

T.C.
DOKUZ EYLÜL ÜNİVERSİTESİ
SOSYAL BİLİMLER ENSTİTÜSÜ
EKONOMETRİ ANABİLİM DALI
EKONOMETRİ PROGRAMI
YÜKSEK LİSANS TEZİ

**KAYNAK KISITLI PROJE ÇİZELGELEME
PROBLEMLERİNİN GENETİK ALGORİTMA
YAKLAŞIMIYLA OPTİMİZASYONU**

Ali Haydar BALKAYA

Danışman

Yrd.Doç.Dr. Mehmet AKSARAYLI

2011

YÜKSEK LİSANS
TEZ/ PROJE ONAY SAYFASI

2006800345

Üniversite : Dokuz Eylül Üniversitesi
Enstitü : Sosyal Bilimler Enstitüsü
Adı ve Soyadı : Ali Haydar BALKAYA
Tez Başlığı : Kaynak Kısıtlı Proje Çizelgeleme Problemlerinin Genetik Algoritma Yaklaşımıyla Optimizasyonu

Savunma Tarihi : 12.05.2011

Danışmanı : Yrd.Doç.Dr.Mehmet AKSARAYLI

JÜRİ ÜYELERİ

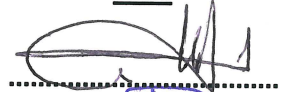
Ünvanı, Adı, Soyadı

Üniversitesi

İmza

Yrd.Doç.Dr.Mehmet AKSARAYLI

DOKUZ EYLÜL ÜNİVERSİTESİ



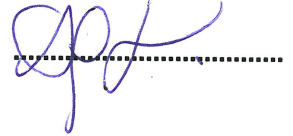
Doç.Dr.İpek DEVECİ KOCAKOÇ

DOKUZ EYLÜL ÜNİVERSİTESİ



Doç.Dr.Ali ÖZDEMİR

DOKUZ EYLÜL ÜNİVERSİTESİ



Oybirliği (✓)

Oy Çokluğu ()

Ali Haydar BALKAYA tarafından hazırlanmış ve sunulmuş "Kaynak Kısıtlı Proje Çizelgeleme Problemlerinin Genetik Algoritma Yaklaşımıyla Optimizasyonu" başlıklı Tezi (✓) / Projesi () kabul edilmiştir.

Prof.Dr. Utku UTKULU
Enstitü Müdürü

YEMİN METNİ

Yüksek Lisans Tezi olarak sunduğum “**Kaynak Kısıtlı Proje Çizelgeleme Problemlerinin Genetik Algoritma Yaklaşımıyla Optimizasyonu**” adlı çalışmanın, tarafımdan, bilimsel ahlak ve geleneklere aykırı düşecek bir yardıma başvurmaksızın yazıldığını ve yararlandığım eserlerin bibliyografyada gösterilenlerden oluştuğunu, bunlara atıf yapılarak yararlanılmış olduğunu belirtir ve bunu onurumla doğrularım.

.../.../.....

Ali Haydar BALKAYA

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

Kaynak Kısıtlı Proje Çizelgeleme Problemlerinin Genetik Algoritma Yaklaşımıyla Optimizasyonu

Ali Haydar BALKAYA

Dokuz Eylül Üniversitesi

Sosyal Bilimler Enstitüsü

Ekonometri Anabilim Dalı

Ekonometri Programı

Küreselleşme olgusunun tüm dünyada etkisini gösterdiği bu günlerde, zaman en önemli rekabet aracı haline gelmiştir. Kalite, estetik, maliyet ve miktar unsurlarına yönelik oluşan talep, bütün arz edenler tarafından benzer şekilde karşılanabilmektedir. Bu nedenle rekabetin var olduğu ortamlarda avantajı sağlamak amacıyla arz edenler zamanı optimize etmeye çalışmaktadır.

Zamanı optimize etmeye yönelik olarak yapılan çalışmalar, kaynakların yetersizliği, işlemler arasındaki ilişki ve beklenen kalite gibi birçok farklı kısıt altında devam etmektedir. Konuya ilişkin yapılan birçok araştırmada; kısıtların, çözümler üzerindeki etkileri görülmüş ve bu nedenle probleme mahiyetini daha iyi ifade edebilecek yeni bir isim verilmiştir. Kaynak kısıtlı proje çizelgeleme yada kaynak kısıtlı projelerde optimizasyon olarak konu üzerinde birçok farklı araştırma yapılmıştır. Son zamanlarda problemin çözümüne yönelik olarak çalışan bilim insanları, ağırlıklı olarak ileri sezgisel yöntemlerden yararlanmaktadır.

Bu çalışmada da problemin çözümüne yönelik olarak; ileri sezgisel yöntemlerden yararlanılacaktır. Çözüme kadar geçen süreçte öncelikle çizelgeleme, planlama ve proje gibi problemin temelini oluşturan kavramlara değinilecek, daha sonra problemin çözümüne yönelik olarak önerilmiş çözüm yöntemleri irdelenecektir. Çözüm yöntemleri incelendiğinde ileri sezgisel yöntemlerin, problemin mahiyetine en iyi uyumu sağladığı ve bu nedenle en iyi çözüm sonuçlarının bu yöntemlerle elde edilebileceği görülecektir. Genetik algoritmalar, yapay sinir ağları, karınca kolonisi,

tabu arama gibi birçok farklı sezgisel yöntemin, probleme yönelik optimal sonuçlar verdiği yapılan bir çok farklı çalışmada görülmektedir.

Anahtar Kelimeler: Çizelgeleme, proje, kaynak kısıtlı proje çizelgeleme, ileri sezgisel optimizasyon yöntemleri, genetik algoritmalar

ABSTRACT

Master Thesis

Project Scheduling Problems's Optimization With Genetic Algorithm Approach

Ali Haydar BALKAYA

Dokuz Eylul University

Institute of Social Sciences

Department of Econometrics

Econometrics Program

Time has become the most important competition tool in these days when globalization shows its effects all over the world. Demand which arises towards such factors as quality, aesthetics, expenditure and quantity can be similarly met by all the suppliers. Therefore, the suppliers are optimizing time in order to have the advantage in the environments where competition exists.

The works carried out to optimize time continue under many different limitations like resource shortage, relation among the transactions and the expected quality. In many studies done concerning the topic, the effects of constraints over the solutions were seen and the problem was given a new name which could express its essence better. Many different studies have been carried out related to the topic as source-limited project scheduling or optimization in source-limited projects. The scientists who are working on solving the problem have lately made use of, predominantly, advanced intuitive methods.

Advanced intuitive methods will be used in this study, too in order to solve the problem. In the process till the solution, primarily, such concepts as scheduling, planning and project which form the basis of the problem will be mentioned and later, solution methods which have been offered to solve the problem will be examined. When the solution methods are analysed, it will be seen that advanced intuitive methods fit the essence of the problem the best and thus the best solution results will be gained through these methods. The fact that many different intuitive methods like genetic algorithms, artificial neural networks, ant colony, and taboo search give optimal results

concerning the problem is seen in many different studies done.

Key Words: Scheduling, project, Resource Constrained Project Scheduling Problem, advanced intuitive optimization methods, genetic algorithms

İÇİNDEKİLER

KAYNAK KISITLI PROJE ÇİZELGELEME PROBLEMLERİNİN GENETİK ALGORİTMA YAKLAŞIMIYLA OPTİMİZASYONU

TEZ ONAY SAYFASI	II
YEMİN METNİ	III
ÖZET	IV
ABSTRACT	VI
İÇİNDEKİLER	VIII
TABLOLAR LİSTESİ	XII
ŞEKİLLER LİSTESİ	XIII

BİRİNCİ BÖLÜM

1. GİRİŞ.....	3
---------------	---

İKİNCİ BÖLÜM

2. KAYNAK KISITLI PROJE ÇİZELGELEME PROBLEMLERİ	3
2.1. Proje Çizelgeleme Probleminin Bileşenleri	4
2.1.1. Faaliyetler	4
2.1.2. Öncülük İlişkileri	4
2.1.3. Kaynaklar	5
2.1.4. Amaç Fonksiyonu	6
2.1.5. Kısıtlar	6
2.2. Proje Çizelgeleme Problemlerinin Ağ Üzerinde Gösterilmesi	7
2.3. Projelerde Kaynak - Faaliyet İlişkileri	8
2.4. Kaynak Kısıtlı Proje Çizelgeleme Probleminin Tanımı	10
2.5. Kaynak Kısıtlı Proje Çizelgeleme Problemlerinin Sınıflandırılması	11
2.5.1. Tek Modlu Kaynak Kısıtlı Proje Çizelgeleme Problemleri	12
2.5.2. Çok Modlu Kaynak Kısıtlı Proje Çizelgeleme Problemi	13

2.5.3. Düzensiz Amaç Fonksiyonuna Sahip Kaynak Kısıtlı Proje Çizelgeleme Problemleri	15
2.5.4. Stokastik Yapılı Kaynak Kısıtlı Proje Çizelgeleme Problemleri	16
2.5.5. Kaynak Kısıtlı Birden Çok Projenin Çizelgenmesi Problemi	17
2.5.6. Çok Amaçlı Kaynak Kısıtlı Proje Çizelgeleme Problemleri.....	18

ÜÇÜNCÜ BÖLÜM

3. KAYNAK KISITLI PROJE ÇİZELGELEME PROBLEMLERİNE ÇÖZÜM

YAKLAŞIMLARI	20
3.1. Kesin Çözüm Yöntemleri.....	21
3.2. Stokastik Çözüm Yöntemleri	23
3.3. Sezgisel Çözüm Yöntemleri.....	24
3.3.1. Öncelik kurallarına dayalı tek çözüm üreten sezgisel yöntemler.....	25
3.3.2. Çok Çözüm Üreten Sezgisel Yöntemler	27
3.3.3. İleri Sezgisel Çözüm Yöntemleri	29
3.3.3.1. Tabu Arama Yöntemi	29
3.3.3.2. Tavlama Benzetim Yöntemi	31
3.3.3.3. Genetik Algoritma Yöntemi	33
3.3.3.4. Karınca Kolonisi Yöntemi	38
3.3.3.5. Dağınık Arama (scatter search) Yöntemi	40
3.3.3.6. Yapay Sinir Ağları	41
3.3.3.7. Örneklem Kümeleme	43
3.3.4. Diğer Sezgisel Yöntemler.....	45
3.3.4.1. Yerel Kısıt Analizi	45
3.3.4.2. Yerel Arama.....	45
3.3.4.3. Budanmış Dal-Sınır Yöntemi	46
3.3.4.4. Ayırkaç Ayırt Yöntemi	46

DÖRDÜNCÜ BÖLÜM

4. GENETİK ALGORİTMALAR	47
4.1. Genetik Algoritmaların Özellikleri	48
4.2. Genetik Algoritmaların Çalışma Prensipleri	51
4.3. Genetik Algoritmaların Çalışma Adımları	52
4.3.1 Uygun çözümün tanımlanması	52
4.3.1.1 Kodlama yöntemleri	53
4.3.1.1.1 İkili Kodlama	53
4.3.1.1.2 On Tabanlı Kodlama	53
4.3.1.1.3 Permütasyon Kodlama	54
4.3.1.1.4 Değer kodlama	54
4.3.1.1.5 Ağaç Kodlama	56
4.3.2 Genetik Algoritma Sayı Sistemi	56
4.3.2.1 Hane	56
4.3.2.2 Gen	57
4.3.2.3 Kromozom	57
4.3.2.4 Toplum	58
4.3.3 Değişkenler, kısıtlar ve amaç fonksiyonunun belirlenmesi	58
4.3.3.1 Başlangıç Toplumunun belirlenmesi	58
4.3.3.2 Uygunluk değerinin hesaplanması	59
4.3.4. Genetik Operatörlerin Uygulanması	60
4.3.4.1 Yeniden Üretim İşlemi	60
4.3.4.1.1 Rulet Tekerleği	60
4.3.4.1.2 Rank Seçim Yöntemi	61
4.3.4.1.3 Yerine Koymadan Stokastik Örnekleme	62
4.3.4.1.4 Kalanı Stokastik Örnekleme	62
4.3.4.1.5 Stokastik Evrensel Örnekleme	63
4.3.4.1.6 Turnuva Seçim Mekanizması	63
4.3.4.1.7 Sıralı Seçim Mekanizması	64
4.3.4.1.8 Global Elitizm ve Yerel Elitizm	64
4.3.4.1.9 Kalabalıklaştırma	64

4.3.4.2 Çaprazlama	65
4.3.4.2.1 Tek Kesimli Çaprazlama.....	67
4.3.4.2.2 Çift kesimli çaprazlama.....	68
4.3.4.2.3 Çok kesimli çaprazlama	68
4.3.4.2.4 Tekdüze (üniform) çaprazlama.	69
4.3.4.2.5 Tersleme	69
4.3.4.2.6 Karıştırmalı çaprazlama	69
4.3.5 Bitirme Koşulu	71
4.4 Şema Teoremi	72
4.5 Kontrol parametreleri	73
4.6 Genetik Algoritma Uygulama Örneği	75
4.7 Genetik Algoritmaların Performansını Etkileyen Etmenler.....	77
4.8 Genetik Algoritmaların Uygulama Alanları.....	79

BEŞİNCİ BÖLÜM

5.1 Uygulama Probleminin Tanımı.....	80
5.2 Probleme İlişkin Çözüm Yöntemi.....	83
5.3 Problemin Çözümü.	91

ALTINCI BÖLÜM

6. SONUÇ	100
KAYNAKÇA.....	102

TABLULAR LİSTESİ

Tablo 1: Dinçlik değerlerinin hesaplanması	76
Tablo 2: Projeyi oluşturan faaliyetler ve faaliyetlere ilişkin süreler	81
Tablo 3: Projeyi oluşturan faaliyetlerin içermiş oldukları alt işlemler	82
Tablo 4: Faaliyetlerin kaynak ihtiyaçları	82
Tablo 5: Kaynak miktarları	83
Tablo 6: Programın ara yüzü	91
Tablo 7: Faaliyetlerin tanımlanması	92
Tablo 8: Kaynakların tanımlanması	92
Tablo 9: Faaliyetlerin kaynak ihtiyacı	93
Tablo 10: Faaliyetler arası öncülük ilişkileri	93
Tablo 11: Faaliyetlerin kaynak ihtiyacı	94
Tablo 12: Sonuç Çıktısı-1	95
Tablo 13: Genetik operatörlerin tanımlanması-2	95
Tablo 14: Sonuç Çıktısı-2	96
Tablo 15: Genetik Operatörlerin tanımlanması-3	96
Tablo 16: Sonuç çıktısı-3	97
Tablo 17: Sonuç grafiği-1	97
Tablo 18: Kaynakların revize edilmesi	98
Tablo 19: Sonuç çıktısı-4	98
Tablo 20: Sonuç grafiği-2	99

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 1: Faaliyetlerin Oklar Üzerinde Gösterilmesi	7
Şekil 2: Faaliyetlerin Düğümler Üzerinde Gösterilmesi	8
Şekil 3: Optimizasyon Yöntemlerinin Sınıflandırılması	20
Şekil 4: Yapay Sinir Ağlarının Matematik Gösterimi	41
Şekil 5: Yapay Sinir Ağlarında Girdi-Çıktı Arasındaki İlişki	42
Şekil 6: Genetik Algoritmaların İşleyişi-1	51
Şekil 7: Genetik Algoritmaların İşleyişi-2	52
Şekil 8: Permütasyon Kodlama İçin Kromozon Örneği	55
Şekil 9: Değer Kodlama İçin Kromozon Örneği	55
Şekil 10: Ağaç Kodlama İçin Kromozon Örneği	56
Şekil 11: Rulet Tekerleği Seçimi	61
Şekil 12: Rank Seçimi Yöntemi-1	61
Şekil 13: Rank Seçimi Yöntemi-2	62
Şekil 14: Çaprazlama Operasyonu	66
Şekil 15: FG tipi tek blok CPM şebekesi	84
Şekil 16: Örnek proje serimi	85
Şekil 17: Çok modlu proje programlamada kromozomların oluşturulması	86
Şekil 18: Tek noktalı basit çaprazlama operasyonu	89
Şekil 19: Proje programlamada mutasyon operasyonu	89
Şekil 20: Çözüm metodu akış diyagramı	90

BİRİNCİ BÖLÜM

1. GİRİŞ

20. yüzyılın başından itibaren dünya teknolojik açıdan büyük ilerleme göstermiştir. İnsan ihtiyaçlarında meydana gelen değişim bu ilerlemenin en temel nedenidir. Bilim insanlarının, insan ihtiyaçlarını karşılaya yönelik yapmış oldukları çalışmalarda, kaynakların kısıtlı olması en temel sorundur. Yüzyıllardır canlı türlerinde yaşanan artışa rağmen kaynakların hep sabit kalması, kaynak optimizasyonunu en temel sorun haline getirmiştir.

