

# ÇOK NÜFUSLU KARARLI HAL GENETİK ALGORİTMASI KULLANARAK OTOMATİK ÇİZELGELEME

Ender Özcan ve Alpay Alkan  
Yeditepe Üniversitesi  
Mühendislik-Mimarlık Fakültesi  
Bilgisayar Mühendisliği  
eozcan/aalkan@ics.yeditepe.edu.tr

## Özetçe

Çizelgeleme problemleri belirli zaman aralıklarının kullanıcılar kısıtlar göz önünde bulundurularak makul bir şekilde atanmasını gerektirir. Üniversitelerde otomatik ders programı hazırlama bir çizelgeleme problemidir. Hedef, belirli kısıtlar kapsamında ilgili dönemde açılan bütün derslerin zaman çizelgesine yerleştirilmesidir. Bu çizelgeleme problemi polinom zamanda çözülemeyen tam (NP-complete) bir problemidir. Çok kısıtlı üniversite ders programı hazırlamaya yönelik Kararlı Hal Genetik Algoritması (SSGA) geliştirilmiştir. Yeni melezleme, mutasyon uzmanları ile paralel genetik algoritmalarından esinlenilerek çok nüfuslu SSGA denenmiştir. Yeditepe Üniversitesi Mühendislik Fakültesi'nin ihtiyaçlarından yola çıkılarak, diğer üniversitelerin ihtiyaçları da göz önüne alınarak, eğitim kurumlarında otomatik ders programı hazırlamak için TEDI adında bir sistem geliştirilmiştir. SSGA bu sistemin bir parçasıdır.

## Giriş

Çizelgeleme problemleri, verimliliği esas alarak, kaynakların kullanıcılar belli kısıtlarla tahsis edilmesini hedefler. Bir zaman çizelgeleme problemi olan ders programı hazırlamada (çizelgelemede) hedef, her sınıf için açılacak derslerin buluşma saatlerinin istenen kısıtlar sağlanarak belirlenmesidir. Örneğin, herhangi bir üniversitede bir bölümün ders programının belirlenmesi demek açılan bütün derslerin saatlerinin belirlenmesi demektir. Doğal kısıtlardan biri ise aynı dönem derslerinin kesişmemesidir. Benzer şekilde, bir öğretim elemanın verdiği dersler aynı saate atanamaz. Zaman çizelgeleme problemi, zor bir problemidir ([9]). Bu tür problemlerin çözümü için değişik yaklaşımlar kullanılmıştır. Schmidt, bildirisinde bu konudaki ilk çalışmalardan bahseder [17]. Zaman çizelgeleme problemleri için geliştirilen modeller genelde birbirinden oldukça farklıdır. Bu sebeple literatürde bulunan sonuçları karşılaştırmak zordur.

Seçilen basit kısıtları sağlayabilmek için gerekli en az sayıda zaman boşluğu adedini belirlemek, aynı zamanda birçok araştırmanın üzerinde çalışmış olduğu *harita boyama* problemidir [13, 18]. Abramson, *tavlama* yöntemiyle çizelgeleme problemlerini çözmeye çalışmış ve altı farklı soğutma tekniğini karşılaştırmıştır. Kısıt bazlı mantık programlama, bu tür problemleri çözmek için kullanılan diğer bir yaklaşımdır [7, 14]. Hertz ([11]) ve Schaerf ([16]), çizelgelemeyi, *tabu arama* yöntemiyle çözmeye çalışmışlardır. Colomi [5], yaptığı deneylerin sonucunda, Genetik Algoritmaların (GA) ve tabu arama yönteminin daha iyi çizelgeler ürettiğini rapor etmiştir. Erben [8] birbiriyle etkileşen kütüphanelere dayalı problemin ikili düzen ile temsil edildiği bir GA kullanmıştır, ki muhtemelen testlerin yavaşlığının sebebi bunlardır. Cladeira [6], problemi çözmek için, nesil ötesi Genetik Algoritma kullanmıştır.

Pratikte, otomatik çizelgeleme problemleri çok daha karışık kısıt ve yapıları gerektirir. Çoğu uygulamada, kısıtlar, zorunlu olanlar ve tercihe bağlı olanlar olarak iki gruba ayrılmıştır. Geliştirmiş olduğumuz sistemde ise, tüm sağlanması gerekli kısıtlara birer ağırlık atanarak bunların arasında öncelik

belirlenebilmesine izin verilmiştir. Ayrıca, gerçek bir uygulamada, göz önüne alınması gereken kısıt sayısı bir hayli fazladır; bu sebeple, kısıtların girilebilmesi için, kullanıcı dostu bir ara yüze de ihtiyaç duyulur. Bu bildiride, gerçek hayatta ihtiyaç duyulan ve gerçekleştirilmiş olan kısıtların kümesi ve zaman çizelgeleme problemi için Genetik Algoritma kullanılarak geliştirilen TEDI (Eğitim Kurumları için Zaman Çizelgeleme Aracı) tanıtılacaktır.

2. bölüm, Yeditepe Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi'ndeki zaman çizelgeleme problemini anlatır. 3. bölüm, üniversite için gerekli olan kısıtları tanıtır. Problemin çözülmesi için kullanılan genetik algoritma, 4. bölümde anlatılmıştır. TEDI, 5. bölümde detaylarıyla açıklanmıştır. 6. bölüm, deney sonuçlarını ve özetlemektedir ve ulaşılan sonuçlar, 7. bölümde sunulmuştur.

