması zorunlu kısıt olarak göz önünde bulundurulmuş, aynı zamanda olabildiğince bu oturumların ayrı günlerde yapılması amaç fonksiyonu ile sağlanmıştır.
- Elde edilen çizelgelerden de görüleceği üzere, günlerin son zaman dilimlerine ders ataması yapılmamıştır.
- Mevcut sistemde özellikle fizik ve kimya gibi birinci sınıf dersleri dekanlık tarafından çizelgelenmektedir. Geliştirilen modelde bu derslerin zaman dilimleri önceden belirli olmayıp model tarafından çizelgelenmesi yapılmaktadır. Ancak, istenmesi durumunda, modele ön atama kısıtları eklenerek bu derslerin de yine dekanlık tarafından çizelgelenmesi sağlanabilir.

Tablo 1. 1. Sınıflar İçin Elde Edilen Ders Çizelgesi (Ders-Derslik-Zaman Dilimi)

| 1. Sınıflar    |             |             |             |             |             |             |             |             |             |             |
|----------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| Günler/Saatler | 08:00-09:00 | 09:00-10:00 | 10:00-11:00 | 11:00-12:00 | 12:00-13:00 | 13:00-14:00 | 14:00-15:00 | 15:00-16:00 | 16:00-17:00 | 17:00-18:00 |
| Pazartesi      |             |             |             |             |             |             |             |             |             |             |
| Salı           |             | J19/K9      | J19/K9      | J19/K9      |             |             | J15/K3      | J15/K3      |             |             |
| Çarşamba       |             | J17/K1      | J17/K1      | J17/K1      |             |             | J18/K5      | J18/K5      |             |             |
| Perşembe       |             |             | J14/K4      | J14/K4      |             |             | J16/K2      | J16/K2      |             |             |
| Cuma           |             |             | J20/K9      | J20/K9      |             |             |             |             |             |             |

Tablo 2. 2. Sınıflar İçin Elde Edilen Ders Çizelgesi (Ders-Derslik-Zaman Dilimi)

| 2. Sınıflar    |             |             |             |             |             |             |             |             |             |             |
|----------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| Günler/Saatler | 08:00-09:00 | 09:00-10:00 | 10:00-11:00 | 11:00-12:00 | 12:00-13:00 | 13:00-14:00 | 14:00-15:00 | 15:00-16:00 | 16:00-17:00 | 17:00-18:00 |
| Pazartesi      |             |             | J3/K8       | J3/K8       |             |             | J2/K2       | J2/K2       |             |             |
| Salı           |             |             |             |             |             |             |             |             |             |             |
| Çarşamba       |             | J4/K2       | J4/K2       | J4/K2       |             |             | J1/K1       | J1/K1       |             |             |
| Perşembe       |             |             | J3/K2       | J3/K2       |             |             | J5/K6       | J5/K6       |             |             |
| Cuma           |             | J4/K6       | J4/K6       |             |             |             | J2/K7       | J2/K7       |             |             |

Tablo 3. 3. Sınıflar İçin Elde Edilen Ders Çizelgesi (Ders-Derslik-Zaman Dilimi)

| 3. Sınıflar    |             |             |             |             |             |             |             |             |             |             |
|----------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| Günler/Saatler | 08:00-09:00 | 09:00-10:00 | 10:00-11:00 | 11:00-12:00 | 12:00-13:00 | 13:00-14:00 | 14:00-15:00 | 15:00-16:00 | 16:00-17:00 | 17:00-18:00 |
| Pazartesi      |             | J6/K5       | J6/K5       | J6/K5       |             |             | J7/K9       | J7/K9       |             |             |
| Salı           |             |             |             |             |             |             |             |             |             |             |
| Çarşamba       |             | J9/K10      | J9/K10      | J9/K10      |             |             | J8/K8       | J8/K8       |             |             |
| Perşembe       |             | J10/K1      | J10/K1      | J10/K1      |             | J7/K10      | J7/K10      |             |             |             |
| Cuma           |             | J11/K2      | J11/K2      | J11/K2      |             | J12/K9      | J12/K9      | J12/K9      |             |             |