Birçok bilim insanı tarafından yapılan çalışmada, kaynak israfını önlemede sistem kavramının en temel yöntem olduğu vurgulanmıştır. Proje yönetimi, ilişkili işlemler arasında sistem kavramının oluşturulması amacıyla geliştirilmiştir. Kaynak kısıtlı projeler, günümüz koşullarında en yaygın olarak karşılaşılan proje türüdür. Kaynak kısıtlı proje çizelgeleme problemlerinin temelinde; faaliyetler, ilişkiler, kaynaklar ve amaç fonksiyonu yatmaktadır. Bu çalışmadaki temel amaç, faaliyetler arasındaki ilişkileri temel alarak mevcut kaynak kısıtı altında amaç fonksiyonunu optimize etmektir.

Çalışmanın ilk bölümünde kaynak kısıtlı proje çizelgeleme problemleri ele alınmıştır. Bu aşamada, proje çizelgeleme kavramının ne ifade ettiği, proje çizelgeleme problemlerinin temel bileşenlerinin neler olduğu ve kaynak kısıtlı proje çizelgeleme problemlerinin türlerinin ne olduğu üzerine detaylı bilgi verilmiştir. Ele aldığımız problemin göstermiş olduğu özelliklerin neler olduğunu bilmek, problemin çözümüne yönelik optimizasyon çalışmalarında en önemli adımı oluşturmaktadır.

Probleme yönelik tanımlamaların yapılmasından sonra optimum çözüme ulaşmak için hangi çözüm yönteminin kullanılması gerektiği sorusu karşımıza çıkmaktadır. Kaynak kısıtlı proje çizelgeleme problemlerinin çözümünde farklı birçok yöntem kullanılmaktadır. Çalışmanın 2. bölümünde bu yöntemlerin neler olduğu açıklanmıştır. Sezgisel yöntemler son dönemde en çok kullanılan çözüm yöntemi olarak karşımıza çıkmaktadır. Sezgisel yöntemlerin çalışma mantığında

doğa olaylarının yer alması, hem birçok farklı problem türüne uyumu hem de optimum çözüme en yakın sonuçların alınmasını sağlamaktadır.

Genetik algoritmalar literatürde en çok kullanılan sezgisel yöntemlerin başında gelmektedir. Temelleri C. Darwin'in Evrim Teorisine dayanmakta olan genetik algoritmalar, birçok farklı bilim dalında optimum çözüme ulaşmak amacıyla çözüm yöntemi olarak kullanılmaktadır. Çalışmanın 3. bölümünde genetik algoritmaların gelişimine, çalışma mantığına ve literatürde ağırlıklı olarak hangi bilim dallarında kullanıldığına yer verilmiştir.

Ülkemizde genetik algoritmalar üzerine yapılan çalışmaların ağırlıklı olarak inşaat sektörü ve proje yönetimi üzerinde yoğunlaştığı tespit edilmiştir. Çalışmanın teorik kısmında ele aldığımız konular, uygulama bölümünde pratiğe dönüştürülmüştür. Uygulama bölümünde, Antalya ilinde yapımı tamamlanmış TOKİ Projesinin genetik algoritma yöntemi ile optimizasyonu amaçlanmıştır. Çözüme yönelik elde edilen bulgular sonuç bölümünde değerlendirilerek, literatüre yapmış olduğu katkılar irdelenmiştir.

İKİNCİ BÖLÜM

2. KAYNAK KISITLI PROJE ÇİZELGELEME PROBLEMLERİ

Günümüz ekonomik koşulları altında rekabet her ortamda giderek artmış ve çok boyutlu bir hal kazanmıştır. Sadece kalite ve uygun fiyat, rekabet edebilirlik için yetersiz hale gelmiştir. Moda kavramının giderek önem kazandığı son yıllarda ürünü tüketiciye doğru zamanda sunmak en önemli etkenlerden biri haline gelmiştir. Bu amaçla bu kriterlerin hepsini aynı anda sağlayabilmek için bir dizi çalışmalar yapılmıştır. Planlama, çizelgeleme, proje yönetimi vb. birçok kavram bu amaç için geliştirilmiş ve kullanılmıştır.

Proje yönetimi kavramı, planlama ve çizelgeleme kavramlarının aynı anda çalıştırılmasına yönelik olarak geliştirilmiş bir kavramdır. Yönetimin organizasyon, kaynak sağlama, kontrol gibi işlevlerini kullanarak, yine yönetimin belirlemiş olduğu amaç fonksiyonunu optimize etmek için çalışan bu kavram, özellikle son yıllarda yapılan çalışmalarla giderek geliştirilmiştir.

Proje yönetiminin temel olarak planlama ve çizelgeleme kavramlarının bütünleştirilmesi olduğunu belirtmiştik. Bir projeye yönelik olarak geliştirilen planlama ve çizelgeleme modelleri daima belirli kısıtlar altında oluşturulur ve bu kısıtlar altında proje optimize edilmeye çalışılır. Kısıtlı kaynaklar altında çalışan bu projelere kaynak kısıtlı projeler adı verilir. Günümüzde hemen hemen bütün projeler kaynak kısıtlı proje çizelgeleme problemine örnek teşkil etmektedir.

Çalışmanın bu bölümünde kaynak kısıtlı proje çizelgeleme probleminin kısa bir biçimde tanımlanmasına ve bu tür problemlerin çözümünde hangi yöntemlerin kimler tarafından geliştirildiğine yer verilecektir.

2.1. Proje Çizelgeleme Probleminin Bileşenleri

2.1.1. Faaliyetler

Faaliyetler bir projenin bölünemez parçalarıdır. Proje çizelgelemeye yönelik çalışmalarda faaliyet kavramının iş, görev ve operasyon kavramları ile eşanlamli kullanıldığı görülmüştür. Bir projenin bitirilmesi için çizelgeleme üzerinde tanımlanmış olan bütün faaliyetlerin bitirilmiş olması gerekmektedir. Faaliyetlerin tamamlanmasına yönelik kaynak, süre ve nakit akışı kısıtları vardır (Kılıç, 2003:2).

2.1.2.Öncülük İlişkileri

Proje çizelgeleme problemleri, birbiri ile ilişkili olan bir takım faaliyetlerin, belirli kaynak ve zaman kısıtı altında proje süresini minimize edecek şekilde tamamlanmasını içerir. Faaliyetler arası bu ilişkiler öncüllük ve ardıllık olarak ifade edilir. Öncüllük kavramı bir faaliyetin başlaması için bir başka faaliyetin bitmesi gereğini ifade eder. Öncül faaliyetler diğer faaliyet veya faaliyetlerin başlaması için tamamlanması gereken faaliyetlerdir. Ardıl faaliyetler ise bir veya daha fazla faaliyetin bitişini takiben başlatılabilen faaliyetleri ifade eder.

Öncüllük ilişkileri, zaman bazında faaliyetler arasındaki başlangıç-bitiş ilişkilerini belirler. Bir faaliyet, kendisinden önce gelen faaliyetlerin hepsi bitmeden başlayamaz. Ancak uygulamada farklı durumlar söz konusu olabilmektedir. Örneğin, eş zamanlı (concurrent) tasarım faaliyetlerinde proje süresini kısaltmak için bazı faaliyetlerin kısmen paralel yürütülmesi istenir. Bunun gibi değişik durumları modelleyebilmek için genelleştirilmiş öncüllük ilişkileri (generalized precedence relations) tanımlanmıştır. Bunlar; Başlangıç-Bitiş (Start-Finish, SF), Başlangıç-Başlangıç (Start-Start, SS), Bitiş-Bitiş (Finish-Finish, FF) ve Bitiş-Başlangıç (Finish-Start, FS) tipi öncüllük ilişkileridir. Bütün bu öncüllük ilişkileri için geçerli olmak üzere, en az bekleme süresi (minimal time lag) ve en çok bekleme süresi (maximal time lag) tanımlanabilir. Örneğin, bir faaliyetin başlaması için diğer bir faaliyetin en azından belirli bir süre önce başlamış olması isteniyorsa, bu bir SS ilişkisidir ve en az bekleme süresi ile modellenir (Erdal, 2007: 7).

2.1.3. Kaynaklar

Proje bitiş süresi boyunca faaliyetlerin tamamlanmasına yönelik olarak tahsis edilen materyal, para, insan gücü ve enerji gibi kavramların hepsi kaynakları ifade eder. Proje çizelgeleme problemlerinin tanımlı olduğu günden beri kaynaklar problem içinde önemli bir yapıya sahiptir (Kılıç, 2003:3).

Herhangi bir kaynağın kullanım değerine ilişkin bir kısıtın olduğu proje çizelgeleme problemleri kaynak kısıtlı proje çizelgeleme problemleri olarak adlandırılır. Günümüz koşullarında en çok karşılaşılan problemler bu yapıya sahiptir. Kaynaklar yapıları itibari ile 4 sınıfta incelenmektedir; yenilenebilir kaynaklar, yenilenemez kaynaklar, çift yönden kısıtlı kaynaklar ve kısmen yenilenebilir kaynaklar (Kılıç, 2003:3).

Yenilenebilir kaynakları, birim zaman içindeki toplam kullanım miktarı kısıtlı olmakla birlikte, kullanım ile tükenmeyen kaynaklar olarak tanımlayabiliriz. Belirli bir faaliyet çerçevesinde kullanıldıktan sonra faaliyet sona erince tekrar kullanıma hazır duruma gelirler. Bu kaynaklara örnek olarak iş makineleri verilebilir.

Yenilenemez kaynaklar ise kullanıldıklarında tüketilirler. Yenilenemez kaynakların proje süresi boyunca kullanılabilir toplam miktarı üzerinde kısıt vardır. Bu duruma örnek olarak çimento, demir vb. kaynaklar verilebilir.

Bir kaynağın hem bir zaman birimi içinde kullanım miktarı, hem de proje süresi boyunca toplam tüketimi üzerinde kısıt olması durumunda bu kaynak çift yönden kısıtlı kaynak olarak nitelendirilir. Örneğin para çift yönden kısıtlı bir kaynak olabilir; zaman birimi içindeki harcama miktarı kısıtlı olabileceği gibi, proje süresince toplam harcama miktarı da kısıtlı olabilir (Erdal, 2007: 6)

Kısmen yenilenebilir kaynaklar ise hazırlanmış olan proje çerçevesi nedeniyle bazı kaynakların kullanım miktarının kısıtlı olması durumudur. Basit bir örnek ile açıklamak gerekirse, proje planı çerçevesinde işçilerle haftalık olarak belirli bir çalışma saati karşılığında kontrat yapılması verilebilir. Bu örnekte ele alınan kaynak hem yenilenebilir hem de yenilenemez kaynaklara örnek teşkil etmektedir (Kılıç, 2003:4).

Kaynakların sınıflanmasına yönelik olarak yapılan başka bir tanımlamada ise kaynaklar ayrık ve sürekli olmak üzere iki gruba ayrılmıştır. Ayrık kaynaklar sınıfına iş makinesi, bilgisayara gibi adet olarak sayılabilen bölünebilir kaynaklar girerken, sürekli kaynaklar sınıfına elektrik enerjisi gibi bölünemez kaynaklar girmektedir (Erdal, 2007:6).

2.1.4. Amaç Fonksiyonu

Proje çizelgeleme problemlerinde karar vericiler için önemli olan nokta amaç fonksiyonunun optimize edilmesidir. Literatürde konu ile ilgili yapılan çalışmalarda farklı amaç fonksiyonları optimize edilmeye çalışılmıştır. Zaman ve kaynak kavramının son yıllarda giderek daha kısıtlı bir hal alması ve paranın zaman değerinin daha iyi anlaşılması sonucunda proje çizelgeleme problemlerine ait amaç fonksiyonları daha karmaşık bir yapıya dönüşmüştür. Bu doğrultuda karar vericiler aynı anda birden fazla durumu optimize etmeye çalışmışlardır. Çalışmalarda yaygın olarak kullanılan amaç fonksiyonlarını şu şekilde sıralanabilir.

- Proje tamamlanma süresinin minimize edilmesi
- Projenin net bugünkü değerinin optimize edilmesi
- Kaynak kullanım düzeyinin düzenliliğinin optimize edilmesi
- Nakit akışlarının net bugünkü değerinin optimize edilmesi
- Proje maliyetinin minimize edilmesi

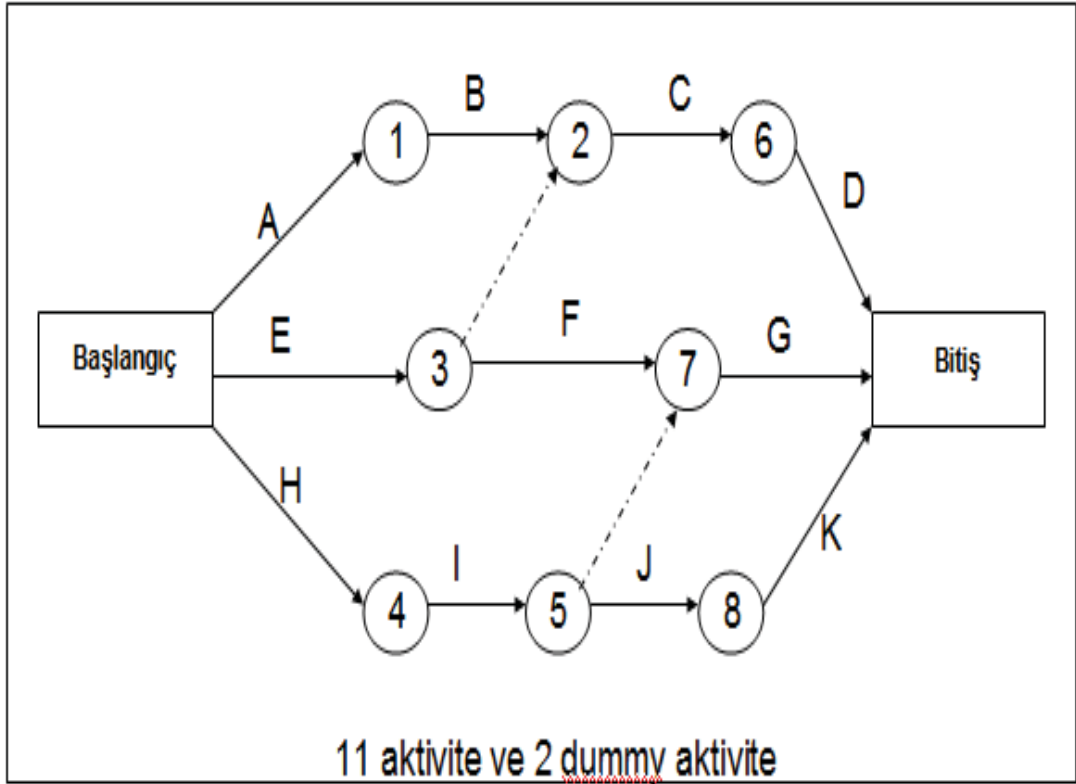
2.1.5. Kısıtlar

Projelerde kaynakların yapılması gereken işlemlere aktarılması ve faaliyetler arasındaki ilişkiler bir takım kısıtların doğmasına neden olur. Kısıtlar projelerin belirlenen zaman ve maliyet düzeyinde gerçekleşmesi yönünde aşılması gereken en önemli engellerdir. Bir projede belirli bir zaman aralığında yapılması gereken işlerde ihtiyaç duyulan işçi sayısı, projede var olan toplam işçi sayısının kısıtı altındadır. Faaliyetler açısından bakıldığı zaman, herhangi bir faaliyetin başlayabilmesi, bu faaliyetin öncülü olan faaliyetlerin bitmesi kısıtı altındadır. Kaynak kısıtları ve faaliyet öncülükleri gibi projeye ait özelliklerin birleşmesi projenin süresi boyunca uyulması gereken kısıtları ortaya çıkarır.