## Üniversite için Ders Programı Hazırlama Problemi

Yeditepe Üniversitesi'nde, lisans eğitimi, döneme dayalı uygulanmaktadır. Fakülteler arası verilen derslerin (servis dersleri) azlığı sebebiyle üniversite ders programı hazırlama problemi her bir fakültenin ders programının hazırlanmasına indirgenmiştir. Örnek fakülte olarak Mühendislik-Mimarlık Fakültesi seçilmiştir. Bu Fakülte'de öğrenciler girdikleri bölümün müfredatına göre, her dönem 5 ile 8 adet arası ders almak durumundadır. Servis dersleri hariç 6 tip ders vardır: zorunlu bölüm dersleri, temel bilimler dersleri, YÖK dersleri, temel mühendislik bilimleri dersleri, teknik seçmeliler, teknik olmayan seçmeliler. Her dersin toplam *buluşma süresi* 1 ile 4 saattir. Mühendislik-Mimarlık Fakültesi'nde, 6 bölüm vardır. Her bölümün müfredatı 8 dönemden oluşmaktadır. Öğrenciler, Fakülte müfredatlarına, İngilizce yeterliliklerini kanıtladıktan hemen sonra, içinde bulunulan dönem gözetilmeden başlayabilmektedir. Bu sebeple, herhangi bir müfredattaki derslerin hemen hepsi, her dönem açılmaktadır. Üniversitede, hem tam zamanlı hem de yarı zamanlı öğretim elemanları görev yapmaktadır. Yarı zamanlı öğretim elemanlarının çoğu başka üniversitelerde tam zamanlı olarak çalışmaktadır. Bu sebeple, her birinin kendine özel bağlayıcı zaman kısıtları vardır.

Zaman çizelgesi, haftada 5 gün ve günde 9 saat olarak düzenlenmiştir (toplam 45 adet hane). Bu günler içerisinde, ilk 4 saat sabah saatleri, 1 saat öğle yemeği, son 4 saat da öğleden sonra olarak kabul edilmiştir. Üzerinde çalıştığımız zaman çizelgeleme problemi, bu zaman çizelgesi hanelerinin, Fakülte'de açılan bütün derslerin buluşma saatlerine eldeki kısıtları sağlayacak en uygun şekilde atanmasıdır.

İki ana kısıt, herhangi bir müfredat dönemindeki derslerin buluşma zamanlarının ve bir öğretim elemanının verdiği ders saatlerinin kesişmemesidir. Toplam buluşma süresi 1 saatten fazla olan derslerin *buluşma adedi* birden fazla olabilir. Genelde tercih edilen başka bir kısıt da, her bir buluşmanın farklı günlere konmasıdır. Bir dersin farklı şubelerinin saatleri doğal olarak çakışabilir. Bazı derslerin tam saati önceden belirlenmek durumunda kalabilir ve bu saat öğle yemeği saatine denk gelebilir. Üniversitemizde, her fakülte, kendi ders

odalarına sahiptir. Birden fazla bölüm ya da aynı bölüme ait birden fazla müfredat dönemi aynı dersi paylaşmak zorunda kalabilir. Sistemimiz bu paylaşımları desteklemektedir. Böylece ortak dersler için ayrı bir kısıt eklenmesine gerek bırakılmayarak performans artırılmıştır. Yarı zamanlı öğretim elemanları, dönem bazlı çalıştıkları için, her dönem aynı çizelgenin kullanılması neredeyse imkansızdır.

## Kısıtlar

Zaman çizelgeleme kısıtları, Yeditepe Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi'nin ihtiyaçlarına göre, diğer üniversitelerin ihtiyaçları da gözetilerek, düzenlenmiştir. Kısıtlar, eğitim kalitesinin iyileştirilmesi, öğrenci ve öğretim elemanlarının performansının yükseltilmesi, öğretim elemanı isteklerinin karşılanması ve idari ihtiyaçlara cevap verilebilmesi esas alınarak oluşturulmuştur.

Tüm kısıtlar, 3 ana grupta toplanabilir: Öğretim elemanı kısıtları, müfredat dönemi kısıtları, ders kısıtları. Herhangi bir kısıt, program çalıştırılmadan önce açılabilir ya da kapanabilir. Açılan her kısıt sistem tarafından sağlanmaya çalışılır. Takip eden kısımda, sistemimizin desteklediği kısıtlar detaylı olarak anlatılmıştır.

### 1. Öğretim Elemanı Kısıtları

Aşağıdaki kısıtlardan herhangi birisi ilgili öğretim elemanı için sisteme girilebilir:

- 1) Bir öğretim elemanının verdiği derslerin ders saatleri kesişmemelidir. Bu kısıt bütün öğretim elemanları için her zaman açık konumdur.
- 2) Öğretim elemanları ders verdikleri gün içerisinde belirlenen ders süresini doldurmak zorundadır. Bu kısıt, özellikle yarı zamanlı öğretim elemanları için faydalıdır ve ancak bütün öğretim elemanları için açılabilir ya da kapanabilir.
- 3) Öğretim elemanları ders verdikleri gün içerisinde belirlenen toplam ders süresinden fazla ders veremezler.
- 4) Bu kısıt açıldığında, bir öğretim elemanının gün içerisindeki tüm dersleri ardışık olarak atanmaya çalışılır. Böylece yarı zamanlı öğretim elemanlarının gün içerisinde boş yere beklemeleri önlenmiş olur.
- 5) Bir kurumda, eğitim birden fazla binada birden sağlanıyor olabilir. Eğer binalar birbirinden uzaksa, bir öğretim elemanının binalar arası sürekli gidip gelmesi sıkıntı doğurabilir. Bu problemin giderilmesi için eklenen kısıt, öğretim elemanları için, her binada verilen derslerin gün içerisinde ardışık atanmasını ve binalar arası gidiş gelişin en aza indirgenmesini amaçlar.
- 6) Öğretim elemanlarının ders saati olarak atanmasını istemedikleri çizelge haneleri belirlenerek, her birine özel kısıtlar sağlanmaya çalışılır.