Tablo 4. 4. Sınıflar İçin Elde Edilen Ders Çizelgesi (Ders-Derslik-Zaman Dilimi)

| 4. Sınıflar    |             |             |             |             |             |             |             |             |             |             |
|----------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| Günler/Saatler | 08:00-09:00 | 09:00-10:00 | 10:00-11:00 | 11:00-12:00 | 12:00-13:00 | 13:00-14:00 | 14:00-15:00 | 15:00-16:00 | 16:00-17:00 | 17:00-18:00 |
| Pazartesi      |             | J13/K2      | J13/K2      | J13/K2      |             |             |             |             |             |             |
| Salı           |             | J21/K1      | J21/K1      | J21/K1      |             |             |             |             |             |             |
| Çarşamba       |             |             |             |             |             |             |             |             |             |             |
| Perşembe       |             | J22/K9      | J22/K9      | J22/K9      |             |             | K23/K9      | K23/K9      |             |             |
| Cuma           |             | J24/K7      | J24/K7      | J24/K7      |             | J25/K1      | J25/K1      | J25/K1      |             |             |

Sonuç olarak, tablolardan da görüldüğü gibi, toplam 25 ders, 10 dersliğe hiçbir çakışma olmadan atanmıştır. Ayrıca, öğretim üyelerinin tercihleri göz önüne alınarak ders ataması yapılmıştır. Anadolu Üniversitesi-Endüstri Mühendisliği Bölümü 2014-2015 güz dönemi mevcut ders çizelgeleri Tablo 5, 6, 7 ve 8'de verilmiştir. Mevcut

durum ve önerilen sistem karşılaştırıldığında, özellikle önerilen sistemde günün son zaman dilimlerinde ve öğle saatlerinde ders atanmamış olması, önerilen sistemin öğrenciler ve kaynak kullanımını açısından genel performansı artırıcı yönde iyi sonuç verdiğini göstermektedir.

**Tablo 5.** 1. Sınıflar İçin Mevcut Ders Çizelgesi (Ders-Derslik-Zaman Dilimi)

| 1. Sınıflar    |             |             |             |             |             |             |             |             |             |             |
|----------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| Günler/Saatler | 08:00-09:00 | 09:00-10:00 | 10:00-11:00 | 11:00-12:00 | 12:00-13:00 | 13:00-14:00 | 14:00-15:00 | 15:00-16:00 | 16:00-17:00 | 17:00-18:00 |
| Pazartesi      |             | J18/K4      | J18/K4      |             |             | J20/K7      | J20/K7      |             |             |             |
| Salı           |             | J19/K8      | J19/K8      | J19/K8      |             |             |             |             |             |             |
| Çarşamba       |             | J15/K1      | J15/K1      | J14/K4      | J14/K4      |             |             | J16/K7      | J16/K7      |             |
| Perşembe       |             | J17/K6      | J17/K6      | J17/K6      |             |             |             |             |             |             |
| Cuma           |             |             |             |             |             |             |             |             |             |             |

**Tablo 6.** 2. Sınıflar İçin Mevcut Ders Çizelgesi (Ders-Derslik-Zaman Dilimi)

| 2. Sınıflar    |             |             |             |             |             |             |             |             |             |             |
|----------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| Günler/Saatler | 08:00-09:00 | 09:00-10:00 | 10:00-11:00 | 11:00-12:00 | 12:00-13:00 | 13:00-14:00 | 14:00-15:00 | 15:00-16:00 | 16:00-17:00 | 17:00-18:00 |
| Pazartesi      |             | J2/K6       | J2/K6       | J3/K7       | J3/K7       |             |             |             |             |             |
| Salı           |             | J4/K6       | J4/K6       | J4/K6       |             |             |             |             |             |             |
| Çarşamba       |             | J2/K6       | J2/K6       |             |             | J1/K7       | J1/K7       |             |             |             |
| Perşembe       |             |             |             |             |             |             | J5/K10      | J5/K10      |             |             |
| Cuma           |             | J3/K7       | J3/K7       |             |             | J4/K6       | J4/K6       | J4/K6       |             |             |