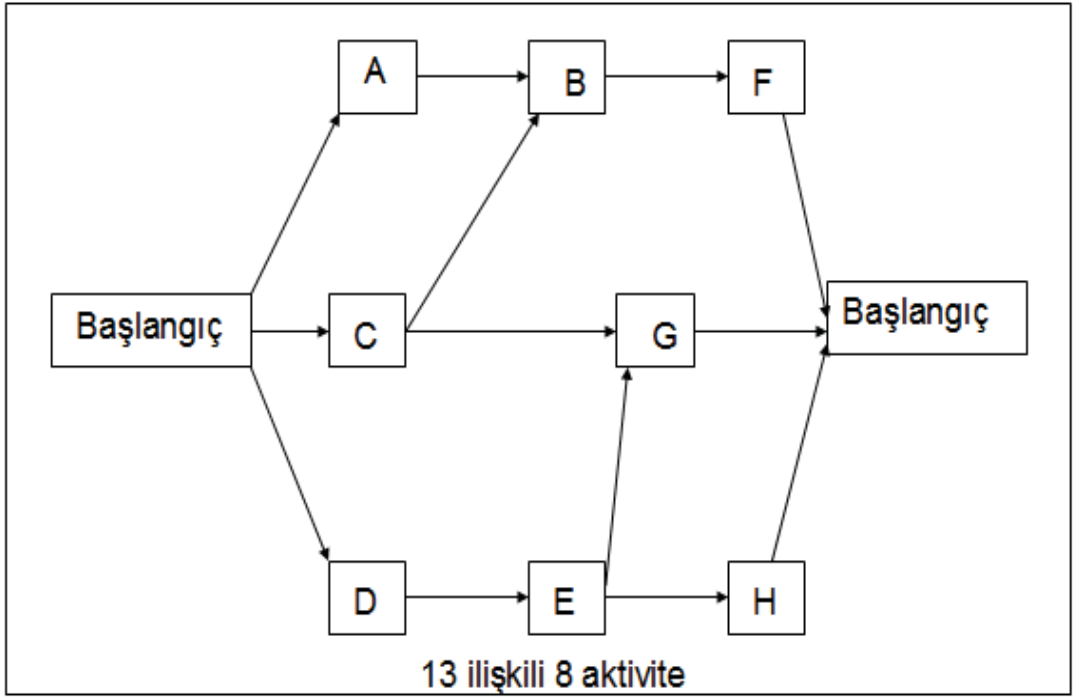
2.2. Proje Çizelgeleme Problemlerinin Ağ Üzerinde Gösterilmesi

Literatürde proje ağlarını göstermek amacıyla iki farklı gösterim kullanılmaktadır. Bunlardan ilki faaliyetlerin düğüm üzerinde gösterilmesi (AON), diğeri ise faaliyetlerin oklar üzerinde (AOA) gösterilmesidir. Bu iki gösterim öncelik ilişkileri ve faaliyetlerin gösterimi bakımından birbirlerinden ayrılırlar (Hafizoğlu, 2007:4)

Her iki gösterimde de bir başlangıç ve bitiş noktası olması zorunludur. Eğer verilen problemde başlangıç ve bitiş düğümü tanımlanmadı ise, yapay başlangıç ve bitiş düğümleri tanımlanmalıdır (Ulusoy,2000:5). Yapay başlangıç ve bitiş düğümlerinin faaliyet sürelerinin sıfır ve hiçbir kaynağı kullanmadığı varsayılır. Kullanılan yöntem ne olursa olsun bir faaliyetin başlaması için bütün öncül faaliyetlerinin tamamlanmış olması gerekir (Paksoy, 2007:79).



Şekil 1. Faaliyetlerin oklar üzerinde gösterilmesi (Solomon,2006,4)



Şekil 2. Faaliyetlerin düğümler üzerinde gösterilmesi (Solomon,2006:4).

Faaliyetlerin oklar üzerinde gösterildiği durumlarda kukla faaliyetler kullanılabilir fakat düğüm üzerinde gösterildiği durumlarda bu kullanıma ihtiyaç duyulmaz (Burke, 2005:74).

Proje çizelgeleme probleminde öncelik ilişkilerini tanımlarken ardıl (halef) ve öncül (selef) kavramlarını kullanırız (Hafizoğlu, 2007:5). Eğer bir projede F faaliyetinin başlaması için B faaliyetinin tamamlanması gerekiyorsa, B faaliyeti F faaliyeti için öncül faaliyet, F faaliyeti de B faaliyeti için ardıl faaliyettir. Şekil 2. de açık bir şekilde görülmektedir ki B faaliyeti F faaliyeti için öncül, A faaliyeti için ardıl bir faaliyettir.

2.3. Projelerde Kaynak - Faaliyet İlişkileri

Bir faaliyetin gerçekleştirilme süresi ile kullanılan kaynaklar arasında bir ilişki vardır. Genel olarak, birim zaman içinde daha çok kaynak kullanımının maliyeti yükseltmesi, faaliyet süresini ise azaltması beklenir. Bu öngörüden hareketle, bu uygulamayı maliyet-süre ödünleşimi (time-cost trade-off) şeklinde modelleyebiliriz. Kullanılan kaynağın ayrık veya sürekli olmasına bağlı olarak maliyet-süre ödünleşimi, ayrık veya sürekli bir işlev olarak ifade edilebilir. Ayrık

işlev durumunda, işlevin her bir maliyet-süre çiftine karşı gelen noktası bir mod olarak nitelendirilir. Bir veya daha fazla sayıda faaliyetli birden fazla moda sahip proje çizelgeleme problemleri çok modlu (multi-mode) problemler olarak nitelendirilirler. Diğer bir ödünleşim türü kaynaklar arasındaki ödünleşimdir (resource-resource trade-off). Burada bir faaliyetin süresi sabittir ancak değişik kaynakların farklı kullanımları söz konusudur. Örneğin bir kanal açma faaliyetinin bir kazı makinesi, bir operatör ve iki düz işçi yerine aynı süre içinde on altı düz işçi tarafından yapılması gibi. Proje yönetiminin uygulamalarında genellikle birden fazla projenin aynı kaynak havuzundan yararlanılarak yönetimi söz konusudur. Bu tür problemler, çok projeli (multi-project) çizelgeleme problemleri olarak nitelendirilirler (Ulusoy, 2000:5).

Makine çizelgeleme ve kuyruk problemlerinin sembolik gösteriminden esinlenilerek proje çizelgeleme problemlerinin de sembolik gösterimi için iki öneri geliştirilmiştir. Bunlardan bir tanesi Herroelen vd. (Herroelen, Wit,1990, 110;Erdal,2007;5) diğeri ise Brucker vd. tarafından önerilmiştir.

Bu iki öneriden sadece Herroelen vd.'nin önerisi üzerinde kısaca durulmuş ve örnekler verilmiştir. Sembolik gösterim üç alandan oluşmaktadır: a/b/c. Burada, a alanı kaynak karakteristiklerini, b alanı faaliyet karakteristiklerini ve c alanı performans ölçütlerini göstermektedir. Aşağıda bazı örnekler sunulmuştur. İlk iki örnekte kaynak kısıtı olmadığından birinci alan yer almamıştır.

- $C_{pm}, c_j / npv =$ Kaynak kısıtsız bir ortamda net bugünkü değer maksimizasyonu problemi.
- $Min, c_j / npv =$ Kaynak kısıtsız ve en az bekleme süresi olan bir ortamda net bugünkü değerinin maksimizasyonu problemi.
- $M,1 / c_{pm}, c_j / npv =$ Yenilenebilir kaynak kısıtlı bir ortamda net bugünkü değer maksimizasyonu problemi
- $M,1 / c_{pm} / C_{max} =$ Tek modlu kaynak kısıtlı proje çizelgeleme problemi.
- $M,1 / g_{pr} / C_{max} =$ Genelleştirilmiş öncülük ilişkileri altında kaynak kısıtlı proje çizelgelendirme problemi (Ulusoy, 2000:6).

2.4. Kaynak Kısıtlı Proje Çizelgeleme Probleminin Tanımı

Literatürde proje çizelgeleme üzerine yapılan çalışmalar incelendiğinde, planlama ve çizelgeleme kavramlarının genel olarak benzer tanımlamalarla ifade edildiği görülecektir. Fakat bu iki kavram birbirlerinden tamamen farklıdır. Çizelgeleme kavramı temel olarak faaliyetler için kaynak tahsisini ifade ederken, planlama kavramı, proje veya süreç modelinin yapısı ile amaç ve kaynak fonksiyonlarının tanımlanmasını ifade eder (Wall, 1996:11). Bu bilgiler doğrultusunda kaynak kısıtlı proje çizelgeleme problemine ait ilk temel tanımlamayı, projeye ait planın tasarlanması ve tasarlanan bu planın hazırlanmış olan çizelgeye göre yürütülmesi şeklinde yapabiliriz. Yapılan tanımlamadan açık bir şekilde görülmektedir ki planlama ve çizelgeleme kavramları aynı şeyi ifade etmemektedir, fakat bir projeyi gerçekleştirmek için iç içe girmiş bir şekilde birlikte çalışma ihtiyacı duymaktadırlar. Burada bilinmesi gereken önemli nokta, çizelgeleme algoritmasının başarıya ulaşması için problem tanımlamasının ve formülasyonunun iyi yapılması gerektiğidir (Wall, 1996:11).

Proje çizelgeleme problemlerinde kaynaklar ve zamanın yapısına bağlı olarak farklı türde tanımlamalar vardır. Bir proje çizelgeleme probleminde; süre sınırlı-kaynak serbest, süre serbest – kaynak sınırlı ve her ikisinin de sınırlı olduğu durumlar söz konusudur. Günümüz çalışma koşullarında sürenin ve kaynağın sınırsız olduğu bir proje ile karşılaşmak son derece güçtür. Bu sebeple ele alınan projeler genel olarak, kısıtlı kaynak altında amaç fonksiyonunu optimuma ulaştırmayı amaçlarlar.

Kaynak kısıtlı proje çizelgeleme problemi, kısıtlı kaynaklar kullanılarak bir projeyi oluşturan faaliyetlerin, öncülük ilişkilerini ihlal etmeden amaç işlevini optimum yapacak şekilde çizelgelenmesidir.

Problemin tanımına esas teşkil eden varsayımları belirtmek gerekirse:

- Faaliyet süreleri deterministiktir.
- Faaliyetlerin birim zamandaki kaynak kullanımını sabittir.
- Bir faaliyete atanan kaynak faaliyet süresince o faaliyet tarafından kullanılır.

- Başlatılan faaliyetler kesintisiz bitirmek zorundadır; ara verilemez.
- Faaliyetler iptal edilemez. Proje ağındaki her faaliyet gerçekleştirilmek zorundadır.

Bu varsayımların bazıları kaldırılarak daha farklı problem tanımlarına gitmek mümkündür. Örneğin, faaliyet sürelerinin rassal olmasına izin verilmesi durumunda araştırma-geliştirme projeleri gibi faaliyetlerinin içeriği tam olarak öngörülemeyen projeler için daha gerçekçi tanımlamalar yapılabilmektedir. Bir kaynağın aynı anda birden fazla faaliyete hizmet verdiği durumlar da söz konusudur (Ulusoy, 2000:4-5).

2.5. Kaynak Kısıtlı Proje Çizelgeleme Problemlerinin Sınıflandırılması

Kaynak kısıtlı proje çizelgeleme problemleri yapısı itibari ile daha önceden belirlenmiş olan amaçları gerçekleştirmeye yönelik olarak, kısıtlı kaynak veya kaynaklar kümesini, belirli iş veya görevlerin yerine getirilmesi amacıyla tahsis edilmesini içerir. Günümüzde karar vericilerin hedeflerine bağlı olarak ortaya çıkabilecek birçok amaç fonksiyonu mevcuttur. Minimum proje tamamlama süresini sağlamaya yönelik amaç fonksiyonları literatürde en çok karşılaşılan çalışmalardır.

Konu ile ilgili yapılan çalışmalarda, kaynak kısıtlı proje çizelgeleme problemlerinin birkaç farklı türü ele alınmıştır. Tek modlu kaynak çizelgeleme problemleri ile çok modlu kaynak çizelgeleme problemleri en çok tartışılan iki sınıf olarak karşımıza çıkmaktadır. Geniş bir açıdan konu ele alındığı zaman kaynak kısıtlı proje çizelgeleme problemlerinin 6 farklı sınıfa ayrıldığı görülmektedir.

- Tek modlu kaynak kısıtlı proje çizelgeleme problemleri
- Çok modlu kaynak kısıtlı proje çizelgeleme problemleri
- Düzensiz amaç fonksiyona sahip kaynak kısıtlı proje çizelgeleme problemleri
- Stokastik yapılu proje çizelgeleme problemleri
- Kaynak Kısıtlı Birden çok Projenin çizelgenmesi problemi (MRCPSP)
- Çok amaçlı kaynak kısıtlı proje çizelgeleme problemleri

2.5.1. Tek Modlu Kaynak Kısıtlı Proje Çizelgeleme Problemleri

Bu tür problemlerde amaç, tek bir projenin tamamlanma süresini minimize etmektir. Kaynak kullanımı tek modludur. Kaynak kısıtlı proje çizelgeleme problemlerinin en basit hali olan bu durumlarda, proje ağının oluşturulmasında faaliyetlerin düğümler üzerinde gösterilmesi (AON) modeli tercih edilmektedir. Bu modelin matematiksel programlama gösterimini ele alacak olursak (Ulusoy, 2000:6).

$$\min Z \quad \sum_{t=EFT_j}^{LFT_j} tX_{jt} \quad (1.1)$$

$$\sum_{t=EFT_j}^{LFT_j} tX_{jt} = 1; \quad j = 1, \dots, J \quad (1.2)$$

$$\sum_{t=EFT_i}^{LFT_i} tX_{it} = 1 - \sum_{t=EFT_j}^{LFT_j} (t - d_j)X_{jt}; \quad j = 2, \dots, J; \quad i \in P_j \quad (1.3)$$

$$\sum_{j=1}^J \sum_{t=1}^{d_j-1} k_{jr} X_{jt} \leq K_r; \quad r \in R; \quad t = 1, \dots, T \quad (1.4)$$

$$X_{jt} = \begin{cases} 1, & \text{eğer } j \text{ faaliyeti } t \text{ dönemi sonunda bitiyorsa} \\ 0, & \text{diğer durumlarda} \end{cases} \quad (1.5)$$

Kullanılan sembollerin tanımları aşağıda verilmiştir:

t = zaman indisi (t= 1,.....,T),

j = faaliyet indisi (j=1,.....,J),

R = yenilenebilir kaynaklar kümesi,

d_j = j faaliyetinin süresi,

P_j = j faaliyetinin öncüllerinin kümesi,

$EFT_j = j$ faaliyetinin en erken bitiş zamanı,

$LPT_j = j$ faaliyetinin en geç bitiş zamanı,

$k_{jr} = j$ faaliyetinin r kaynağından birim zaman kullanım miktarı,

$K_r = r$ yenilenebilir kaynağının birim zaman kullanım üst sınırı.

Eş. 2.1'in amaç işlevi, proje süresini minimize etmektedir. Eş. 2.2 kısıt kümesindeki her faaliyetin mutlaka çizelgelenmesini sağlar. Eş. 2.3, "j" faaliyeti ile bu faaliyetin öncülü olan "i" faaliyeti arasındaki öncüllük ilişkisinin yerine getirilmesini sağlar. Birim zaman başına kaynak kısıtı ise Eş. 2.4 ile gösterilmiştir. Eş. 2.5, $\{0,1\}$ değişkeni " x_{jt} "nin tanımıdır. Değişken adedini azaltabilmek amacı ile " x_{jt} " değişkeni $\{EFT_j, LFT_j\}$ zaman aralığında tanımlanmıştır. Bu zaman aralıkları, en iyi çözümü dışlamadan en dar şekilde değişken adedinin düşük tutulmasına katkıda bulunur (Erdal, 2007:11) .

2.5.2. Çok Modlu Kaynak Kısıtlı Proje Çizelgeleme Problemi

Çok modlu kaynak kullanımlı projeler üzerindeki ilk çalışmalar Elmaghraby (1977) tarafından yapılmıştır. Problemin tanımı, kaynak kısıtlı proje çizelgeleme probleminden sadece kaynak kullanımında birden fazla modun varlığına izin verilmesi ile farklılaşır (Ulusoy, 2000:13-14). Bu durumu bir örnekle açıklamak gerekirse, bir duvar işçisinin bir duvarı 10 iş gününde örmesi mod 1 olarak adlandırılırsa, aynı duvarı iki duvar işçisinin 5 günde örmesi mod 2 olarak adlandırılabilir. Örnekte basit bir şekilde anlatılmak istenen, toplam olarak 10 iş günü faaliyet süresi kapsayan bir işin farklı kaynak aktarımlarıyla farklı zamanlarda bitirilebileceğidir. Faaliyetlerin tamamlanması sürecinde kaynaklar, yenilenebilir ve yenilenemez olmak üzere 2 şekilde sınıflandırılabilir. Yenilenebilir kaynaklar zamana bağlı olarak kısıtlı olan kaynaklardır. Bu tür kaynakların faaliyetler tarafından kullanımı kısıtlı olmasına rağmen tükenmesi söz konusu değildir. Yenilenemeyen kaynaklar ise tüm proje süresince kısıt altında olan kaynaklardır (Paksoy, 2007: 85).