### 2. Müfredat Dönemi Kısıtları

Bir fakültede kısıtlar yapı itibarıyla birbirine benzemekte ise de, farklı bölümler ve hatta aynı bölümdeki farklı dönemler için farklı kısıtların sağlanması ihtiyacı çıkabilir. Hatta bazı kısıtlar bazı dönemler için hiç gerekmebilir. Aşağıdaki kısıtlar belirlenen herhangi bir müfredat dönemi için açılabilir ya da kapanabilir:

- 7) Bu kısıt kullanıma açılırsa, sistemimiz her gün için belirlenen toplam ders saatini, yine belirlenen tipteki derslerle doldurmaya çalışır.
- 8) Bu kısıt kullanıma açılırsa, sistemimiz her gün için belirlenen toplam ders saatini, yine belirlenen tipteki dersleri

atayarak aşmamaya çalışır. Buradaki amaç, öğrencilere aynı tipte aşırı ders yüklemesi yapılmasından kaçınmaktır.

9) Belirlenmiş bir gün ya da çizelge hanesi tamamen boş bırakılabilir. (Öğle yemeği ya da konferans saati belirlenmesi gibi)

10) Bu kısıt açılırsa, sistemimiz, ilgili müfredat döneminin derslerinin gün içerisinde ardışık atanmasını sağlayarak öğrencilerin derslerinin gün içerisinde aralıklı atanmalarını önlenmiş olur. Bu kısıt aynı zamanda öğrencilerin derse devam yüzdelerini arttırmayı da amaçlar.

11) Bir müfredat dönemine ait derslerin ders saatleri kesişmemelidir. Bu kısıt her müfredat dönemi için her zaman açık konumdur.

12) Ders yükü ağırlığının bir haftaya dağılımının nasıl yapılacağı iki ayrı tipte belirlenebilir:

1. *Konsantre*: Ders saatler dağılımında, ders atanan günlerin yoğun geçmesi ve bu sayede geri kalan günlerin tamamen boşaltılması amaçlanır.

2. *Eşit ağırlıklı*: Müfredat dönemine ait derslerin günlere eşit saat adedi ile dağıtılması amaçlanır.

13) Belirli tipe ait derslerin, atandığı günün başlangıç ya da bitiş saatlerine konması amaçlanır.

14) Önceden belirlenmiş bazı müfredat dönemi derslerinin gün içerisinde sabah saatlerine konması amaçlanır. Örneğin, bölüm dersleri ve teknik seçmelilerin sabah saatlerine atanması tercih edilebilir.

15) Önceden belirlenmiş bazı müfredat dönemi derslerinin gün içerisinde öğleden sonra saatlerine konması amaçlanır.

### 3. Ders Kısıtları

Bu kısıtlar genel olarak bir ders grubuna atfedilemeyen ve sağlanması istenebilecek derse özel kısıtlardır.

16) Ayrı müfredat döneminde farklı öğretim elemanlarının versiyi iki dersin birbiriyle kesişip kesişmemesi durumları bu kısıt sayesinde gerçekleştirilebilir. Bu kısıt, özellikle aynı fakülteden lisansüstü dersi alan, lisans düzeyinde laboratuvar ya da problem çözme saati görevi olan asistanlar için faydalıdır.

17) Bir dersin buluşma adedi ve süresi önceden belirlenerek her bir buluşmanın farklı günlere atanması amaçlanır. Örnek, toplam buluşma süresi 4 saat olan bir ders, 1+3 ya da 2+2 şeklinde 2 buluşma olarak belirlenebilir ve bu iki buluşma farklı günlere atanmaya çalışılır. Bu kısıt bütün dersler için açık konumdur.

18) Özel durumu olan derslerin ya da öğretim elemanlarının günleri ya da hem gün, hem de saatleri önceden tanımlanarak yerleri sabitlenebilir.

## Otomatik Çizelgeleme İçin Genetik Algoritmalar

Genetik Algoritmalar (GA) J. Holland [12] tarafından bulunmuş ve "şekil tanıma" [10, 15] gibi ve birçok zor problemin çözümünde kullanılmıştır. GA'ler evrim teorisinin altında yatan, doğal seleksiyon ve genetik biliminin temelleri kullanılarak üretilmiştir.

İçindeki her birey (kromozom) in aday çözüm olduğu nüfus, sürekli bir evrim geçirir. Her nesilde genetik uzmanlar seçilen bireylere sırayla uygulanır (melezleme ve mutasyon gibi). Her bireyin hayatta kalma uygunluğu bir uygunluk fonksiyonu ile belirlenir. İyi genlerden oluşan iyi bireylerin, sonraki nesillerde hayatta kalma şansları daha fazladır; buna karşılık

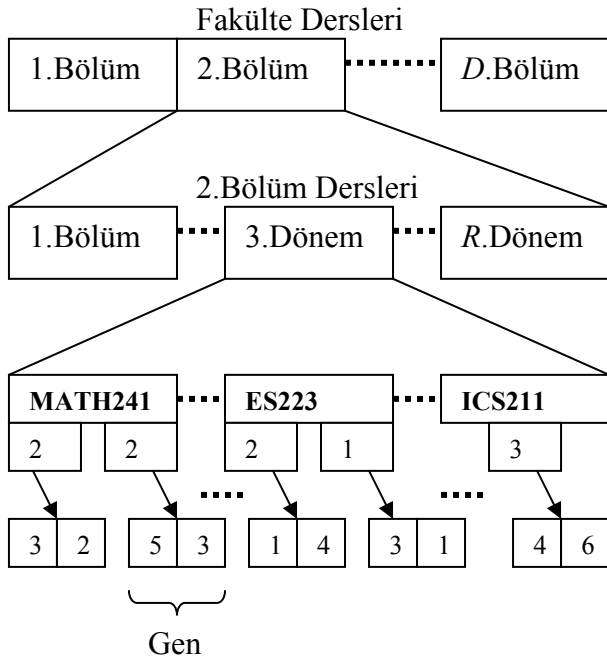
kötü bireyler ise seçim baskısı yüzünden evrim esnasında kaybolurlar. Evrim süreci belirlenen bitiş koşulunu sağlayıncaya kadar devam eder. Bu durumda, en iyi birey, ulaşılan en iyi çözümü temsil eder.