**Tablo 7.** 3. Sınıflar İçin Mevcut Ders Çizelgesi (Ders-Derslik-Zaman Dilimi)

| 3. Sınıflar    |             |             |             |             |             |             |             |             |             |             |
|----------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| Günler/Saatler | 08:00-09:00 | 09:00-10:00 | 10:00-11:00 | 11:00-12:00 | 12:00-13:00 | 13:00-14:00 | 14:00-15:00 | 15:00-16:00 | 16:00-17:00 | 17:00-18:00 |
| Pazartesi      |             |             | J8/K5       | J8/K5       |             | J7/K1       | J7/K1       |             |             |             |
| Salı           |             | J9/K7       | J9/K7       | J9/K7       |             | J12/K1      | J12/K1      | J12/K1      |             |             |
| Çarşamba       |             |             |             |             |             |             | J11/K2      | J11/K2      | J11/K2      |             |
| Perşembe       |             | J7/K1       | J7/K1       |             |             |             |             |             |             |             |
| Cuma           |             | J6/K4       | J6/K4       | J6/K4       |             |             | J10/K4      | J10/K4      | J10/K4      |             |

**Tablo 8.** 4. Sınıflar İçin Mevcut Ders Çizelgesi (Ders-Derslik-Zaman Dilimi)

| 4. Sınıflar    |             |             |             |             |             |             |             |             |             |             |
|----------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| Günler/Saatler | 08:00-09:00 | 09:00-10:00 | 10:00-11:00 | 11:00-12:00 | 12:00-13:00 | 13:00-14:00 | 14:00-15:00 | 15:00-16:00 | 16:00-17:00 | 17:00-18:00 |
| Pazartesi      |             | J25/K1      | J25/K1      | J25/K1      |             |             |             |             |             |             |
| Salı           |             |             |             |             |             |             |             |             |             |             |
| Çarşamba       |             | J21/K2      | J21/K2      | J21/K2      |             | J24/K1      | J24/K1      | J24/K1      |             |             |
| Perşembe       |             |             |             |             |             | J23/K8      | J23/K8      |             |             |             |
| Cuma           |             | J13/K2      | J13/K2      | J13/K2      |             | J22/K1      | J22/K1      | J22/K1      |             |             |

#### 4. SONUÇ

Ders çizelgeleme problemi literatürde oldukça yoğun bir ilgi görmektedir. Karar değişkenlerinin tamsayı (çoğunlukla da 0-1) olması gerekliliği yanı sıra, kısıtların ve problem boyutunun sistemden sisteme değişebilmesi, problemin çözümünü ve genel bir çözüm yöntemi geliştirilebilmesini oldukça zorlaştırmaktadır. Bu nedenlerle

problem, ya belirli bileşenleriyle çözülmüştür ya da ardışık yaklaşımlarla bir aşamanın sonuçlarını başka bir aşamada kullanan ve toplamda olabildiğince çok bileşeni çözmeye yönelik olan yöntemler denenmiştir. Bununla birlikte çoğu çalışma belirli bir sistemin problemini çözmeye dönüktür. Ayrıca, literatürde yoğun bir şekilde çalışılan, Paechter tarafından tanımlanmış ders-derslik-zaman dilimi atamasının yapıldığı ders çizelgeleme