Problemin matematiksel gösterimini ele alacak olursak; mod indisi m kullanılarak değişken ve parametrelere mod boyutu eklenmiştir. Yenilenemez kaynakların matematiksel gösterimini örnekleme amacıyla aşağıdaki gösterime yenilenemez kaynaklar dahil edilmiştir (Ulusoy, 2000:14).

$$\text{Min} Z \sum_{t=EFT_j}^{LFT_j} tX_{j|t} \quad (2.1)$$

$$\sum_{m=1}^{M_j} \sum_{t=EFT_j}^{LFT_j} X_{jmt} = 1; \quad j = 1, \dots, J \quad (2.2)$$

$$\sum_{j=1}^J \sum_{m=1}^{M_j} \sum_{t=1}^{d_{jm}-1} X_{jmt} = K_r; \quad r \in R; \quad t = 1, \dots, T \quad (2.3)$$

$$\sum_{m=1}^{M_i} \sum_{t=EFT_i}^{LFT_i} tX_{imt} = \sum_{m=1}^{M_j} \sum_{t=EFT_j}^{LFT_j} (t - d_{jm})X_{jmt}; \quad j = 2, \dots, J; \quad i \in P_j \quad (2.4)$$

$$\sum_{j=1}^J \sum_{m=1}^{M_j} \sum_{t=EFT_j}^{LFT_j} X_{jmt} = K_r; \quad r \in R \quad (2.5)$$

$$X_{jmt} \in \{0,1\} \quad j = 1, \dots, J; \quad m = 1, \dots, M_j; \quad t = EFT_j, \dots, LFT_j \quad (2.6)$$

Kullanılan sembollerin tanımları aşağıda verilmiştir:

t = zaman indisi (t= 1, ..., T),

j = faaliyet indisi (j=1, ..., J),

R = yenilenebilir kaynaklar kümesi,

d_j = j faaliyetinin süresi,

P_j = j faaliyetinin öncüllerinin kümesi,

EFT_j = j faaliyetinin en erken bitiş zamanı,

$LPT_j = j$ faaliyetinin en geç bitiş zamanı,

$k_{jr} = j$ faaliyetinin r kaynağından birim zaman kullanım miktarı,

$K_r = r$ yenilenebilir kaynağının birim zaman kullanım üst sınırı,

$M_j = j$ faaliyetinin mod adedi,

$m = \text{mod}$ indisi ($m=1, \dots, M_j$),

$N = \text{yenilenemez kaynakların kümesi.}$

P2 probleminde, amaç fonksiyonu proje süresini minimize etmektir. P2.1 kısıt kümesi her faaliyetin mutlaka çizelgelenmesini sağlar. P2.2 kısıt kümesi ise yenilenebilir kaynakların birim zaman içinde kullanımlarının üst sınırını göstermektedir. Kısıt kümesi P2.3 ise, j faaliyeti ile bu faaliyetin öncülü olan i faaliyeti arasındaki öncülük ilişkisinin yerine getirilmesi gereğini ifade eder. P2.4 kısıt kümesi yenilenemez kaynakların birim zaman içinde tüketimlerinin üst sınırını gösterir. P2.5 ise $\{0,1\}$ değişkeni x_{jmc} 'nin tanımıdır. Karar değişkeni x_{jmc} 'nin üç indisli olması değişken adedini tek modlu gösterime göre büyük oranda arttırmaktadır. Bu nedenle, $[EFT_j, LFT_j]$ zaman aralıklarının optimum çözümü dışlamadan en dar şekilde tanımlı bu gösterimde daha da önem kazanmaktadır (Ulusoy, 2000:14).

2.5.3. Düzensiz Amaç Fonksiyonuna Sahip Kaynak Kısıtlı Proje Çizelgeleme Problemleri

Düzensiz amaç fonksiyonuna sahip problemlere yönelik çalışmalar son zamanlarda oldukça artmıştır. Bu problemlerde asıl amaç proje süresinin minimize edilmesinden ziyade;

- Projenin net bugünkü değerinin maksimize edilmesi,
- İndirgenmiş nakit akışlarının değerinin maksimize edilmesi,
- Proje süresince toplam kaynak tüketiminin minimize edilmesi,
- Kaynak kullanım düzeyinin düzenliliğinin maksimize edilmesidir.

Bahsettiğimiz bu amaç fonksiyonuna sahip problemlerde, bir faaliyetin tamamlanma süresi azaltıldığı zaman projenin amaç fonksiyonu değeri yükselir, fakat düzenli amaç fonksiyonuna sahip problemlerde bu durum söz konusu değildir. Düzenli amaç fonksiyonuna sahip problemlerde, örneğin proje süresinin minimize edilmesi, sadece bir faaliyete ait tamamlanma süresinin azaltılması amaç fonksiyonunun değerini minimize etmek için yeterli değildir.

Kaynak kısıtlı proje çizelgeleme problemlerinin bu sınıfında, amaç fonksiyonları genel olarak projenin finansal durumunu optimize etmeye çalışır. Finansal hususların kaynak kısıtlı proje çizelgeleme problemlerine dahil edilmesi çalışmalarına nispeten geç kalınmıştır. Bu konudaki ilk makaleler yayımlandıktan sonra uzun bir süre bu alanda fazla bir yayın görülmemiştir. Russell tarafından 1970 ve Grinold tarafından 1972 yılında yapılmış olan çalışmalarda bu konular üzerinde durulmuş fakat kaynak kısıtları göz önüne alınmamıştır. Genel olarak kaynak kısıtlarının ilk göz önüne alındığı makale 1986 yılında Russell tarafından yayımlanmıştır. Fakat maliyet kavramının proje yönetiminde giderek daha önemli bir hal alması ve toplam proje süresinin minimizasyonu tabanlı çözümlerin maksimize edilmiş net bugünkü değer veya benzer amaçları karşılamaması sonucunda bu yönde yapılan çalışmaların sayısı oldukça artmıştır (Usoy, 2000:16).

2.5.4. Stokastik Yapılı Kaynak Kısıtlı Proje Çizelgeleme Problemleri

Bu yapıya sahip kaynak kısıtlı proje çizelgeleme problemlerinde herhangi bir faaliyete ait tamamlama süresi belirli olasılık dağılımlarını takiben rassal değerler alır. Bu problem yapısı daha gerçekçi bir yapıya sahip olması ile birlikte analizler esnasında büyük bir karmaşıklıkta içermektedir. Probleme ait amaç fonksiyonu, projenin bitirme süresinin minimize edilmesi yerine projenin beklenen bitirme süresinin minimize edilmesi şeklinde kurulur. Faaliyetler arasındaki ilişki bu yapıya sahip projelerde daha da artmaktadır. Bu sebeple probleme yönelik olarak yapılacak olan analizlerde, faaliyetler arası ilişkiler iyi bir şekilde irdelenmeli ve bu ilişkiler göz ardı edilmemelidir.

2.5.5. Kaynak Kısıtlı Birden Çok Projenin Çizelgelenmesi Problemi

Kaynak kısıtlı birden çok projenin çizelgelenmesi, uygulamadaki gerçek durumu yansıtması bakımından kaynak kısıtlı proje çizelgeleme problemlerinde önemli bir araştırma alanı olmuştur. Örneğin, aynı anda birden fazla şantiyede iş yapan bir inşaat firması bu şantiyelerinde kısıtlı miktardaki bir kaynağını ortak bir şekilde kullanıyorsa, bu durum ile karşı karşıya kalmaktadır.

Kaynak kısıtlı birden çok projenin çizelgelenmesi için iki temel modelleme yaklaşımı vardır.

- Her projenin kendi başına ele alınması (Her projenin kendi başlangıç ve bitiş düğümünün olması)
- Tüm projelerin bir bütün halinde birleştirilmesi (Tüm projeler için bir başlangıç ve bir bitiş düğümü olması)

Çizelgeleme için kullanılan sezgisel kurallar, genelde, iki ayrı modelleme için farklı değerler verecektir. Bu yapıdaki problemlerde genel olarak zaman tabanlı amaçlar üzerinde çalışılmıştır. Çizelgeleme için amaç fonksiyonu, iki tür modelleme için de temelde aynıdır: kaynakların kısıtlı olması sonucu oluşan gecikmenin, yani kaynak kısıtlı çizelgeleme ile elde edilen proje süresi ile kaynak kısıtsız (CPM) proje süresi arasındaki farkın minimizasyonudur. Her projenin kendi başına ele alınması durumunda, gecikme her bir proje için ayrı ayrı hesaplanır ve proje sayısına bölünerek ortalaması alınır. Tüm projelerin tek bir proje halinde birleştirildiği durumda ise, bu tek proje boyutunda gecikme hesaplanır ve tek proje boyutundaki CPM proje süresine bölünerek oransal bir değer kullanılır (Ulusoy,2000:20).

Tüm projelerin tek bir proje şeklinde bütünleştirilmesi modellemesi için, tek projeli çizelgeleme problemlerinde sürenin minimizasyonunda başarılı olmuş LFT, LST, MSLK gibi sezgisel kurallar kullanılmıştır. Kaynak kısıtlı birden çok projenin çizelgelenmesi için önerilmiş sezgisel kuralların bazılarını şöyle sıralayabiliriz.

- En büyük toplam iş kapsamı (maximum total work content - MAXTWK).
- En kısa süreli projenin en kısa süreli faaliyeti (shortest activity from shortest project - SASP).

- En kısa boşluk süresi (minimum total slack - MSLK-MP).
- En geç bitirme zamanı (minimum latest finish time - MINLFT– MP).

Bu konuya yönelik olarak yapılan çalışmaları ele alırsak:

Tsubakitani ve Deckro (1990) ev inşaatlarında birden çok projenin çizelgelenmesi ve kontrolü için dinamik bir algoritma önermişlerdir. SASP sezgisel kuralını kullanarak her biri 100den fazla faaliyet içeren 50den fazla projeyi bir arada çizelgelemişlerdir (Ulusoy,2000:21)..

Lawrence ve Morton (1993) her projenin gecikmesinin farklı bir maliyeti olması durumunu irdelenmişlerdir. Bu amaçla, ağırlıklı gecikme maliyetinin minimizasyonu için kaynak kullanımının yoğunluğuna bağlı kaynak fiyatlandırma politikaları kullanmışlardır (Ulusoy,2000:21).

Lova ve Tormos (2000), her projenin kendi başına ele alındığı modelleme durumu için iki aşamalı bir sezgisel algoritma önermişlerdir. Atanacak faaliyetin saptanması için ilk aşamada toplam iş kapsamı (TWK) sezgisel kuralı kullanılarak proje seçilmiş, ikinci aşamada ise, GRD, en erken başlama zamanı (EST), ilk gelen ilk önce (FCFS) ve LST sezgisel karar kurallarında birisi kullanılarak atanacak faaliyet belirlenmiştir (Ulusoy,2000:21). Yapılan sayısal karşılaştırma çalışmalarında iki aşamalı algoritma MAXTWK sezgisel kuralı kullanan tek aşamalı sezgisel algoritma ile karşılaştırılmış ve iki aşamalı algoritmanın genelde daha iyi sonuçlar verdiği rapor edilmiştir (Ulusoy,2000:21).

2.5.6. Çok Amaçlı Kaynak Kısıtlı Proje Çizelgeleme Problemleri

Proje çizelgeleme problemlerine yönelik olarak yapılan çalışmalarda amaç fonksiyonlarının, kalite kısıtı altında maliyet minimizasyonu, kar maksimizasyonu ya da toplam proje süresinin minimize edilmesine yönelik olduğunu görmekteyiz. Kaynak kısıtlı proje çizelgeleme probleminin bu sınıfında ele alınan problemler amaç fonksiyonlarının yapısı itibarıyla diğerlerinden farklılık gösterir. Bu sınıflamaya ait olan problemlerde amaç fonksiyonları aynı anda birden fazla durumu optimize

etmeyi amaçlarlar. Literatürde bu duruma yönelik olarak yapılan çalışmalardan bazıları şu şekildedir.

Slowinski (1981, 1989) süre ve maliyet tabanlı amaçları göz önüne alan ve yenilenemez kaynakları da içeren çok amaçlı kaynak kısıtlı proje çizelgeleme üzerinde çalışmıştır (Ulusoy,2000:22).

Norbis ve Smith (1988) bitirme zamanı, termin ve kaynak kullanım amaçlarını dinamik bir ortamda hiyerarşik olarak ele almışlardır. Hiyerarşinin her düzeyinde faaliyetlere o düzeyin amaç fonksiyonuna uygun öncelikler atanmış ve değişik öncelik dizileri elde edilmiştir (Ulusoy,2000:22).

Dean vd. (1992) proje süresinin minimizasyonu, kaynak kullanım maliyeti ve terminden toplam veya ortalama sapma amaçlarını içeren bir sezgisel yöntemi birden çok projenin olduğu ve kaynak miktarlarının değişebildiği bir ortama personel çizelgeleme için uygulamışlardır (Ulusoy,2000:22).

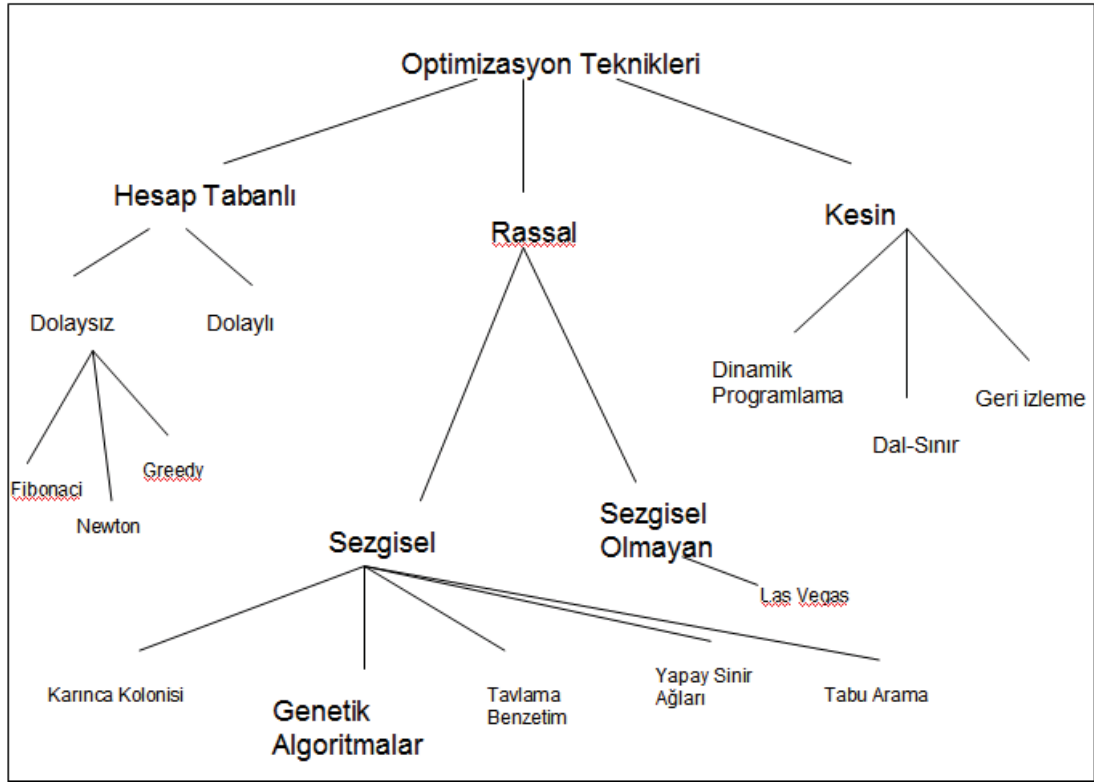
Proje süresi ve nakit akışlarının net bugünkü değeri arasındaki ilişki Özdamar vd. (1998) tarafından ayrıntılı olarak incelenmiştir (Ulusoy,2000:22).

Lova vd. (2000), birden çok proje çizelgeleme problemi için iki amaçlı bir sezgisel yöntem geliştirmişlerdir. Ödünleşimsiz bir maksimizasyon yaklaşımı benimsenmiştir. Buna göre, birincil amacın maksimize edilmesi esas alınmış ve birincil amacın gerçekleşen düzeyinden ödün verilmeden ikincil amaca yönelik çalışılmıştır (Ulusoy,2000:22).

ÜÇÜNCÜ BÖLÜM

3. KAYNAK KISITLI PROJE ÇİZELGELEME PROBLEMLERİNE ÇÖZÜM YAKLAŞIMLARI

Kaynak kısıtlı proje çizelgeleme, literatürde oldukça yer bulmuş, farklı yöntemler kullanılarak çözülmeye çalışılmış bir problemdir. Birçok bilim insanı konu ile ilgili yapmış oldukları çalışmalarda farklı çözüm metotları sunarak, problemin çözümüne katkıda bulunmuştur. Konunun çözümüne dair kullanılan metotlar üç ana başlık altında toplanmıştır. Bunlar; küçük çaplı problemlerin çözümünde optimal sonucun bulunmasına yardımcı olabilen deterministik (kesin) yöntemler, kısa bir süre uygulanmış olan stokastik metotlar ve büyük problemlerin çözümünde kullanılmakta olan ve tabu arama, benzetilmiş tavlama ve genetik algoritma gibi yöntemleri barındıran ve optimal çözüme en yakın sonuçları veren sezgisel yöntemlerdir (Ferland, Anh, Can, 2004:2). Bu yöntemleri bir şekil yardımı ile sınıflandırırsak;



Şekil 3: Optimizasyon Yöntemlerinin Sınıflandırılması

3.1. Kesin Çözüm Yöntemleri

Kesin çözüm yöntemleri, matematiksel yöntemler olarak ta bilinir. Bu yöntemler matematiksel ve sayılama teknikleri ile en uygun çözümün bulunması esasına dayanır. Bu yöntemde olası tüm çözüm seçenekleri denenmeden, en uygun çözümün bulunması amaçlanmaktadır (Erdal, 2007:13). Kesin çözüm yöntemleri, proje süresince kullanılan kaynakların düzeyindeki değişimin minimizasyonunu amaçlamaktadır. Faaliyetlerin planlama aşamasında saptanmış bulunan mantıki sıralamasını koruyacağı, sürenin sabit ya da tamsayı olacağı ve kaynak düzeyinin değişmeyeceği varsayımına dayanmaktadır (Erdal, 2007:13). Özellikle kısıtlı kaynak durumlarında, projenin tamamlanmasını, müsaade edilen zaman içerisinde tamamlayacak şekilde çözüm esasına dayanan projelerde ve küçük ölçekli test problemlerinde performanslı görülmekte, ancak karmaşık problemlerin çözümünde yetersiz kalmaktadır. Bu nedenle inşaat sektörü gibi kendine özgü koşullara sahip ve faaliyet sayısı çok fazla olan projelerde kullanılmamaktadır.