Bir fakültede  $D$  sayıda bölüm olsun ve bölüm dersleri  $R$  müfredat dönemine paylaştırılsın. Fakültede verilen toplam ders adedi  $C$ , ders saati ise  $T$  olsun. Fakülte'nin ders programı hazırlanırken  $S$  haneli boş bir zaman çizelgesinde,  $T$  adet derse uygun bir hane atanması gerekir. Bu uygunluk  $N$  sayıdaki kısıtın sağlanması demektir. Arama uzayı çok büyüktür; derslerin paralel olarak yapılması olası olduğundan, arama uzayının büyüklüğü  $S^T$ 'ye kadar çıkabilir.

Aşağıda bu problemi çözmek için kullanılan Genetik Algoritmanın detayları anlatılmıştır.

## 1. Temsil

Şekil-1'de de görüldüğü gibi, aday çözüm olarak bireylerdeki her gen bir ders buluşmasına karşılık gelir. Müfredat dönemi gen gurubu müfredat dönemi derslerinin buluşma atamalarının ardışık eklenmesiyle oluşur. Bölüm müfredatı gen gurubu o bölüme ait müfredat dönemi gen guruplarının birleşmesinden oluşur. Fakültedeki bütün bölümlerinin müfredat gen gurupları birleşerek bir bireyi oluşturur.



Şekil-1: Genetik Algoritmada çizelgeleme problemine aday çözümün kromozom olarak temsili

Kullanılan işaretler sistemi şöyledir:

- o Her zaman çizelgesi hanesi,  $t$  ile temsil edilir,  $0 < t \leq S$ .
- o  $I = (F, Q)$ , giriş verilerini temsil eder.  $F$  fakülte tarafından verilen tüm derslerin listesi,  $Q$  da bu dersler üzerinde tanımlanan bütün kısıtlardır.
- o  $Q = \{q_1, q_2, \dots, q_k, \dots, q_N\}$ ,  $q_k$  tanımlanan bir kısıtı temsil eder,  $|Q| = N$  dir.
- o  $c_{d,s,i}$ ,  $d$  bölümündeki  $s$  müfredat dönemindeki  $i$  numaralı ders saatlerinin kümesi olsun. Burada,  $c_{d,s,i} = (c_{d,s,i,1}, \dots, c_{d,s,i,j}, \dots, c_{d,s,i,U_{d,s,i}})$  ile tanımlanır; her  $c_{d,s,i,j}$ ,  $c_{d,s,i}$  dersinin  $j$  numaralı buluşmasıdır ve  $|c_{d,s,i}| = U_{d,s,i}$ .

- o  $C_{d,s}^d$ ,  $d$  bölümünün,  $s$  döneminde açtığı derslerin listesi olsun.

$C_{d,s}^d = (c_{d,s,1}, c_{d,s,2}, \dots, c_{d,s,i}, \dots, c_{d,s,M_{d,s}})$ ,  $|C_{d,s}^d| = M_{d,s}$ . Burada dikkat edilmesi gereken nokta, bir ders için birden fazla şubenin açılması ihtimalinin olduğudur ve betimlemeye her farklı şubeye farklı bir dersmiş gibi davranılır.

- o  $L^d$ , bir dönemde,  $d$  bölümü tarafından açılacak tüm derslerin kümesi olsun.

$L^d = (C_{d,1}^d, C_{d,2}^d, \dots, C_{d,s}^d, \dots, C_{d,R_d}^d)$ ,  $R_d$ ,  $d$  bölümünün müfredatındaki dönemlerin adedidir.

- o  $F$ , ilgili dönemde tüm bölümlerce açılacak derslerin kümesi olsun.

$F = (L^1, L^2, \dots, L^d, \dots, L^D)$ ,  $D$  fakültedeki bölüm sayısıdır.

- o Her birey  $P = (P_1, P_2, \dots, P_i, \dots, P_B)$  olarak temsil edilir.  $P_i$  in  $c_{d,s,i,j}$  ile gösterilen ders buluşmasına denk geldiğini farzedelim. Bu durumda  $P_i = \mu(c_{d,s,i,j}) = t$ ,  $\mu$  bir ders buluşmasının bir zaman çizelgesi hanesine atanmasını ifade eder. Şekil-1'de örnek olarak gösterilen bir bireye ait kısmi genlerin anlamı Şekil-2'deki çizelgede gösterilmiştir.

|   | Pzts. | Salı | Çarş.   | Perş.  | Cuma    |
|---|-------|------|---------|--------|---------|
| 1 |       |      | ES223   |        |         |
| 2 |       |      | MATH241 |        |         |
| 3 |       |      | MATH241 |        | MATH241 |
| 4 | ES223 |      |         |        | MATH241 |
| 5 | ES223 |      |         |        |         |
| 6 |       |      |         | ICS211 |         |
| 7 |       |      |         | ICS211 |         |
| 8 |       |      |         | ICS211 |         |
| 9 |       |      |         |        |         |

Şekil-2: Şekil-1'deki kısmi genlerin çizelge üzerindeki anlamı

- o **Gözlem:**  $B$ , bir bireyin uzunluğu olup, fakültede açılan bütün derslerin buluşma adedidir.

$$D \quad R_d \quad M_{d,s}$$

$$\sum_{d=1}^D \sum_{s=1}^{R_d} \sum_{i=1}^{M_{d,s}} U_{d,s,i} = B$$

## 2. İlk Nüfusun Oluşturulması

Bir nüfustaki bireylerin sayısı, birey uzunluğu ile doğru orantılı olarak ayarlanmıştır. İlk nüfusta, bireydeki her gene zaman hanesi olarak rast gele bir değer atanır.

## 3. Uygunluk

Uygunluk fonksiyonu, herhangi bir kısıta uymayan bir atamanın cezalandırılması yöntemiyle hesaplanır.