probleminin dikkat çeken özelliği ders saatlerinin sadece "1 saat" olarak varsayılmasıdır. Yanı sıra, öğretici ataması ve/veya öğretici tercihlerinin alınması da göz ardı edilmiştir. Dolayısıyla problem, gerçek uygulamalar ile birebir örtüşmemektedir. Bir eğitim döneminde en az iki defa karşılaşılan eğitimsel zaman çizelgeleme problemlerinin çözümü yoğun iş gücü ve kaynak gerektirmektedir. Dolayısıyla, eğitim kurumları açısından önemli olduğu kadar da zor problemlerdir. Ayrıca, kısıt ve amaçları kurumdan kuruma farklılık gösterebilir. Bu durum, bu alandaki çalışmaların sürekliliğine neden olmaktadır.

Bu çalışma ile hedeflenen, ders çizelgeleme problemlerinin çözümü için olabildiğince genel bir çözüm yaklaşımı geliştirmektir. Öte yandan son yıllarda, sistem içinde yer alan kişilerin (öğretici, öğrenci ve yönetim) tercih ve eğilimlerinin çizelgeleme sürecinde yer alması, üzerinde önemle durulan bir konu olmaya başlamıştır. İsteklerin dikkate alınması, doğrudan performansa yansiyacaktır. Çalışmada elde edilen sonuçlara göre, bir bölümün bir dönem dersleri için, yönetim, öğretici ve öğrencilerin isteklerini bir çok ölçütlü karar veme tekniği ile göz önüne alarak geliştirilen matematiksel modelin çözdürülmesi ile optimum çözüm elde edilmiştir.

#### TEŞEKKÜR

Bu çalışma, 14053F070 numaralı Anadolu Üniversitesi BAP tarafından desteklenmiştir. Desteklerinden dolayı Anadolu Üniversitesi'ne teşekkür ederiz.

#### KAYNAKÇA

1. **Abuhamdah, A., Ayob, M.** 2009. "Experimental Result of Particle Collision Algorithm For Solving Course Timetabling Problems," International Journal of Computer Science and Network Security, vol. 9 (9), p. 134-142.
2. **Abuhamdah, A., Ayob, M., Kendall, G., Sabar, N.** 2014. "Population Based Local Search for University Course Timetabling Problems," Applied Intelligence, vol. 40, p. 44-53.
3. **Achá, R., Nieuwenhuis, R.** 2014. "Curriculum-Based Course Timetabling with SAT and Maxsat," Annals of Operations Research, vol. 218, p. 71-91.
4. **Akyol, E., Saraç, T.** 2012, "Plastik Parçalar Üreten bir Firmanın Montaj Hatlarının Çizelgenmesi," MMO Endüstri

Mühendisliği Dergisi, sayı 23 (2), s. 28-41.