Kesin yöntemler içinde kısıtlı kaynaklı proje çizelgeleme problemlerinin çözümünde yaygın olarak kullanılan metotlar; kritik yol metodu (cpm), doğrusal - tamsayı programlama ve dal - sınır yöntemleridir (Wall, 1996:20).

Kritik yol metodu proje çizelgeleme kavramının gelişimine önemli katkılar sağlamıştır. Öncelik ilişkilerine bağlı olarak, projeler için kritik aktivitelerin belirlenmesinde ve proje süresinin minimize edilmesinde sıkça kullanılmaktadır. Her ne kadar küçük ölçekli kaynak kısıtlı projelerin çözümünde kullanılmış olsa da problemin karmaşıklığına bağlı olarak etkisini yitirmiştir.

Lineer ve tamsayı programlama metodu kaynak kısıtlı proje çizelgeleme probleminin çözümünde ilk kullanılan yöntemlerdendir (Ulusoy, 2000:7). Bu tür yöntemler kullanıldığında, algoritma aynı problem için her işletilmesinde aynı sonucu verecektir (Paksoy, 2007:87).

Stinson vd.(1978) dal-sınır yönteminin ilk uygulama örneğini sunmuşlardır. Bir düğümdeki çizelgede devam etmekte olan faaliyetlerin en erken biteninin bitiş zamanı, o düğümden çıkacak düğümlerin çizelgeleme zamanını belirler. Yeni yaratılan düğümler henüz atanmamış faaliyetlerin olurlu alt kümeleridir. Düğüm

seçimi hiyerarşik olarak uygulanan altı seçim kuralı ile gerçekleştirilir. Dal sınır ağacını budamak için iki baskınlık kuralı kullanılmıştır (Stinson vd, 1978, 255; Erdal, 2007:14).

Demeulemeester ve Herroelen (1992) dikey inişli bir dal sınır yöntemi uygulaması önermişlerdir (Herroelen, Demeulemeester, 1992,1824; Erdal, 2007, 15). Aday faaliyet kümesinde yer alan faaliyetler, belirli bir çizelgeleme anında öncülük ilişkilerine göre atanabilir durumda olan faaliyetlerdir. Dallanılan düğümde geçerli çizelgeleme anında aday faaliyet kümesindeki tüm faaliyetler atanır. Kaynak kısıtlarının ihlali durumunda, ertelenmeleri sonucu çizelgeyi kaynak kullanım açısından olurlu kılacak en küçük faaliyet alt kümeleri saptanır. Bu alt kümeler, herhangi birisi diğer birisine baskın olmayacak şekilde belirlenir. En küçük ertelenen faaliyetler kümesi olarak nitelendirilen bu alt kümelerin her biri dallanılan düğüme bağlı yeni bir düğümü oluşturur. Burada ilginç olan, en küçük ertelenen faaliyetler kümesindeki bazı faaliyetlerin dallanan düğümdeki çizelgede yer alabiliyor olmasıdır. Buna göre, bazı faaliyetler dal sınır ağacı üzerinde dikey olarak aşağıya inerken önce kısmi çizelgeye dahil olup sonra çıkabilmektedir. Düğüm budanması için iki baskınlık kuralından yararlanılmaktadır. Bunlardan birincisinde, başka bir düğüm ile sola kaydırma sonucu aynı kısmi çözüme sahip olacak düğüm budanır. Dikey iniş için seçilecek düğüm en küçük kritik sıralama bazlı alt sınıra sahip düğüm olarak belirlenmektedir. Birden fazla böyle düğüm bulunması durumunda seçim rassal olarak yapılır (Ulusoy,2000:7). Dikey iniş sonucu bir dal sonuna ulaşıldığında dallanılmış bir düğüme ilk ulaşılan kadar geri dönüş yapılır. Demeulemeester ve Herroelen (1997) kendi yöntemlerinin hesaplama verimliliğini geliştirerek yeniden sunmuşlardır (Herroelen, Demeulemeester, 1992,1824; Erdal, 2007, 15). Brucker vd. (1998) ve Brucker ve Knust (1999) dikey inişli bir dal-sınır algoritması önermişleridir (Brucker, Knust, Schoo, Thiele, 1998, 280; Erdal, 2007, 25). Çeşitli alt sınırlar üzerine yaptıkları deneyler sonucu Mingoizzi vd (1998) tarafından önerilen ve LB2 olarak nitelendirilen alt sınırı kullanmışlardır (Ulusoy,2000:8). Bu alt sınır doğrusal programlama tabanlı bir alt sınırdır. Üst sınır değerlerini hesaplamak için ise Baar vd. (1997) tarafından önerilen tabu tanımlayarak arama yöntemini kullanmışlardır (Ulusoy,2000:8).

Mingozi vd. (1999) problem için yeni bir matematiksel gösterim önermişlerdir (Ulusoy,2000:8). Bu yeni gösterimden hareketle yeni alt sınırlar tanımlanmıştır. Dallanma için ise olurlu alt kümeleri kullanmışlardır.

3.2. Stokastik Çözüm Yöntemleri

Stokastik çizelgeleme yönteminde; çizelgeleme faaliyet ve aşama seçimleri olasılığa ya da tesadüfe dayanan yollarla yapılmaktadır. Proje çizelgeleme aşamasında herhangi bir işlemde; faaliyetlerin önceliklerinin belirlenmesi ya da çizelgeleme aşamasında uygun faaliyetler arasından bir faaliyet seçilmesi işlemlerinin birinde, olasılık kurallarına dayanarak bir işlem yapılırsa, bu yöntem stokastik çizelgeleme yöntemi olarak adlandırılır.

Stokastik çizelgeleme yönteminde de faaliyetler, faaliyetlerin öncelik sıraları ve kaynakların uygunluğu kısıtlarına bağlı kalınarak çizelgelenmektedir. Genetik algoritmaların çizelgeleme problemlerine uygulamaya başlandığı dönemlerde, stokastik yöntemlerle yapılan çalışmaların başarılı sonuçlar vermediği görülmüştür. Global çözümler elde edebilmek amacıyla sezgisel yöntemler ortaya çıkmıştır.

Özellikle faaliyet sayısı 50 ve üzerinde olana projeleri çizelgelenmelerde, optimum çözüm arayışlarının başarısızlıkla sonuçlanması nedeniyle, sezgisel yöntemler kullanılarak optimuma yakın çözüm arayışları yaygınlaşmıştır.

3.3. Sezgisel Çözüm Yöntemleri

Karmaşık problemlerde kullanımı tercih edilmeyen kesin çözüm yaklaşımları, üzerinde çalıştıkları probleme dair optimum çözüme ulaşırlar. Buna karşılık sezgisel yöntemler çözüm yapılarından dolayı bazen optimal çözümü bulsalar da, genel olarak probleme ait iyi bir çözüme ulaşırlar (Ferland, Anh, Can, 2004:2).

Hesaplama karmaşıklığı açısından kaynak kısıtlı proje çizelgeleme problemlerinin kombinyonel bir yapısı vardır ve herhangi bir optimizasyon tekniği kullanarak orta ölçekli bir problemin çözümü, en gelişmiş bilgisayarlar kullanımıyla bile çok uzun sürmektedir. Bu sorunu gidermek için problemin basitleştirilmiş modelleri üzerinde sezgisel algoritmalar kullanarak optimal altı, ancak tatmin edici ölçüde etkinliğe sahip sonuçlar elde edilmesidir (Özdemir, 2006:23).

Geleneksel sezgisel yöntemler çözüme ulaşırken üç adımı takip ederler; planlama, sıralama ve çizelgeleme. Bazı metotlar sezgiselliği, permütasyonel özelliğe sahip görev sıralama probleminin tümleşik uzayını çözmekte, bazıları çizelgeleme kuşağı boyunca olası zaman, görev, kaynak dağılımını kararlaştırmakta, bazıları ise sezgiselliği sıralama ve çizelgeleme arasındaki birleştirmeyi yapmakta kullanılmaktadır. Görüldüğü gibi kaynak kısıtlı proje çizelgeleme problemlerinde sezgisellik birçok aşamada problemin çözümüne yardım etmektedir. Bu sebeple problemin çözümünde sezgiselliğe dayalı birçok yöntem kullanılmıştır.

Sezgisel yöntemler 4 ayrı başlık altında incelenebilir (Erdal, 2007:16);

- Öncelik kurallarına dayalı tek çözüm üreten sezgisel yöntemler
- Çok çözüm üreten sezgisel yöntemler
- İleri – sezgisel yöntemler
- Diğer sezgisel yöntemler

3.3.1. Öncelik kurallarına dayalı tek çözüm üreten sezgisel yöntemler

Öncelik kurallarına dayalı tek çözüm üreten sezgisel yöntemlerin iki boyutu vardır: Bunlar; kullanılan öncelik kuralı ve çizelgenin oluşturulmasıdır (Erdal, 2007:16). Bu başlık altında incelenen algoritmalar tek bir çözüm üretmeye yöneliktir ve tüm faaliyetler öncelik kuralları kullanılarak atanır. Böylece öncülük ilişkileri ve kaynak kısıtları açısından olurlu bir çizelge oluşturulduktan sonra, algoritmanın uygulanması sonlandırılır. Literatürde çok sayıda sezgisel öncelik kuralı önerilmiştir ve bu kuralların performansına ilişkin olarak da çeşitli değerlendirme yapılmıştır. Bu kurallardan nispeten daha çok kullanılanları, literatürdeki kısaltmalarda kullanılarak şöyle sıralanabilir (Erdal, 2007:17).

- En kısa işlem süresi (SPT)
- En kısa bolluk süresi (MSLK)
- En çok sayıda toplam ardıl (MTS)
- En büyük kaynak talebi (GRD)
- En geç bitirme zamanı (LFT)
- En geç başlama zamanı (LST)
- Kaynak çizelgeleme metodu (RSM)

- En büyük konumsal ağırlık (GRPW)
- En kötü alternatif bolluk (WCS)
- Yerel kısıt tabanlı analiz (LCBA)

Sezgisel öncelik kurallarının bir diğer sınıflandırılması da, çizelgeleme esnasında değeri sabit kalanlar ve çizelgelemenin değişik aşamalarında değişik değerler alabilenler şeklindedir. Örneğin, SPT durağan bir kural iken, MSLK değişken bir kuraldır. Diğer bir sınıflandırma da, salt faaliyet bilgisini kullanan öncelik kurallarının yerel; bunun dışında daha geniş bir bilgi kullananların ise global olarak sınıflandırılmasıdır. Buna göre, MTS yerel iken, GRPW global bir öncelik kuralıdır (Erdal, 2007:18).

Çizelgenin oluşturulmasında iki ayrı yöntem vardır: Paralel çizelgeleme ve seri çizelgeleme.

Paralel çizelgeleme: Paralel çizelgeleme en fazla faaliyet adedi (J) kadar asamadan oluşur. Her aşamada, bir veya daha fazla faaliyet kısmi çizelgeye atanır. Uygulama esnasında faaliyetler dört küme içinde yer alırlar. Bitmiş faaliyetler kümesi, atanmış fakat henüz tamamlanmamış süregiden faaliyetler kümesi, kaynak kısıtlarını ihlal etmeyen ve öncülleri bitmiş faaliyetlerin oluşturduğu karar kümesi ve bunların dışında kalan faaliyetlerin oluşturduğu kalan faaliyetler kümesi. Her aşamada, çizelgeleme anı süregiden faaliyetler kümesindeki faaliyetlerden en erken biten faaliyet(ler) tarafından belirlenir. Bu faaliyet(ler) bitmiş faaliyetler kümesine dahil edilir. Karar kümesi mevcut duruma göre yeniden belirlenir. Kullanılan öncelik kuralı uygulanarak karar kümesinden yeni atanacak faaliyet seçilir ve atanır. Atama döngüsü, karar kümesinde atanacak faaliyet kalmayana veya mevcut kaynak kullanımına göre kaynak kısıtını ihlal etmeyen faaliyet kalmayana kadar sürdürülür. Tüm faaliyetler henüz çizelgelenmemişse adı gecen kümeler güncellenerek yeni bir asamaya geçilir ve yeni bir çizelgeleme anı saptanarak algoritmaya devam edilir. Paralel çizelgelemenin bu biçimi için Kolisch (1995) Brooks'un yayımlanmamış bir makalesini kaynak göstermektedir (Ulusoy, 2000:9).

Kelley (1963) tarafından önerilen paralel çizelgeleme yönteminde Brooks'un yönteminden farklı olarak çizelgeleme anında süregiden faaliyetler kümesinin elemanları karar kümesine dahil edilirler (Ulusoy, 2000:9). Buna göre, algoritmanın uygulanmasında bir faaliyet birden fazla kere atanabilir. Bu açıdan Kelley'nin önerdiği yöntem Demeulemeester ve Herroelen (1992) tarafından önerilen dal-sınır algoritmasındaki en küçük ertelenen faaliyetler kümesi uygulamasını anımsatmaktadır (Ulusoy, 2000:9).

Seri çizelgeleme: Sezgisel çizelgelemede üç küme tanımlanmıştır. Bitmiş faaliyetler kümesi, öncülleri bitmiş faaliyetler kümesinde yer alan faaliyetlerin oluşturduğu karar kümesi ve bunların dışında kalan faaliyetlerin oluşturduğu kalan faaliyetler kümesi. Her aşamada bir faaliyet atanır. Buna göre algoritma faaliyet adedi (J) kadar aşamada sona erer. Her aşamada karar kümesi içinden bir faaliyet öncelik kuralı kullanılarak seçilir ve öncüllük ve kaynak kısıtları bakımından olurlu olduğu en erken anda atanır. Adı geçen üç küme güncellendikten sonra yeni bir aşamaya geçilerek algoritma atanacak faaliyet kalmayana kadar sürdürülür. Paralel çizelgelemenin erteleme-siz çizelgeler türettiği; seri çizelgelemenin ise aktif çizelgeler türettiği gösterilmiştir. Daha önce de belirtildiği gibi düzgün bağımlı performans ölçütleri için aktif çözümler kümesi mutlaka optimum çözümü içermekle birlikte erteleme-siz çözümler kümesi optimum çözümü içermeyebilmektedir. Bu açıdan bakıldığında seri çizelgeleme yöntemi optimum çözümü bulmaya daha yakın durmaktadır (Ulusoy, 2000:10).

Spencer ve Drexl (1998) kendi dal – sınır yöntemlerinin uygulanmasına bir zaman sınırı koyarak, sezgisel bir çözüm yöntemi olarak önermişlerdir. Drexl ve Grünewald (1993)' de yanlı örnekleme yöntemini önermişlerdir (Spencer, Drexl, 1998, 435; Erdal, 2007:17).

Özdamar ve Ulusoy (1994), LCBA algoritmasının çok modlu durum için uyarlamasını sunmuşlardır (Özdamar, Ulusoy, 1994, 48). MSLK, LFT ve WRUP sezgisel kuralları ile 95 problem üzerinde karşılaştırılan LCBA'nın çok üstün bir performans sergilediği gösterilmiştir. Sınama problemlerinin faaliyet adetleri 20–57, kaynak adetleri 1–6 aralığında seçilmiş ve her kaynak için mod adedi en fazla 3 olarak kabul edilmiştir (Özdamar, Ulusoy, 1994, 48). Özdamar ve Ulusoy daha sonra

yayınladıkları makalelerinde LCBA algoritmasının iteratif uygulamasını ayrıntılı olarak irdelemişleridir (Ozdamar,Ulusoy,1994,290;Erdal, 2007:18).

Boctor (1996), karar kümesi içinden bir baskın çizelgelebilir faaliyetler kümesi tanımlayarak; karar kümesinden bir faaliyet yerine, tanımlanan kümenin faaliyetlerinin atandığı bir yöntem önermiştir (Boctor, 1996, 351;Erdal, 2007:18).

3.3.2. Çok Çözüm Üreten Sezgisel Yöntemler

Çok çözüm üreten sezgisel yöntemleri üç başlık altında inceleyebiliriz: örnekleme, öncelik kuralları ve başlangıç bitiş çıkışlı iteratif çizelgeleme. Çok çözüm türeten sezgisel yöntemlerde öncen belirlenmiş sayıda çizelgeleme türetilerek aralarından en iyisi seçilir. Bir çözüm elde etmenin çözüm süresinin azlığı, algoritmayı çok kere uygulamayı hesap süresi bakımından olurlu hale getirmiştir (Ulusoy, 2000:9).

Örnekleme kullanarak birden çok çözüm türetmeye yönelik yöntemlerde, rassal bir mekanizma kullanılarak bir çözüm kümesi içinde en iyi çözüm aranır. Atanacak faaliyetin rassal olarak seçildiği bu yöntemlerde çizelge oluşturma yöntemi olarak izah edilen seri ve paralel çizelgeleme kullanılır. Seri çizelgeleme kullanıldığında çözüm kümesi aktif Çizelgeler kümesi; paralel çizelgelemede ise ertelemesiz çizelgeler kümesidir (Ulusoy, 2000:9).