$Uzaklık(x, y)$ ,  $y$  ders buluşması-çizelge hanesi eşleşmesinin,  $x$  kısıtını sağlamaktan ne kadar uzak olduğunu, diğer bir deyişle  $x$  kısıtını ne kadar ihlal ettiğini belirtsin. Bu durumda, uygunluk değeri, aşağıdaki formülle hesaplanır:

$$Uygunluk \text{ değeri} = \sum_{k=1}^N \sum_{i=1}^B Uzaklık(q_k, P_i)$$

## 4. Üreme ve Seçim Yöntemleri

Üreme için eş seçiminde sıralama stratejisi kullanılmaktadır. En iyi uygunluk değerine sahip olan bireyin seçilme ihtimali, en kötü olana göre  $n$  kere daha fazla olarak ayarlanmıştır.

Kararlı Hal Genetik Algoritmasında, evrim esnasında diğer nesile iletilecek bireylerin seçiminde iki farklı yöntem denenmiştir. Birinci yöntem, eşleşen ebeveynler ile doğan iki çocuk grubundan en iyi ikisini alarak ebeveynleriyle yer değiştirir (PR); diğeri ise oluşan çocukları ile, nüfusun en kötü bireyleriyle, onlardan daha iyi olmak koşuluyla, yer değiştirir (WR). İki yaklaşımda yeni nesil oluşturulurken çeşitliliği sağlamak amacıyla, nüfusa eklenecek yeni bireylerin kopyasının nüfusta olmamasına özen gösterilir, aksi takdirde birey yeni nesile giremez.

## 5. Uzmanlar

Mezleme ve mutasyon uzmanları, nüfusa yeni aday çözümlerin katılmasına yardımcı olurlar. Kesişim Filtresi ise bireyin lokal olarak iyileştirilmesini hedefler.

### Mezleme

Değişik mezleme uzmanları denenmiştir:

- o En başarılı olarak geleneksel tek noktadan mezleme uzmanı bulundu (TI). Bu uzman iki bireyi rasgele seçilmiş bir noktadan mezleyerek iki yeni çocuk oluşturur.
- o En az TI kadar başarılı bulduğumuz, yeni yarattığımız tek noktadan gurup mezleme uzmanı (TT), bir müfredat dönemi seçer ve sadece bu kısımlara TI'ı uygular.
- o Düzenli mezleme (UGI), iki bireyin her genini %50 ihtimalle mezleler.
- o Denediğimiz yeni uzman UGT, UGI'yi, bireyin seçilen müfredat dönemi kısmında uygular.
- o Denediğimiz diğer yeni bir uzman UTI, iki bireyin içerisindeki her ayrı müfredat dönemini %50 ihtimalle gurup olarak blok halinde mezleler.
- o Denediğimiz diğer yeni bir uzman UTT, UTI ye benzer şekilde çalışarak bireylerin bölüm guruplarını %50 ihtimalle mezleler.

### Mutasyon

Değişik mutasyon uzmanları denenmiştir:

- o Geleneksel mutasyon uzmanı (AI), her geni,  $1/(birey \text{ uzunluğu})$  ihtimalle, rasgele yeni bir atama yaparak mutasyona uğratar.
- o Denediğimiz diğer yeni bir uzman AT, öncelikle müfredat dönemlerinin uygunluk değerine kısmi katkılarını göz önünde bulundurarak, sıralama stratejisi kullanıp rasgele bir müfredat dönemi seçer ve AI uzmanını bu dönem üzerinde uygular.
- o Sıralamalı Mutasyon Uzmanı (OI), bireydeki her bir genin uygunluk değerine kısmi katkılarını göz önünde bulundurarak, sıralama stratejisi kullanıp rasgele bir gen seçer ve rasgele yeni bir atama yaparak mutasyona uğratar.
- o Denediğimiz diğer yeni bir uzman OT, AT gibi çalışır, son basamakta, AI yerine OI uzmanın müfredat dönemi içerisinde kullanır.

### Kesişim Filtresi

Bir bireye mezleme ve ardından mutasyon uygulanması, genlerde bulunan ders saati bilgilerinin, müfredat dönemi ya da hoca bazında çakışmalara yol açabilir. Kesişim Filtresi sayesinde, müfredat dönemi bazında kesişen dersler bulunarak, öğretim elemanı ve sınıf bazında uygunluk sağlayacak şekilde seçilen boş saatlere rasgele atanırlar. Bu

uygulama oluşan yeni bireyin uygunluk değerinin iyileşmesini garanti etmez.

## 6. Evrimi Sonlandırma

Evrim süreci, en iyi bireyin uygunluk değeri istenen değere ulaşınca (Deneylerimiz için 0) yada önceden belirlenen üst sınır nesil adedine ulaşınca biter (Tek nüfuslu deneylerimiz için 200.000, 20 nüfus için 10.000).

## 7. Çok Nüfuslu Genetik Algoritma

Çeşitliliği arttırmak için, sisteme nüfus adedi de bir parametre olarak eklenmiştir; bu sayede değişik nüfusların aynı anda paralel olarak evrim geçirmesi sağlanmıştır. Sisteme eklenen başka bir parametre sayesinde, evrim esnasında, bir birey kendisine, belirli bir olasılık dahilinde başka bir nüfustan eş seçebilmekte ve bu sayede nüfuslar arası etkileşim de sağlanmaktadır.

Sistemde, bireylerin klonlarına izin verilmemesine rağmen, belirli bir nesilden sonra, bilhassa mezleme sebebiyle aynı nüfustaki bireylerin birbirinden çok küçük farklarla ayrıldığı gözlemlenmiştir. Belirli bir nesil adedi sonucunda bile, farklı nüfusların bireylerinin diğerlerinden ciddi farklarla ayrıldığı görülmüştür. Sonuç olarak, nüfuslar arası eşleşmeler, oldukça değişik bireylerin oluşumuna katkıda bulunmaktadırlar.

## 8. Sıralama Stratejisi

Listeler üzerinden seçim yaparken, (örneğin mutasyon için gen seçimi) tüm adaylara eşit seçilme şansı verilmesi yerine, daha iyilerin seçim şansının durumlarıyla orantılı olarak artırılması için bir kullanılan yöntemden esinlenilerek mutasyon uzmanlarında kullanılmak üzere bir yöntem geliştirilmiştir.