5. **Al-Betar, M., Khader, A., Zaman, M.** 2012, "University Course Timetabling Using a Hybrid Harmony Search Metaheuristic Algorithm," IEEE Transactions On Systems, Man and Cybernetics—Part C: Applications and Reviews, vol. 42 (5), p. 664-680.
6. **Azimi, Z. N.** 2005. "Hybrid Heuristics for Examination Timetabling Problem," Applied Mathematics and Computation, vol. 163, p. 705-733.
7. **Azmat, C. S., Widmer, M.** 2004. "A Case Study of Single Shift Planning and Scheduling Under Annualized Hours: A Simple Three-Step Approach," European Journal of Operational Research, vol. 153, p. 148-175.
8. **Badri, M. A.** 1996. "A Two-Stage Multiobjective Scheduling Model For Faculty-Course-Time Assignments," European Journal of Operational Research, vol. 94, p. 16-28.
9. **Beligiannis, G. N., Moschopoulos, C. N., Kaperonisa, G. P., Likothanassisa, S. D.** 2008. "Applying Evolutionary Computation To The School Timetabling Problem: The Greek Case," Computers and Operations Research, vol. 35 (4), p. 1265-1280.
10. **Bolaji, A. L., Kahader, A. T., Al-Betar, M. A.** 2014. "University Course Timetabling Using Hybridized Artificial Bee Colony with Hill Climbing Optimizer," Journal of Computational Science, vol. 5, p. 809-818.
11. **Boronico, J.** 2000. "Quantitative Modeling and Technology Driven Departmental Course Scheduling," Omega, vol. 28, p. 327-346.
12. **Burke, E. K., Newall, J. P., Weare, R. F.** 1996. "A Memetic Algorithm For University Exam Timetabling," Lecture Notes in Computer Science, 1153. The Practice and Theory of Automated Timetabling: Selected Papers (ICPTAT 95), Burke, E. K., Ross, P. (Ed.), Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, New York, p. 241-250.
13. **Burke, E. K., Kendall, G., Soubeiga, E.** 2003. "A Tabu Search Hyperheuristic for Timetabling and Rostering," Journal of Heuristics, vol. 9 (6), p. 451-470.
14. **Burke, E. K., McCollum, B., Meisels, A., Petrovic, S., Qu, R.** 2007. "A Graph-Based Hyper-Heuristic for Educational Timetabling Problems," European Journal of Operational Research, vol. 176, p. 177-192.
15. **Carrasco, M. P., Pato, M. V.** 2004. "A Comparison of Discrete and Continuous Neural Network Approaches to Solve The Class/Teacher Timetabling Problem," European Journal of Operational Research, vol. 153, p. 65-79.
16. **Chen, R., Shih, H.** 2013. "Solving University Course Timetabling Problems Using Constriction Particle Swarm Optimization with Local Search," Algorithms, vol. 6, p. 227-244.