Öncelik kurallarına dayalı çizelgeleme kullanılarak ve birden çok geçiş uygulanarak birden çok çizelge üretmek için çeşitli yollar denenmiştir. Bunlardan bir tanesi, üretilen her çizelge için ayrı bir öncelik kuralı uygulamaktır. Boctor (1990) yedi değişik sezgisel kural uygulamıştır. Diğer bir yaklaşımda ise, her aşamada kullanılacak öncelik kuralının rassal olarak karşılaştırılmasıdır. Bu iki yaklaşıma da dahil olmayan ancak birinci yaklaşıma yakın olan bir sezgisel öncelik kuralı da Ulusoy ve Özdamar (1989) tarafından önerilmiştir. Ağırlıklandırılmış kaynak kullanım oranı ve ardıllı olarak nitelendirilen bu sezgisel kuraldaki ağırlık parametresi (0,1) Aralığında değişik değerler atanarak çeşitli çizelgeler türetilmektedir. Bu yaklaşım çeşitli sezgisel kuralların içbükey kombinasyonunun kullanılmasına bir örnektir.

Başlangıç çıkışlı çizelgelemede, çizelgeleme sıfır zamanından başlatılarak, faaliyetler azalmayan zamanlarda atanır. Bitiş çıkışlı çizelgelemede ise, zaman yine sıfır olarak nitelendirilebilirse de, ileri bir zamandan başlayarak çizelgede faaliyetler sondan başa doğru atanır. Li ve Willis (1992) 'in makalesinde, başlangıç çıkışlı ve bitiş çıkışlı çizelgeleme teknikleri ile elde edilen kaynak profillerinin farkına dikkat çekilmektedir (Ulusoy, 2000:10). Başlangıç çıkışlı çizelgeleme tekniği, faaliyetleri mümkün olduğu kadar erken çizelgelerken, bitiş çıkışlı çizelgeleme tekniği, faaliyetleri mümkün olduğu kadar geç çizelgelemektedir. Yazarlar bitiş çıkışlı çizelgeleme tekniğinden doğan problemleri detaylı olarak incelemiştir. Örneğin, bitiş çıkışlı çizelgeleme tekniği, başlangıç çıkışlı çizelgeleme tekniği uygulandığı zaman bulunacak proje süresinden daha uzun bir proje süresi bulması ve bütün faaliyetlerin kritik faaliyet haline dönüşmesi ile bir faaliyetin başlamasında meydana gelen bir gecikme ile bütün projenin etkilenmesi önemli problemdir (Ulusoy, 2000:10). Bitiş çıkışlı çizelgelemenin olurlu bir çizelge oluşturmakta sık sık başarısızlığa uğraması da önemli bir problemdir. Bu nedenlerden hareketle Li ve Willis makalelerinde başlangıç çıkışlı ve bitiş çıkışlı çizelgeleme tekniklerinin avantajlarını birleştirmeye çalışan iteratif bir algoritma önermişleridir. Ulusoy ve Özdamar (1995), yerel kısıt temelli analiz isimli algoritmalarının performansını, MSLK, LFT ve WRUP sezgisel karar kuralları ve Li ve Willis'in algoritması ile karşılaştırmışlardır (Ulusoy, 2000:11). LCBA ve diğer karar kuralları öncelikle tek geçişli sezgisel yöntem olarak kullanılmış, sonra da iteratif sürece konulmuştur. Çalışmada, bütün karar kurallarının iteratif sürece katıldığında daha iyi sonuçlar verdiği gözlenmiştir. Karşılaştırmalar iteratif LCBA'in Li ve Willis'in algoritmasının içinde bulunduğu diğer yaklaşımlardan çok daha iyi sonuçlara verdiği göstermiştir (Ulusoy, 2000:11).

3.3.3.İleri Sezgisel Çözüm Yöntemleri

Kaynak kısıtlı proje çizelgeleme problemlerinin çözümünde ileri sezgisel yöntemlerden oldukça yararlanılmıştır. Diğer çözüm yöntemlerine göre karmaşık ve çok faaliyetli problemlerin çözümünde ileri sezgisel yöntemler hem hızlı hem de optimal çözüme yakın sonuçlar vermektedir.

Literatürde yaygın bir şekilde kullanılan yöntemlere bakıldığı zaman, bu yöntemlerin genel olarak doğal oluşum süreçlerinden yararlandığı gözlenmektedir.

Tavlama benzetimi, termo-dinamik programlamaları taklit etmekte, tabu arama yöntemi bir çeşit hafıza uygulamasını dikkate alarak zeki problemleri taklit etmekte, genetik algoritmalar ise evrim teorisinden esinlenerek en iyinin hayatta kalması prensibine göre hareket etmektedir (Erdal, 2007:20).

Literatürde oldukça fazla kullanım alanı bulan bu yöntemleri ve bu yöntemlerle ilgili yapılan çalışmalara kısaca bir göz atmak gerekirse.

3.3.3.1. Tabu Arama Yöntemi

Glover tarafından 1989 yılında yapılan çalışmalarla geliştirilen tabu arama yöntemi, bazı kaynaklarda çizelgesel arama olarak ta tanımlanmaktadır. Tabu araştırması temel olarak belirli bir problem üzerinde elde edilen ilk çözüm etrafında komşuluklar oluşturmaktır. Komşuluk mekanizması ele alınarak birbirini izleyen seçilmiş çözümlerden daha iyi olanları tabu listesi olarak atanır. Algoritmanın bir yerel en iyi çözümden ayrıldıktan hemen sonra tekrar aynı yerel en iyi çözüme yönlenmemesi için algoritmanın attığı son adım tabu ilan edilir (Glover,1990, 195;Erdal, 2007, 24). Tabu arama algoritmasında tabu listesi olarak oluşturulan ilk aday çözüm ve değişken komşu çözüm sayısı, bir tür tabulaştırma görevi yapmaktadır. Kötü sonuç veren bölgelerde daha fazla işlem yapılmaması yani bu elemanların komşu sayısının azaltılması, istenen çözüme daha az hesaplamayla, dolayısıyla daha hızlı ulaşmayı sağlamaktadır. İyi sonuç veren parametrelerin bir sonraki iterasyonda komşu sayıları artmakta, böylece algoritmanın verimliliği de artmış olmaktadır.

Tabu listesinin en önemli özelliklerinden birisi, mevcut tabu listesinin aday komşu çözümler ile karşılaştırıldıktan sonra bir sıralama ve karşılaştırma işlemi yaparak kendisini yenileyebilmesidir. Bu amaçla, geliştirilen algorithmada, önceki döngüler de elde edilen çözümlerin listesinin tutulduğu bir tabu listesi oluşturulmuştur. Eğer bir komşu çözüm adayı, tabu listesinde yer alan bir çözümlerle aynıysa, bu çözüm değerlendirme dışı bırakılmaktadır. Tabu listesi oluşturulurken her döngüdeki en iyi çözüm listeye alınmakta, listenin dolduğu durumda listedeki ilk kayıtlar atılıp, son döngüler de elde edilen çözümler listeye alınmaktadır.

Tabu listesi ilk en iyi çözüm kümesinin oluşturularak hafızaya alınma yöntemi ile oluşturulur. Tabu listesi oluşturmanın önemli kuralı da giriş değerleri oluşturulurken çeşitli filtreleme işlemlerinden geçirilmesidir (Yalçınöz, Yavuzer, Altun, 2001: 2-3).

Oluşturulan tabu listesinin en temel özelliği yeni çözüm adaylarını değerlendirmeye alarak dairesel bir döngü içerisinde yol alarak her yeni döngüden sonra yeni özellikler kazanmasıdır. Tabu listesinin yeni elde edilen çözümler ile liste uzunluğu artacak ve çözüm aramada büyük bir etki yaparak kısa çözümlerin daireselliği sayesinde nesnel bir çözüm arama tekniği olduğunu gösterecektir. Burada istenilen durum çözüm adaylarının mevcut bu döngüsü ile tabu listesinin geliştirilmesidir. Tabu listesine dahil edilen yeni çözümler oluşturulurken eğer elde edilen çözüm tabu listesindeki çözümlerden daha iyi ise tabu listesine eklenebilir. Bunun tersi bir durumda ise, yani daha kötü bir çözüm tabu listesine eklenmeyecek ve doğal olarak belirli bir bellek kaplamayacaktır. En iyi çözüm bulunana kadar bu işlemler mevcut döngü ile devam edecektir (Yalçınöz, Yavuzer, Altun, 2001: 2-3)

Tabu arama yönteminin çalışma prensibinden kısa bir şekilde bahsettikten sonra, bu yöntemin kaynak kısıtlı proje çizelgeleme problemindeki bazı uygulamalarını şu şekilde sıralayabiliriz.

Lee ve Kim (1996) önerdikleri tabu tanımlayarak arama yönteminde tıpkı önerdikleri tavlama benzetim yönteminde olduğu gibi rassal anahtar gösterimi ve paralel çizelgeleme kullanmışlardır. Yeni çözüm yaratmak için kısıtlı bir çiftli yer değiştirme uygulamışlardır (Ulusoy, 2000:12).

Baar vd. (1997) tabu tanımlayarak arama için gerek çözüm gösterimi gerekse komşu küme tanımı farklı iki ayrı yöntem önermişlerdir. Başlangıç çözümleri için sezgisel karar kuralları kullanılmıştır (Ulusoy, 2000:12).

Brucker vd. (1999) bu algoritmanın 30 faaliyetli problemlerde en iyi değerlerden ortalama % 0,4 ve en fazla % 6,9 Saptığını rapor etmişleridir (Ulusoy, 2000:12).

3.3.3.2.Tavlama Benzetim Yöntemi

Tavlama benzetimi, optimizasyon problemlerini çözmek için Kirkpatrick vd. tarafından önerilen bir rastsal arama yöntemidir. Pek çok büyük boyutlu gerçek hayat problemlerine başarılı bir şekilde uygulanmıştır. Uygulama kolaylığı, yakınsama özelliği ve yerel en iyilerden kaçınmak için kullandığı strateji nedeni ile tavlama benzetim yöntemi son yıllarda optimizasyon problemlerinin çözümünde kullanılan yaygın bir yöntem olmuştur (Şahin, 2008, 24). Tavlama benzetim yöntemi ismini katıların fiziksel tavlama işlemi ile olan benzerlikten almıştır. Tavlama benzetim adım adım iyileştirme yapan bir yöntemdir. Bu işlem sırasında sadece daha iyi sonuçlar kabul edilmez, aynı zamanda belli bir olasılıkla kötü çözümlerde kabul edilir. Böylece algoritmanın yerel en iyilerden kurtulması sağlanır. Bu işlem tavlama benzetim yönteminin temel özelliklerinden birisidir. Yöntemin hedefinde yere en iyiden kurtularak genel en iyiye ulaşmaktır. Kabul olasılığı kavramsal bir sıcaklığa bağlı olarak $e^{-\Delta E/T}$ şeklinde ifade edilir. Burada ΔE mevcut çözüm ile üretilen komşu çözümün amaç fonksiyonları arasındaki değişimi ifade etmektedir. T ise kontrol parametresi olan sıcaklıktır (Şahin, 2008, 24).

ΔE 'nin küçük değerleri için kötü çözümün kabul edilme olasılığı, büyük değerlerinkinden daha fazladır. Ayrıca, yüksek sıcaklık değerinde üretilen yeni çözümlerin çoğu kabul edilecektir. Sıcaklı sifıra yaklaştıkça üretilen yeni çözümlerin kabul edilme olasılığı düşecektir. Bu nedenle tavlama benzetim algoritmasında, yerel en iyilerden kurtulmak için başlangıç sıcaklığı genel olarak yüksek bir değer belirlenir. Kolay uygulanabilirliği ve kombinatoriyal optimizasyon problemleri için iyi kalitede çözümler üretmesine karşın, tavlama benzetim yönteminin daha fazla bilgisayar zamanına ihtiyaç duyması ve parametre seçimi için çok deneme gerektirmesi dezavantajdır (Şahin, 2008, 24).

Tavlama benzetimi yöntemi kaynak kısıtlı proje çizelgeleme problemlerine bir çözüm önerisi olarak Boctor (1996) tarafından sunulmuştur. Önerilen algoritmada, faaliyet listesi kullanılarak seri çizelge uygulanmıştır. Komşu çözüm kümesinin tanımlanması ve aranmasında, Sampson ve Weiss (1993) tarafından önerilen öteleme vektörü kavramı kullanılmıştır (Şahin, 2008, 24). Sampson ve

Weiss, herhangi bir çözümün gösterimi amacı ile $(1*j)$ boyutunda ve elemanları tamsayı olan bir öteleme vektörü, V , tanımlamışlardır (Şahin, 2008, 24). Buna göre, j faaliyetinin başlangıç anı bu faaliyetin öncülerinin en geç biteninin bitiş anı ile V vektörünün j faaliyetine karşı gelen $V(j)$ elemanının değerinin toplamı ile ifade edilir. Her j faaliyeti için $V(j)$ elemanının alabileceği değerler üzerinden bir arama yapılır.

Lee ve Kim (1996) önerdikleri tavlama benzetim yönteminde rassal anahtar gösterimi ve paralel kullanmışlardır (Şahin, 2008, 24). Yeni çözüm yaratmak için kısıtlı bir çiftli yer değiştirme uygulamışlardır. Cho ve Kim (1997), Lee ve Kim'in (1996) tavlama benzetimi yönteminden hareketle bir algoritma önermişlerdir (Şahin, 2008, 24). Bu algoritmada rassal anahtar gösterimi bazı atanabilir faaliyetlerin ertelenmelerine izin verecek şekilde değiştirilmiş ve uyarlanmış bir paralel çizelgeleme yöntemi kullanılmıştır.

Bouleimen ve Lecocq (1998) önerdikleri tavlama benzetim yaklaşımında yenilenemez kaynakları da içermişlerdir (Şahin, 2008, 25). Faaliyet listesi gösterimi kullanılmıştır. Faaliyetler en geç başlayan öncülü ve en erken başlayan ardılı arasından bir yer alır. Komşu çözüm için rastgele bir faaliyet seçilir ve en geç başlayan öncülü ve en erken başlayan ardılı arasında bir yere rastgele atanır. Seri çizelgeleme uygulanmış olup sayısal deneyler başarılı sonuçlar üretmiştir.

3.3.3.3. Genetik Algoritma Yöntemi

Genetik algoritma en iyi evrimsel hesaplama yöntemlerinden biri olarak bilinir (Babayiğit, 2003:23). Genetik algoritma, doğal seçim ve doğal genetik ilkelerine dayalı bir optimizasyon tekniğidir. Her kuşakta yapay kromozomların yeni kümesi, eskilerden en uygun gen veya hanelerin kullanılmasıyla yaratılır ve yeni rastgele oluşturulan kromozomlar optimum çözüme ulaşmak için çabalar. Rastgelelik sürerken genetik algoritmalar, daha önce oluşturulmuş olan çözüm kromozomlarından hareketle, daha iyi çözüm veren yeni kromozomlar oluşturmayı amaçlar.

Genetik algoritmalar ilk olarak Michigan Üniversitesinde makine öğrenmesi üzerine çalışmalar yapan John Holland (1975) ve öğrencileri tarafından ortaya

atılmıştır. Bu çalışmalarda araştırmacıların iki temel amacı vardır (Goldberg,1989:13).

- Doğal sistemlere uyan süreçlerin ayrıntılı bir şekilde anlatılması ve incelenmesi,
- Doğal sistemlerin önemli mekanizmalarını akılda tutmak için yapay sistem yazılımlarının tasarlanması.

Bu çalışmalar hem doğal hem de yapay sistem biliminin bir arada gelişmesine yönelik yapılan önemli çalışmalardan biri olarak kabul edilmekte, bu yönde yapılan çalışmalara önemli katkıları sağlamaktadır.

Genetik algoritmalar evrim teorisinden esinlenerek ortaya çıkmasından dolayı çalışma prensibi olarak evrim teorisine benzemektedir. Konu ile ilgili detaylı tanımlamalar ve anlatımlar ileriki bölümlerde yapılacaktır. Fakat bilinmesi gerekmektedir ki genetik algoritmaların çalışma mekanizmasındaki en önemli unsur dinçlik kuralının uygulanmasıdır. Dinçlik kavramı, türetilmiş olan çözüm kümesi içerisindeki hangi kromozomların bir sonraki çözüm kümesine aktarılacağına karar verilen aşamayı ifade etmektedir.

Genetik algoritmalar kavramının temelinde var olan felsefe, günlük hayat içerisinde birçoğumuz tarafından oldukça yaygın olarak kullanılmaktadır. Fakat gerek Holland gerekse de öğrencisi Goldberg (1989) bu felsefe üzerine yapmış oldukları çalışmalarla bir algoritmaya ulaşmışlar ve bu algoritmanın bilinen bir çok optimizasyon probleminin çözümünde kullanılmasını sağlamışlardır. Bu problemlere tesis yerleşimi, proje çizelgeleme, atama problemleri, gezgin satıcı problemi gibi yöneylem araştırmasının içerdiği birçok problem örnek olarak verilebilir.