Tablo-1: Örnek nüfus

| BİREY | UYGUNLUK DEĞERİ |
|-------|-----------------|
| 1     | -10000          |
| 2     | -11000          |
| 3     | -15000          |
| 4     | -20000          |
| 5     | -30000          |

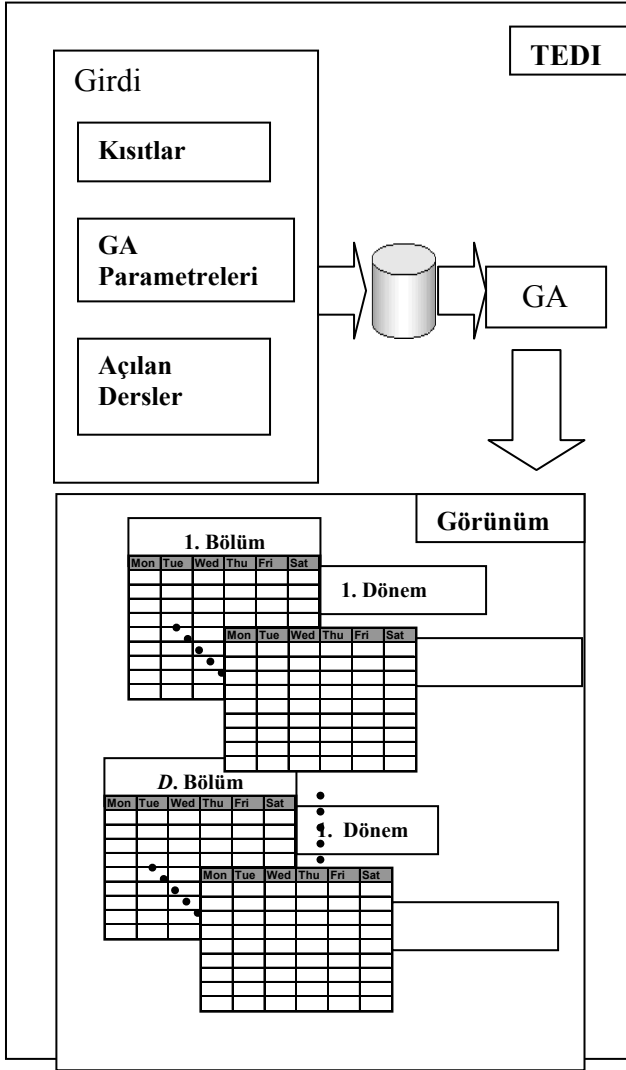
Örneğin, Tablo-1'deki nüfusta, bireylerin uygunluk değerleri yukarıya doğru artmaktadır, dolayısıyla mezleme için ebeveyn seçme ihtimali de aynı oranda artar.

Mutasyon için ise, kullanılan bunun tersidir, yani birey içerisinde kötü genlerin mutasyona uğraması ihtimali daha fazladır.

Eğer listedeki tüm elemanların uygunlukları aynı ise, (baş ve sona bakılarak anlaşılabilir) o zaman her birine eşit seçim ihtimali tanınır.

## TEDI

TEDI, eğitim kurumları için geliştirilmekte olan Genetik Algoritma kullanarak otomatik ders programı hazırlayan bir programdır. Şekil-3'de, TEDI'nin iş akış diyagramını gösterir. Tüm GA parametreleri ve kısıtlar, geliştirilmiş olan grafik ara yüz sayesinde sisteme girilir. Daha sonra TEDI, kullanılan algoritma sayesinde en uygun çözümü bulmak için çalıştırılır. TEDI, başlangıç aşamasında tüm parametreleri, kısıtları ve diğer gerekli bilgileri veritabanından hafızaya yükler ve evrime başlar.



**Şekil-3:** TEDI'nin iş akış diyagramı

TEDI, hesaplamaya geçilmeden önce şu parametrelerin girilmesini sağlar: nüfustaki birey sayısı, melezleme ve mutasyon tipi, seçim ve bitiş metodu.

Çıktı olarak, TEDI'den iki tip zaman çizelgesi alınabilmektedir. Müfredat dönemi çizelgesi ve öğretim elemanı çizelgesi. Bu sayede, programın elde ettiği sonuç, görsel olarak hemen değerlendirilebilmektedir.

Kullanılan GA, ODBC üzerinden Sybase veritabanı ile direk konuşabilen Borland C++ Builder 5.0 kullanılarak geliştirilmiştir. Disk erişimi, çalışmayı çok yavaşlattığı için, veritabanına erişim sadece başlangıç aşamasında olur ve bir daha kullanılmaz. Program bitiş durumuna gelinceye kadar sadece hafızada işlem yapar ve bitince de sonucu yine veritabanına yazar. Veritabanı olarak Windows üzerinde Adaptive Sybase Anywhere 7.0 kullanılmıştır. Veritabanında 20 tablo arasındaki bütünlük kurallarının bozulması engellemek için modelleme aşamasında Erwin 3.5.2 kullanılarak ERD diyagramı oluşturulmuştur. Bilgi girişi ara yüzü için de Borland Delphi 5.0 kullanılmıştır.

## Deneyler

Tüm deneyler, Windows 2000 kurulu 128 MB RAM'i olan 800 MHz'lik PIII PC'ler üzerinde yapılmıştır. Başarı frekansı, 20 denemede, %100 başarı sağlayanların (tüm kısıtları sağlama) adedini ifade etmektedir.