17. **Chiarandini, M., Birattari, M., Socha, K., Rossi-Doria, O.** 2006. "An Effective Hybrid Algorithm for University Course Timetabling," *Journal of Scheduling*, vol. 9, p. 403-432.
18. **Corne, D., Ross, P., Fang, H.** 1994. "Evolutionary Timetabling: Practice, Prospects and Work in Progress," Presented at the UK Planning and Scheduling SIG Workshop, Strathclyde.
19. **Corr, P., McCollum, B., McGreevy, M., McMullan, P.** 2006. "A New Neural Network Based Construction Heuristic for The Examination Timetabling Problem," *PPSN IX, Lecture Notes in Computer Science*, vol. 4193, p. 392-401.
20. **Daskalaki, S., Birbas, T., Housos, E.** 2004. "An Integer Programming Formulation for a Case Study in University Timetabling," *European Journal of Operational Research*, vol. 153, p. 117-135.
21. **Dinkel, J. J., Mote, J., Venkataramanan, M. A.** 1989. "An Efficient Decision Support System for Academic Course Scheduling," *Operations Research*, vol. 37 (6), p. 853-864.
22. **Dowland, K. A.** 1990. "A Timetabling Problem in Which Clashes are Inevitable," *Journal of Operations Research*, vol. 41 (10), p. 907-918.
23. **Gani, T. A., Khader, A. T., Budiarto, R.** 2004. "Optimizing Examination Timetabling Using a Hybrid Evolution Strategies," 2nd International Conference on Autonomous Robots and Agents, Palmerston North, New Zealand, p. 345-349.
24. **Gunawan, A., Ng, K. M., Poh, K. L.** 2007. "Solving The Teacher Assignment-Course Scheduling Problem by a Hybrid Algorithm," *International Journal of Computer, Information, and Systems Science, and Engineering*, vol. 1 (2), p. 136-141.
25. **Harwood, G. B., Lawless, R. W.** 1975. "Optimizing Organizational Goals in Assigning Faculty Teaching Schedules," *Decision Sciences*, vol. 6 (3), p. 513-524.
26. **Ismayilova, N., Sagır Özdemir, M., Gasimov, R.** 2007. "A Multiobjective Faculty-Course-Time Slot Assignment Problem with Preferences," *Mathematical and Computer Modelling*, vol. 46 (7-8), p. 1017-1029.
27. **Koçanlı, M. M., Aydınbeyli, Y. E., Saraç, T.** 2013. "Eti Şirketler Grubu'nda Üretim Çizelgeleme Problemi için bir Hedef Programlama Modeli ve Genetik Algoritma," *MMO Endüstri Mühendisliği Dergisi*, vol. 23 (3), p. 4-21.
28. **Kostuch, P.** 2005. "The University Course Timetabling Problem with A Three-Phase Approach," *Practice and Theory of Automated Timetabling V, Lecture Notes in Computer Science*, vol. 3616, p. 109-125.
29. **Köçken, H. G., Özdemir, R. Ahlatcıoğlu, M.** 2014. "Üniversite Ders Zaman Çizelgeleme Problemi İçin İkili Tamsayılı Bir Model ve Bir Uygulama," *İstanbul Üniversitesi İşletme Fakültesi Dergisi*, vol. 43 (1), p. 28-54.
30. **Liebchen, C., Möhring, R. H.** 2002. "A Case Study in Periodic Timetabling," *Electronic Notes in Theoretical Computer Science*, vol. 66 (2), p. 1-14.
31. **MirHassani, S. A.** 2006. "A Computational Approach to Enhancing Course Timetabling with Integer Programming," *Applied Mathematics and Computation*, vol. 175 (1), p. 814-822.
32. **Ozdemir, M. S., Gasimov, R. N.** 2004. "The Analytic Hierarchy Process and Multiobjective 0-1 Faculty Course Assignment," *European Journal of Operational Research*, vol. 157, p. 398-408.
33. **Paquete, L. F., Fonseca, C. M.** 2001. "A Study of Examination Timetabling with Multiobjective Evolutionary Algorithms," *MIC'2001 - 4th Metaheuristics International Conference*, 16-20 July 2001, Porto, Portugal, p. 149-153.
34. **Petrovic, S., Burke, E. K.** 2004. "University Timetabling," J. Leung (Ed.) In *Handbook of Scheduling: Algorithms, Models, and Performance Analysis*, Chapter 45. Chapman Hall/CRC Press, New York, Washington.
35. **Qaurooni, D., Akbarzadeh-T, M.** 2013. "Course Timetabling Using Evolutionary Operators," *Applied Soft Computing*, vol. 13, p. 2504-2514.
36. **Santiago-Mozos, R., Salcedo-Sanz, S., dePrado-Cumplido, M., Bousoño-Calzón, C.** 2005. "A Two-Phase Heuristic Evolutionary Algorithm for Personalizing Course Timetables: A Case Study in a Spanish University," *Computers and Operations Research*, vol. 32, p. 1761-1776.
37. **Schaerf, A.** 1999. "A Survey of Automated Timetabling," *Artificial Intelligence Review*, vol. 13 (2), p. 87-127.
38. **Shiau, D. F.** 2011. "A Hybrid Particle Swarm Optimization for a University Course Scheduling Problem with Flexible Preferences," *Expert Systems with Applications*, vol. 38, p. 235-248.
39. **Smith, K. A., Abramson, D., Duke, D.** 2003. "Hopfield Neural Networks for Timetabling: Formulations, Methods, and Comparative Results," *Computers & Industrial Engineering*, vol. 44 (2), p. 283-305.
40. **Socha, K., Knowles, J., Samples, M.** 2003. "A Max-Min and System for the University Course Timetabling Problem," In *Proceedings of the 3rd International Workshop on Ant Algorithms, ANTS 2002*, Springer Lecture Notes in Computer Science, vol. 2463 (10), p. 1-13.
41. **Wehrer, A., Yellen, J.** 2014. "The Design and Implementation of an Interactive Course-Timetabling System," *Annals of Operations Research*, vol. 218, p. 327-345.