Kaynak kısıtlı proje çizelgeleme problemlerinde, genetik algoritma yöntemi uzun yıllardan beri birçok bilim insanı tarafından kullanılmıştır. Yapılan çalışmalar sonucunda hem genetik algoritma yönetimi hem de proje çizelgeleme problemi üzerinde önemli gelişmeler sağlanmıştır.

Cheng ve Gen (1994), çalışmalarında diğer çizelgeleme problemlerinden daha zor olan kaynak kısıtlı proje çizelgelemeye yönelik bir uygulama

geliştirmişlerdir (Paksoy, 2007:9). Modifiye edilmiş çaprazlama ve mutasyon işlemleri ile genetik işlemler sonucunun da uygun çözelge vermesi sağlanmıştır. Yani uygulanan genetik işlemler, projenin kaynak ve öncülük ilişkilerini ihlal etmeyecek şekilde düzenlenerek, proje uygunluğu temin edilmiştir. Geliştirilen algoritma; literatürde bilinen iki probleme uygulanarak, bilinen optimum değere etkin ve hızlı bir şekilde erişilmiştir. Araştırmacılar geliştirdikleri evrimsel programın, diğer hesaplaması güç optimizasyon problemlerine uygulanabileceğini öne sürmektedir (Paksoy, 2007:9).

Pet-Edwards ve Mollaghasemi (1995), stokastik faaliyet süreli kaynak kısıtlı proje çözelgeleme problemini genetik algoritma ile çözmeye çalışmışlardır (Paksoy, 2007:10). Algoritmalarında, ele aldıkları tek bir problemi altı farklı sezgisel yöntem kullanarak, her bir yöntem için proje tamamlanma süresini hesaplamışlar ve yöntemler arasındaki fark bir z değerinden büyük olduğu sürece algoritmayı tekrar çalıştırmışlardır (Paksoy, 2007:10). Yöntemin sonuçları arasındaki fark z değerine eşitlendiğinde ya da küçüldüğünde algoritmayı durdurmuşlardır. Çalışma sonuçlarına göre, optimal sonucu elde etmek için altı elemanlı başlangıç toplumundaki eleman sayısını ve iterasyon sayısını arttırmak gerektiğini öne sürmüşleridir (Paksoy, 2007:10).

Mori ve Tseng (1997), yenilenebilir kaynak kullanan faaliyetleri içeren çok aşamalı kaynak kısıtlı proje çözelgeleme problemleri için bir stokastik algoritma geliştirmişlerdir (Paksoy, 2007:11). Araştırmacılar geliştirdikleri genetik algoritmada; doğrudan kromozom temsilini tercih etmişlerdir. Başlangıç toplumunu ise Min LFT öncelik kuralını kullanarak, her bir kromozomun rastgele bir şekilde seçildiği ileri ya da geri çözelgeleme yöntemi ile oluşturmuşlardır. Araştırmacılar stokastik çözelgeleme sonuçlarını Drexl ve Gruenewald (1993)'in stokastik çalışma sonuçları ile karşılaştırarak geliştirdikleri algoritmanın daha iyi olduğu sonucuna varmışlardır (Paksoy, 2007:11).

Özdamar (1999), genetik algoritmayı çok işlemcili faaliyetlerin çözelgelemede kullanmıştır (Özdamar, 1999, 47) . Algoritmada kromozomlar dolaylı bir şekilde kodlanmıştır. Kromozomlar, her bir faaliyetin işlemci numarasını ve çözelgeleme kuralı bilgilerini içermektedir. Algoritma aşamalı bir şekilde projeyi

çizelgelerken, kromozomda bulunan çizelgeleme kurallarına bağlı kalarak çizelgelemektedir. Çalışmada, çizelgeleme kuralı olarak öncelik kuralları kullanılmıştır. Araştırmacı, geliştirdiği algoritmanın rasyonel kabul edilebilir bir süre sonunda optimuma yakın çözüm ürettiğini saptamıştır (Paksoy, 2007:11).

Şerifoğlu vd çalışmalarında erken ve gecikme puanlı çok işlemcili işleri çizelgeleme problemlerinde genetik algoritmayı kullanmışlardır (Şerifoğlu vd, 2000, 4). İşlerin zamanında tamamlanmasının yanı sıra, ceza maliyetlerinin de en küçüklenmesi problemin karmaşıklığını daha da arttırmaktadır. Probleme yönelik iki genetik algoritma geliştirilmiştir. Algoritmanın biri çaprazlama operatörü kullanılarak, diğeri de çaprazlama operatörü kullanılmadan hazırlanmıştır. 960 adet rastgele üretilen problemler üzerinde yapılan testler sonunda, her iki genetik algoritmanın da küçük problemlerde etkin sonuçlar verdiği gözlenmiştir. Ancak problemin büyüklüğü ve karmaşıklığı arttığı durumda operatörlü genetik algoritmanın daha cazip olduğu gözlenmiştir.

Güvenç (2000), çalışmasında çok modlu, kesintisiz, kaynak kısıtlı proje planlaması problemleri için bir genetik algoritmanın yaklaşımı anlatmaktadır (Güvenç, 2000, 14). Önerilen yöntemi uygulayabilmek için GARCS adında bir bilgisayar programı yazılmıştır. GARCS programının ana amacı inşaat problemlerindeki kaynak tahsisi problemlerini çözmektir. Problemin hedefi toplam proje süresinin ve mevcut kaynak profilindeki sapmaların minimize edilmesidir. GARCS bir örnek problem üzerinde denenmiş ve sonuçlar genetik algoritmanın geleneksel yöntemlere göre; çok modlu kaynak kısıtlı planlama problemlerine daha hızlı ve iyi sonuçlar verdiğini göstermiştir.

Hartmann (2001), çalışmasında her faaliyeti çok aşamalı olan proje çizelgeleme problemini ele almış ve proje bitirme zamanını en küçüklemek amacıyla bir algoritma geliştirmiştir (Paksoy, 2007:13). Genetik kodlama, faaliyet listesi ve faaliyetlere atanan aşamalar temel alınarak hazırlanmıştır. Standart örnek problemler üzerinde uygulama yapan araştırmacılar, geliştirdikleri algoritmanın diğer sezgisel yordamlarla elde edilen sonuçları aşarak optimum proje bitirme zamanından çok az bir sapma gösteren sonuçlar elde etmişlerdir.

Vanhoucke vd. (2001); çalışmalarında, erken- geç ceza maliyetleri ile ağırlıklandırılmış kaynak kısıtlı proje çizelgeleme problemlerini konu almışlardır (Paksoy, 2007:14). Çalışmada tüm faaliyetlerin süresi, bir birim erken ve geç ceza maliyetleri ve yenilenebilir kaynak gereksinimleri gibi değişkenlerin sabit (deterministik) olduğu varsayılmaktadır. Çalışmanın amacı, ağırlıklandırılmış erken-geç ceza maliyetlerini minimize edecek şekilde projeyi çizelgelemektir. Problemin bu özellikler ile çizelgelenmesi, özellikle tam zamanlı uygulamalar açısından çalışmanın önemini daha da artırmaktadır. Araştırmacılar geliştirdikleri algoritmayı rastgele üretilen problem seti üzerinde test ederek etkin sonuçlar elde etmişlerdir.

Zamani (2001), çalışmasında geliştirdiği ve yüksek performans gösteren algoritma, projenin bölümlere ayrılarak çizelgelenmesi ve daha sonra çizelgelenen bu bölümlerin bir ağaç şeklinde birleştirilmesi mantığına dayanmaktadır (Paksoy, 2007:14). Probleme ait her bir kısmi çizelge, kendi bünyesindeki faaliyetlerin öncüllük ilişkileri ve kaynak kısıtlarını karşılayarak hazırlanmaktadır ve tamamlanmayan faaliyetlerin alt sınırları her bir kısmi çizelgeyle birleştirilerek ve bir ağaç halinde birbirine bağlanmaktadır. Dallanma işlemi, en küçük alt sınırlı kısmi çizelgelerin yer alması ile yapılmaktadır ve dallanma işlemi, optimal çizelge elde edilinceye kadar devam etmektedir (Paksoy, 2007:15). En küçük alt sınırlı kısmi çizelgelerde dallanma yapılmasına rağmen, algoritmadaki kısmi çizelgeler birbirinden bağımsız veri grubu gibi ele alındığından, dallanmak için kısmi çizelge seçiminde büyük bellek ve işlem süresi ihtiyacı duyulmamaktadır. Bu özelliği ile algoritma, 100 faaliyetli ve 6 farklı kaynak tipi içeren kapsamlı KKPC problemlerinin çözümüne imkân verebilmektedir.

Hindi vd. (2002), kaynak kısıtlı proje çizelgeleme problemini genetik algoritma ile çözmüşlerdir (Paksoy, 2007:15). Çizelgeleme algoritmasında, karşılaştırmalı değerlendirme yapmak amacıyla iki farklı problem kümesi kullanmışlardır. Birinci problem kümesinde 330 problem, diğesinde 2040 problem hazırlamışlardır. Çalışmalarında önerdikleri algoritmanın, en iyi çözümler ve bu çözümlerin ortalama hatalarının etkin olduğunu ileri sürmektedirler. Ayrıca

geliştirilen algoritmanın hesaplama süresinin orta düzeyde olduğunu söylemektedirler (Paksoy, 2007:15).

Wang ve Lu (2002), kaynak kısıtlı proje çizelgeleme problemlerine yönelik geliştirdikleri algoritmayı, literatürde karşılaşılan kıyaslamalı bir örnek üzerinde uygulayarak değerlendirmişlerdir (Paksoy, 2007:15). 20 faaliyetten oluşan örnek problemin proje bitirme süresi; kritik yol metoduyla yani kaynak kısıtı göz önüne alınmadan, 32 gün olarak belirlenmiştir. Problemin sonucu, MS Project 2000 programı ile 49 gün olarak belirlenirken, araştırmacılar kendi algoritmaları ile çözümü 46 gün olarak bulmuşlardır. Algoritmanın çalışma süresi 2–3 saniyeden 6–7 saniyeye çıkarıldığında ise proje tamamlama süresi 43 gün olarak belirlenmiştir (Paksoy, 2007:15).

Artigues vd. (2003), kaynak kısıtlı proje çizelgeleme problemlerini statik ve dinamik ortamlarda yorumlamaktadırlar (Paksoy, 2007:16). Dinamik ortamdaki bir kaynak kısıtlı proje çizelgeleme probleminin, başlangıç konumunda söz konusu edilen parametrelerdeki değişime uyum sağlayabilmesi amacıyla yeni bir algoritma geliştirmişlerdir. Bu uyumlaştırma iki şekilde olmaktadır. Birincisi, değişim olduğunda projenin yeniden çizelgelenmesi, ikincisi ise cari çizelgede değişimi yansıtarak kısmi değişim uygulanmasıdır. Çalışmada değişim; beklenmeyen bir faaliyetin ortaya çıkması olarak ele alınmaktadır. Beklenmeyen bu faaliyetin, statik ve dinamik kaynak kısıtlı proje çizelgeleme problemlerine, proje bitirme zamanını optimum edecek şekilde eklemek için, ekleme tekniği geliştirmişlerdir (Paksoy, 2007:16).

Ke ve Liu (2004); çalışmalarında proje çizelgeleme problemini, faaliyetlerin stokastik faaliyet süreli olduğu ve her bir faaliyetin tamamlanma sınırını aşmayacak varsayımı ile ele almışlardır (Paksoy, 2007:17). Farklı yönetim ihtiyaçlarını karşılayabilecek şekilde çizelgeleme problemini çözmek için, üç farklı stokastik model (beklenen maliyet modeli, a-maliyet modeli ve olasılığın optimizasyonu modeli) geliştirilmiştir. Benzetim ve genetik algoritma modelleri bütünleştirilerek melez ve akıllı bir algoritma geliştirmeye çalışmışlardır. Algoritmanın etkinliğini göstermek içinde bazı sayısal örnekler tanımlanarak kullanılmıştır. Çalışma sonucu

elde edilen bulgular, melez ve akıllı algoritmanın proje çizelgeleme problemlerinde etkin bir şekilde kullanılabileceğini göstermektedir.

Debels ve Vanhoucke (2005), çalışmalarında genetik algoritmanın geleneksel başlangıç toplumu yerine iki farklı başlangıç toplumu oluşturarak genetik işlemleri uygulamışlardır. Her iki toplum da seri proje çizelgeleme ile oluşturulmaktadır. Toplumun biri ileriye doğru çizelgeleme, diğeri de geriye doğru çizelgeleme tekniği kullanılarak oluşturulmuştur. Toplumlar, faaliyet listesi şeklinde temsil edilmektedir. Seri proje çizelgeleme ile çizelgeleme esnasında toplumun biri, diğeri toplumun bilgisinden yararlanarak değiştirilmektedir. Çalışma sonuçları, şimdiye kadar yapılan sezgisel algoritmalarla kıyaslandığında en iyisi olarak görülebilmektedir (Paksoy, 2007:16).

3.3.3.4. Karınca Kolonisi Yöntemi

Karınca kolonisi optimizasyonu (ACO) bir çok kombinasyonel optimizasyon probleminin çözümünde iyi sonuçlar veren ileri sezgisel bir çözüm yöntemidir. Bu tekniğin geliştirilmesinde karınca kolonilerinin gıda arama tekniklerinden faydalanılmıştır. Birçok karınca kolonisinde karıncalar yiyeceklerini ararken, öncelikle yuvalarının etrafında rastgele dolaşarak keşfe başlarlar. Yiyecek kaynaklarını bulduklarında, yiyeceğin kalitesini ve miktarını değerlendirdikten sonra bir kısmını yuvaya taşırlar. Bu dönüş sırasında diğeri karıncaların da aynı kaynağı bulabilmeleri için yiyeceğin kalitesine ve miktarına bağlı olarak kimyasal feromen maddesini geçtikleri yolun üzerine bırakırlar. Bırakılan bu izler diğeri karıncalara rehberlik ederek belli olasılıkla o yolu takip etmelerini ve kaynağı bulmalarına yardım eder. Bu şekilde feromen vasıtasıyla yapılan dolaylı iletişim, karıncaların gıda ile yuva arasında en kısa yolu bulmalarına olanak tanır. İşte karıncaların bu davranışları karınca kolonisi algoritmalarının geliştirilmesinde ilham kaynağı olmuştur (Ege, 2001:45).

İlk karınca kolonisi algoritması 1991 yılında Dorigo tarafından doktora tezi olarak gerçekleştirilmiştir (Ege, 2001:45). Bu algoritmaya ise karınca sistemi adı verilmiştir. Dorigo bu algoritmayı değişik boyutlardaki birçok gezgin satıcı probleminde denemiş ve küçük ölçekli problemlerde (75 şehirden az) başarılı

sonuçlar alırken daha büyük ölçekli problemlerde başarılı sonuçlar alamamıştır. Karınca sistem algoritması aslında karınca döngüsü, karınca yoğunluğu ve karınca miktarı olmak üzere üç farklı algoritma kümesinden oluşmaktadır. Bunların arasındaki fark ise feromenin depolanmasında yatmaktadır. Karınca döngüsü algoritmasında feromen sadece her karınca turunun sonunda o karıncanın turu üzerindeki her kenar, uzunluklarıyla ters orantılı olarak feromenle depolamaktadır. Bununla birlikte her sanal karınca gerçeğinin aksine geçtiği yolları hatırlamak için bir hafızaya sahiptir. diğerk iki algoritmada ise feromen yolu, karınca bir noktadan diğerk bir noktaya geçerken güncellenmektedir. Yapılan testler sonucunda karınca döngüsü algoritmasının daha iyi sonuçlar verdiği ortaya çıkmış ve genel bir yapı kazanmıştır. Karınca sistemi denildiğinde bu algoritma kastedilir hale gelmiştir (Ege, 2001:46). Algoritma üzerinde ilk geliştirim, seçimsel strateji olarak yine Dorigo tarafından 1996 yılında gerçekleştirilmiştir. Bu yaklaşımda arama süreci esnasında bulunan en iyi yola, daemonlar tarafından daha fazla feromen doldurulması yöntemi kullanılarak daha iyi sonuçlar elde edilmiştir. Yine 1996 yılında Dorigo ve Gamberdalla tarafından karınca kolonisi sistem algoritması geliştirilmiştir. Bu sistem ‘en iyi sonucun komşularında sonucu arama’ üzerine yoğunlaşmaktadır. Bunu iki mekanizma ile gerçekleştirmektedir. Birincisi, sadece en iyi karıncaların feromen bırakmasına izin verilmesi, diğerk ise bir noktadan başka bir noktaya gidilirken denge unsuru olarak bir pseudo-random orantı kuralı kullanılmasıdır(Ege, 2001:46).

Karınca kolonisi algoritmasının gelişiminde gezgin satıcı problemi üzerine yapılan çalışmalar önemli rol oynamaktadır. Bunun dışında yöntem çizelgeleme problemleri ve kaynak kısıtlı proje çizelgeleme problemlerinde de başarılı bir şekilde uygulanmıştır. Ülkemizde konu ile ilgili olarak Kılıç ve Kaylan (2005), uçak çizelgeleme probleminde, Dereli vd. (2004), çift taraflı montaj hattı dengeleme probleminin çözümünde karınca kolonisi yöntemini kullanmışlardır. Geniş bir literatür taraması sonucunda ise daha farklı problemlerin çözümünde de bu yöntemden yararlanıldığı görülür.