İlk deneyler, en uygun GA parametrelerinin bulunması için yapılmıştır. Bu deneylerde kullanılan veri büyüklüğü de, gerçek çizelgeleme verisine göre nispeten küçük seçilmiştir. Elde edilen sonuçlar kullanılarak, Mühendislik Fakültesi'nin 2001-2002 Bahar dönemi ders programının hazırlanması hedeflenmiştir. Bu çizelgede, haftanın her iş günü, 9 adet 50 dakikalık ders boşluğuna bölünmüştür (Şekil-4). Her ders boşluğu arasında 10 dakikalık bir ara vardır. Ayrıca 5. saat de istisnalar hariç öğle arası olarak seçilmiş ve bu hane, tüm müfredat dönemleri için boş bırakılmaya çalışılmıştır.

|             | Paz | Sal | Çar | Per | Cum |
|-------------|-----|-----|-----|-----|-----|
| 09:00-09:50 | 1   | 10  | 19  | 28  | 37  |
| 10:00-10:50 | 2   | 11  | 20  | 29  | 38  |
| 11:00-11:50 | 3   | 12  | 21  | 30  | 39  |
| 12:00-12:50 | 4   | 13  | 22  | 31  | 40  |
| 13:00-13:50 | 5   | 14  | 23  | 32  | 41  |
| 14:00-14:50 | 6   | 15  | 24  | 33  | 42  |
| 15:00-15:50 | 7   | 16  | 25  | 34  | 43  |
| 16:00-16:50 | 8   | 17  | 26  | 35  | 44  |
| 17:00-17:50 | 9   | 18  | 27  | 36  | 45  |

**Şekil-4:** Haftanın günlerinin zaman boşluklarına bölünmesi

Mühendislik Fakültesi ders programı hazırlanırken, Fakülte'nin ihtiyaçları göz önünde bulundurularak en önemli olduğu düşünülen 1, 4, 6, 10, 11, 17 numaralı kısıtlar açılmıştır. Deney verisinin büyüklüğü ile ilgili bazı rakamlar Tablo 2'de özetlenmiştir.

**Tablo-2: Deney verisinin özellikleri**

|  |     |
|--|-----|
| Toplam öğretim elemanı adedi           | 86  |
| Toplam öğretim elemanı kısıt (6) adedi | 276 |
| Toplam ders adedi                      | 163 |
| Toplam müfredat dönemi                 | 33  |
| Toplam zaman boşluğu (S)               | 45  |
| Toplam ders buluşma adedi              | 230 |
| Toplam ders saati                      | 481 |

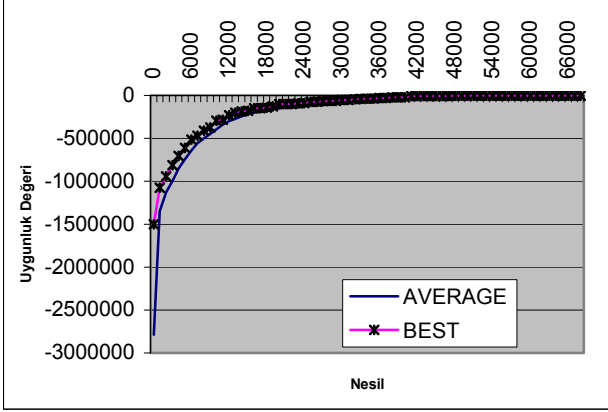
Uygunluk fonksiyonu, aktif hale getirilmiş kısıtlar için Tablo 3'deki birim ceza değerlerini kullanılmıştır. Bu değerlerin büyüklükleri de, deney verisi üzerinde artarda yapılan icralar sonucunda karar verilmiştir. Örneğin, yapılan önceki icralarda, programın en çok 6. kısıtın çözümlemesinde zorlandığı görülmüş ve bu sebeple ilgili kısıtın öncelik değeri (ceza puanı) arttırılmıştır. Bu ceza değerleri üzerinde oynanarak kısıtlar arasındaki öncelik sırası belirlenebilmektedir.

**Tablo-3: Sağlanamayan her kısıt için uygulanan birim ceza değerleri**

| Kısıt | Birim Ceza |
|-------|------------|
| 1     | -5,000     |
| 4     | -2,000     |
| 6     | -20,000    |
| 10    | -2,000     |
| 11    | -10,000    |
| 17    | -5,000     |

**Tablo-4: Tekli ve çoklu nüfus deneylerinin başarı frekansları**

| Deney No | Mezleme | Mutasyon | Tek nüfus (%) | Çok nüfuslu (%) |
|----------|---------|----------|---------------|-----------------|
| 7        | UTT     | OI       | 55            | 45              |
| 8        | UTT     | AI       | 45            | 50              |
| 11       | TT      | OI       | 55            | 70              |
| 12       | TT      | AI       | 50            | 60              |
| 21       | TI      | OT       | 55            | 45              |
| 22       | TI      | AT       | 50            | 55              |
| 23       | TI      | OI       | 65            | 80              |



**Şekil-5:** Başarılı bir icra için, averaj ve en iyi uygunluk değerlerinin gelişim süreci (Her 1000 nesilde bir değer alınmıştır)

## Sonuçlar ve Öneriler

İlk deney sonuçlarımız göstermiştir ki, SSGA, oldukça verimli çalışmaktadır ([19], [20]).

Deney sonuçları, mezleme kullanılmadığı zaman başarı frekansının oldukça düşük olduğunu; mezleme ve mutasyonun birlikte kullanılmasının başarıyı artırdığını göstermiştir. Çeşitliliği arttırmak için çok nüfuslu kullanımın uygulaması tercih edilmiş ve sonuçlardan da anlaşılacağı üzere başarı sağlanmıştır; çoğunlukla, aynı parametrelerin kullanıldığı deneylerde çok nüfuslu kararlı hal genetik algoritması tek nüfusa göre daha başarılıdır (Tablo 4.). Şekil-5'te görüldüğü gibi yaklaşık 20,000 nesilde en iyi çözüme yakın bir çözüme ulaşabilmektedir.

İlk defa kullanılmış olan geliştirdiğimiz sistemde, yeni bir mutasyon uzmanı olarak, Sıralamalı Mutasyon Uzmanı tanıtılmış ve onun geleneksel mutasyondan daha başarılı sonuçlar verdiği gözlemlenmiştir. Ayrıca, çocuk seçiminde, iyi çocukların ebeveynleriyle değiştirilmesi yerine nüfustan kötü bireylerle değiştirilmesi de başarıyı arttırmıştır.

TEDI, esnek bir zaman çizelgeleme aracı olarak tasarlanmıştır. Kullanıcılar, istedikleri zaman programın çalışmasına müdahale edebilmekte, durdurabilmekte, parametreleri yeniden belirleyip tekrar çalıştırabilmekte ve oluşan sonuçları veritabanında saklayabilmektedirler. Yazdırılabilir çıktının yanı sıra sınıflar ve öğretim elemanları için MS Excel tabanlı çizelge de alınabilmektedir. TEDI'nin diğer bir önemli özelliği de, Mühendislik-Mimarlık Fakültesi öğrenci ve ders kayıt sistemi için geliştirilen ve halen kullanılmakta olan STARS sistemi ile etkileşimli çalışabilmesidir.

SSGA için kullanılan temsilin tüm fakültereye yönelik, diğer bir deyişle üniversite ders programını hazırlamaya yönelik olarak genişletilmesi mümkündür. Lise zaman çizelgeleriyle üniversite zaman çizelgeleri arasındaki en önemli farkın, lise zaman çizelgelerinde hiç boşluğun bulunmuyor olması gözlemlenmiştir. İyileştirmeye (Kesişim Filtresine) gereksinim duymayan daha özel mezleme ve mutasyon uzmanları kullanılarak lise zaman çizelgelemesi kolaylaştırılabilir.

Çok nüfuslu kararlı hal genetik algoritması thread kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Her nüfusa bir thread atanmıştır. Çok nüfuslu kararlı hal genetik algoritması ortalama 35 dakikadan az bir sürede doğru çözüme ulaşmaktadır. Çok işlemcili bir makinada bu sürenin düşmesi beklenmektedir.

Bir hedef çalışma olarak, kısıtların birim ceza değerlerinin çalışma zamanı esnasında, dinamik olarak değiştirilebilmesi gelmektedir. Programın çözmekte zorlandığı kısıtların birim ceza değeri artırılarak bunlara öncelik verilmesi sağlanacaktır. Son olarak da, bu tip problemlerde, en küçük bir kısıt değişikliğinin programın yeniden çalıştırılmasını gerektirmesi yüzünden; her şeyi yeniden başlatmak yerine, bir önceki çalışma sonucu oluşan nüfusun tümünün kaydedilip, yapılan küçük değişiklikten sonra kalan yerden devam edilmesi hedeflenmektedir.

## Kaynakça

- [1] **Abramson, D.**, January 1991. Constructing School Timetables Using Simulated Annealing: Sequential and Parallel Algorithms, *Management Science*, 37(1):98-113.
- [2] **Abramson, D. and Dang, H. and Krisnamoorthy, M.**, 1999. Simulated Annealing Cooling Schedules for the School Timetabling Problem, *Asia-Pacific Journal of Operational Research*, 16 1-22.
- [3] **Bruns, R.**, 1993. Direct Chromosome Representation and Advanced Genetic Operators for Production Scheduling, *Proc. of 5th Int. Conf. On. GA*, pp. 352-359.
- [4] **Burke, E. and Elliman, D. and Weare, R.**, 1994. A Genetic Algorithm Based Timetabling System, *Proc. of the 2nd East-West Int. Conf. on Computer Technologies in Education*, pp. 35-40.
- [5] **Coloni, A. and Dorigo, M. and Maniezzo, V.**, 1992. Genetic algorithm to solve the timetable problem. *Tech. rep. 90-060 revised*, Politecnico di Milano, Italy
- [6] **Cladeira, JP and Rosa, AC**, 1997. School Timetabling using Genetic Search, *PATAT 97*, pp. 115-122.
- [7] **Dignum, F. P. M. and Nuijten, W.P.M. and Janssen, L.M.A.**, 1995. Solving a Time Tabling Problem by Constraint Satisfaction, *Tech. report*, Eindhoven University of Technology.
- [8] **Erben, W. and Keppler, J.**, 1995. A Genetic Algorithm Solving a Weekly Course-Timetabling Problem, *Proc. of the First Int. Conf. on the Practice and Theory of Automated Timetabling (ICPTAT)*, pp. 21-32, Napier University, Edinburgh.
- [9] **Even, S. and Itai, A. and Shamir, A.**, 1976. On the Complexity of Timetable and Multicommodity Flow Problems, *SIAM J. Comput.*, 5(4):691-703, December.
- [10] **Goldberg, D. E.**, 1989. *Genetic Algorithms in Search, Optimization, and Machine Learning*, Addison-Wesley, Reading (MA).
- [11] **Hertz, A.**, 1992. Finding a feasible course schedule using a tabu search, *Discrete Applied Mathematics*, 35, 255-270.
- [12] **Holland, J. H.**, 1975. *Adaptation in Natural and Artificial Systems*, Univ. Mich. Press.
- [13] **Leighton, F. T.**, 1979. A graph coloring algorithm for large scheduling problems, *Journal of Research of the National Bureau of Standards*, 84:489-506,

- [14] **Monfroglio, A.**, 1988. Timetabling Through a Deductive Database: A Case Study, *Data & Knowledge Engineering*, 3:1-27.
- [15] **Ozcan, E. and Mohan, C. K.**, 1997. Shape Matching using Genetic Algorithms, *Pattern Recognition Letters*, 18:987-992.
- [16] **Schaerf, A.**, 1996. Tabu Search Techniques for Large High-School Timetabling Problems, *Proc. of the Fourteenth National Conference on AI*, pp. 363-368, August.
- [17] **Schmidt, G. and Strohle, T.**, 1979. Time table construction-an annotated bibliography, *The Computer Journal*, 23(4):307-316.
- [18] **Werra, D. De**, 1985. An introduction to timetabling, *European Journal of Operations Research*, 19:151-162.
- [19] **Alkan, A.**, 2001. A Solution to Course Scheduling Problem Using Genetic Algorithms, *Yeditepe University, MSc.Thesis*.
- [20] **Ozcan, E. and Alkan, A.**, PATAT'2002. Timetabling using a Steady State Genetic Algorithm, accepted.