Kaynak kısıtlı proje çizelgeleme problemlerinin çözümünde de karınca kolonisi yönteminden yararlanılmaktadır. Chen ve Lo (2006), yaptıkları çalışmada

çok kısıtlı proje çizelgeleme problemlerine DDACS isimli yeni bir çözüm açılımı geliştirdiler (chen ve Lo 2006). Geliştirilen bu yöntem kaynak ve faaliyet boyutlu bir matris grafiği ile çözüme ulaşmayı amaçlar. Yapılan uygulamalar sonucunda geliştirilen algoritmanın optimum çözüme yönelik başarılı sonuçlar verdiği araştırmacılar tarafından gözlenmiştir.

3.3.3.5. Dağınık Arama (scatter search) Yöntemi

Dağınık arama metasezgiseli prensipleri ilk kez 1970'lerde Fred Glover tarafından ortaya atılmıştır. Dağınık arama metodunun en önemli özelliği tabu arama meta sezgiseline bağlı olması ve arama prosedürünün iyileştirilebilmesi gerçeğidir. Dağınık arama metodu kalıtsal olduğu düşünülen güçlü bir hafızaya sahiptir. Güçlü hafızası sayesinde arama sırasında bulduğu iyi çözümleri saklar ve yeni çözümler üretirken sakladığı iyi çözümlerin özelliklerinden faydalanır. Sadece güçlü bir hafıza yeterli değildir. Aynı zamanda tabu aramasının adaptiv hafızası dağınık arama metodunun etkinliğini artırır. Dağınık arama prosedürü aşağıdaki gibi gerçekleşir (Oktay, Engin, 2006:4).

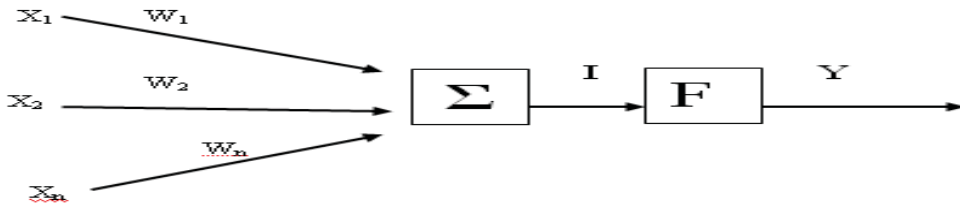
- İlk popülasyonu oluştur
- Popülasyondan referans kümesini üret
- Referans kümesinden bir altküme seç
- Altkümeye kombinasyon prosedürünü uygula
- Kombinasyonları iyileştir
- Referans kümesini güncelle
- Yeni referans kümesi gerekinceye kadar 3 den 6 ya adımları tekrarla
- Bir popülasyon gerekinceye kadar 2 den 7 ye adımları tekrarla
- Sonlanma kriteri gerçekleşinceye kadar 1 den 8 e adımları tekrarla

Yapılan literatür taramasında, özellikle ülkemizde, konu ile ilgili yapılmış pek fazla çalışma bulunamamıştır. Fakat D.S. Yamashita'nın proje çizelgeleme problemine yönelik yaptığı çalışmalar, yöntemin gelişmesini ve bilinirliğinin artmasını sağlamıştır.

3.3.3.6. Yapay Sinir Ağları

Canlı organizmalar dış ortamda meydana gelen değişiklikleri duyu organlarıyla algılar, değişik duyu organlarından gelen binlerce bilgi ise sinir sistemi tarafından taşınır, işlenir ve tepki oluşturulur. Sinir hücresi (nöron) sinir ağının yapı tasıdır. Nöronlar birbirleriyle iletişim kurarak ve bu iletişim ile diğer nöronları etkileyerek çalışırlar. Nöronlar diğer nöronlardan ağırlıklandırılmış bağlar yoluyla bilgi (input) alır.

Bu bilgiler nöron içerisinde bir fonksiyon tarafından değerlendirildikten sonra diğer nöronlara gönderilir. Birbirleriyle karmaşık bir şekilde bağlanmış nöronlar bir nöron ağını (neural net) oluşturur. Sinir ağının matematiksel olarak gösterimi yapılmak istenirse;



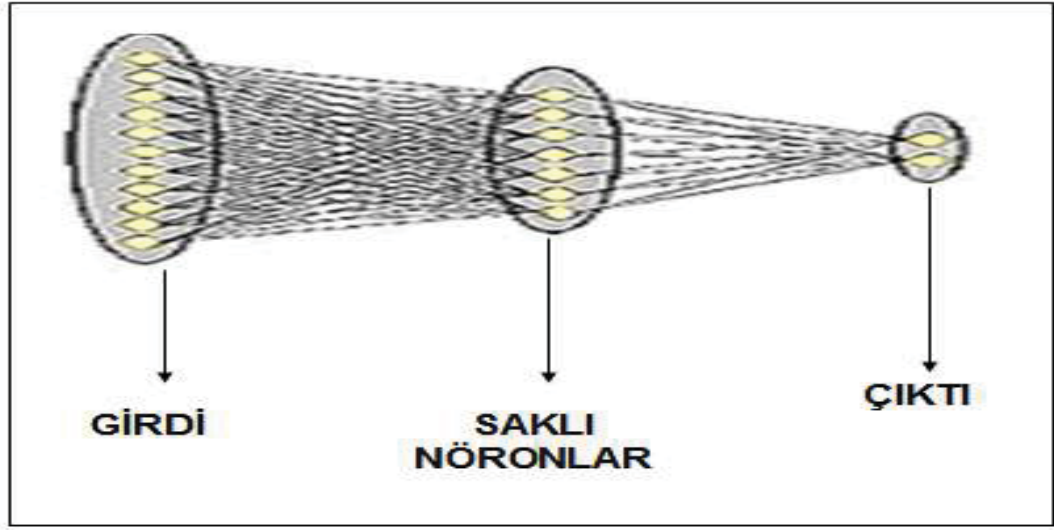
Şekil 4: Yapay Sinir Ağlarının Matematiksel Gösterimi

X_n : Bir nöronun girişini etkileyen vektörler, diğer nöronların çıkışları olabilirler.

W_n : Vektör ağırlıkları, kolaylaştırıcı ilişkiler için pozitif, engelleyici ilişkiler için negatif değerler alırlar.

$$I = \sum_{i=1}^n X_i W_i \quad \text{Nörondaki toplam Potansiyel seviyesi}$$

$Y = F(I)$: Nöron çıkış değeri



Şekil 5: Yapay sinir ağlarında girdi – çıktı arasındaki ilişki

Sinir ağı (Neural Net-NN) içerisinde üç değişik tipte nöron bulunur. Girdi nöronları (input neurons) dış ortamdaki kodlanmış bilgileri alır. Çıktı nöronları (output neurons), probleme cevap niteliğinde olan kodlanmış bilgiyi dış ortama gönderir. Saklı nöronlar (hidden neurons) ise girdi bilgilerini işleyerek çıktı bilgilerini oluşturur. Sinir ağlarında en fazla kullanılan model çok katlı algılama (Multi Layer Perceptron - MLP) modelidir. MLP hiyerarşik katmanlarda gruplanmış nöronlardan oluşur. Sinir ağı örnekler kullanılarak eğitilir. Kullanılan örneklere eğitim kümesi (training set) denir ve bu küme ile ilişkiler öğretilir. Eğitim kümesindeki örneklerin tüm kümeyi temsil edebilme özelliği Sinir ağının öğrenme düzeyini belirler. Nöronlar arasındaki bağlara, ağırlıklandırılmış bağ veya ağırlık denir. Başlangıçta ağırlıklar rastsal değerler olacaktır. Her turda her nöronun çıktı bilgileri hesaplanır, ve eğitim kümesinde elde edilen çıktılar ile karşılaştırılır. Farka, eğitim hatası (training error) denir. Ağırlıklar değiştirilerek bu hatanın minimum düzeye indirilmesi amaçlanır. Stokastik bir yapıda proje çizelgeleme problemlerinin ele alınarak yapay sinir ağları ile çözümüne ilişkin Vaithyanathan tarafından bir öneri geliştirilmiştir. Bu çalışmada öncelikle model çok boyutlu sırt çantası problemine dönüştürülmüştür. Daha sonra bu modelin eşlenik modeli yapay sinir ağları kullanılarak geliştirilmiştir. Hopfield ve tank aşları geliştirilerek orijinal modele bir çözüm yaklaşımında bulunulmuştur. Böylece çözümde oluşabilecek istikrarsızlık ve

lokal minimuma yakalanma riski ortadan kaldırılmıştır. Belirli tip problemlerin çözümü için önerilen yaklaşım kaynak kısıtlı problemlerin dinamik türlerini çözmek için önerilmiştir (Sarı, 2008:87).

Hopfield şebekelerini ve sınaama tabanlı şebekeleri esas alan bir yaklaşımda Kartam tarafından önerilmiştir. Bu çalışmada kritik yol analizi ile elde edilen çözümler yapay sinir ağları kullanılarak elde edilmiştir. Sinir ağı iki katmana ayrılmıştır birinci katman girdi ve sınaama katmanı diğer katman ise yapay düğüm matrislerinden oluşmaktadır. Çözüm mekanizması hareket eşitleme ve rekabetçi çözüm değerlendirme şeklinde yürütülmektedir. Hareket eşitleme faaliyetleri yer değiştirerek kaynak dağıtımını düzenlerken rekabetçi çözüm mekanizması ile en iyi çözüm aranmaktadır (Sarı, 2008:88).

3.3.3.7. Örneklem Kümeleme

Çok Başlangıç (Multi Start-MS) sezgiseli, zor kombinatoriyal problemlerin çözümüne rastsallaştırılmış bir lokal arama yöntemi olarak yaklaşarak çözüm arayan en basit ve en fazla bilinen yöntemlerden biridir. Çok Başlangıç sezgiseli global, lokal ve test olmak üzere üç safhadan oluşur. Global safhada S çözüm uzayı içerisinde belirli sayıda yeni K başlangıç noktası rastsal olarak oluşturulur. Lokal safhada, lokal optimum kümesine ilave edilmek üzere yeni lokal optimum çözümler aranır. Test safhası, yakın zamanda yapılan lokal aramalarda lokal optimum kümesi değişmediğinde veya belirli sayıda iterasyon neticesinde algoritmayı durdurur.

Örneklem Kümeleme metodu Boender ve diğerleri tarafından 1982 yılında önerilmiştir. Çok başlangıç sezgiselinden farkı global safhasının daha karmaşık olmasıdır, diğer iki safhası aynıdır. Genellikle S çözüm uzayı içerisindeki birçok başlangıç noktası aynı lokal optimuma ulaşmaktadır. Örneklem Kümeleme metasezgiselinin en önemli özelliği aynı lokal optimum sonuca ulaşan başlangıç noktalarını kümeleyerek hesaplama zamanını veya hesaplama eforunu azaltmaktır. Başarılı bir kümeleme yapıldığı takdirde aynı optimum değerine ulaşacak birçok başlangıç noktası için tekrarlama yapılmasına gerek kalmamaktadır. Kombinatoriyal problemlerin çözümünde kullanılacak bir Örneklem Kümeleme metodunda aşağıdaki ayrık kümeler kullanılır:

Lokal optimum için aramanın başlatılabileceği noktalar kümesi (YY)

Lokal optimumlar kümesi (Y^*)

Arama neticesinde Y^* kümesine ulaşan Y^\wedge başlangıç noktaları kümesi YY kümesi elemanlarına aday noktalar denir. $Y^* \cup Y^\wedge$ kümesi elemanlarına tohum noktalar (seed points) denir. Örneklem Kümeleme'nin her ana döngüsünde global safha işlem basamakları:

S uzayında rastgele yeni K başlangıç noktaları oluştur ve YY kümesine ekle, YY kümesindeki en kötü amaç fonksiyon değerine sahip elemanları oranını kullanarak kümeden çıkart, uygun bir kümeleme (clustering) kuralı ile YY kümesindeki noktaları mümkün olduğunca tohum kümesi etrafında kümele (Sarı, 2008:88-90).

Eğer YY kümesinin bazı elemanları kümelenememiş ise bu noktalar içinden en iyilerini seçmek ve lokal bir optimuma ulaşmak için lokal bir arama yapmak üzere lokal safha uygulanır. Eğer yeni bir optimum değer bulunursa Y^* kümesine eklenir, yeni bir optimum değer bulunmaz ise başlangıç noktası Y^\wedge kümesine dahil edilir. Bu işleme tüm aday noktalar kümelenene kadar devam edilir. Tüm YY noktaları kümelendiğinde, yeni bir optimum bulunmadığında test safhası algoritmayı durdurur. S çözüm uzayındaki noktalar arasındaki uzaklığı temel alan birçok kümeleme kuralı oluşturulabilir (Sarı, 2008:88-90). Örneklem Kümeleme algoritmasının etkinliği çözümlerin S uzayında düzgün dağılımlı bir rastsallıkla üretilmesine bağlıdır. Birçok kombinatoryal problem için düzgün bir rastsallık ile rastgele çözüm üretmek kolaydır ancak uygun çözümlerin düzgün bir rastsallıkla üretilmesi zordur. Bu durumda düzgün bir rastsallıkla rastgele uygun çözümlerin bulunması için harcanacak efor (uygunluğun kontrol edilmesi ve uygun olmayan çözümlerin cezalandırılması için zaman harcanması) ile düzgün rastsallık düzeyi arasında iyi bir denge kurulmalıdır. Örneklem Kümeleme metodu verilen başlangıç çözümünden lokal optimuma ulaşma maliyetinin verilen çözümü kümeleme maliyetinden fazla olduğu durumlar için uygundur (Sarı, 2008:88-90).

3.3.4. Diğer Sezgisel Yöntemler

3.3.4.1. Yerel Kısıt Analizi

Yerel kısıt temelli analiz (LCBA) yöntemi, her çizelgeleme anında faaliyetlerin kısıtlarını yeniden değerlendirir. Bu kısıtlar, kaynak kısıtları ve öncüllük kısıtlardır. Her çizelgeleme anında kısıtlar güncellenir. Bu kısıtlar çizelgelenebilir faaliyetler kümesini belirler. Çizelgelenebilir faaliyetler kümesini oluşturan faaliyetleri atama önceliğine göre gruplandıran bir dizi kural geliştirilmiştir. Bu kurallar, kümenin elemanları arasında en yüksek atama önceliğine sahip faaliyetleri belirlerler. Bu faaliyetler atanmamaları halinde proje süresinin uzamasına neden olacak olan faaliyetlerdir. Bu kurallar, çizelgeleme anında atanmaması gereken faaliyetleri de ayrıca belirleyerek, kümeden dışlar ve böylece çizelgelenebilir faaliyetler kümesini daraltır. En yüksek öncelikli gruptaki faaliyetlerin hepsinin çizelgelenmesinden sonra, hala yeterli kaynak varsa, çizelgelenebilir faaliyetler kümesinden dışlanmamış faaliyetler çizelgelenmek üzere alınır (Ulusoy, 2000:12).

3.3.4.2. Yerel Arama

Makine çizelgeleme problemlerinin çözümünde oldukça yaygın olarak kullanılan yerel arama yöntemlerinin, proje çizelgelemede bir örneği Sampson ve Weiss (1993) tarafından verilmiştir. Uygulanacak yerel arama yöntemi; çözümün gösterimi, komşu çözüm kümesinin tanımı ve bu kümenin taranma yöntemi ile tanımlanır. Eldeki çözümün öncüllük ilişkileri açısından olurlu olması istenir. Ancak kısıtlı kaynaklar bakımından olurlu olmayabilir. Kısıtlı kaynakların ihlali belirli bir ceza yöntemi ile yöntemin proje süresinin minimize edilmesi olan amaç işlevine dâhil edilir. Faaliyetler sıra ile ele alınarak; faaliyetlerin komşu çözüm kümeleri tarandıktan sonra elde edilen en iyi çözüm, mevcut çözüm olarak kabul edilir. Bütün faaliyetler için bu döngünün tekrarlanması bir iterasyon oluşturur. Önceden kararlaştırılmış bir iterasyon sayısına erişildikten sonra algoritma sonlandırılır. Yazarların iterasyon kullanarak yaptıkları sayısal deneyler, önerilen yerel arama algoritmasının sonuçlarının en iyi çözümden ortalama % 1.98 daha yüksek sonuçlar verdiğini göstermiştir (Ulusoy, 2000:12).

3.3.4.3. Budanmış Dal-Sınır Yöntemi

Budanmış dal-sınır (truncated branch and bound) yönteminde, tüm olası dallanma olanakları kullanılmaz. Dallanma, sezgisel kurallar marifeti ile daraltılır ve böylece birerleme ağacının çok daha az sayıda düğüm içermesi sağlanır. Bu şekilde daha kısa sürede bir sonuca ulaşılması mümkün olur. Ulaşılan sonucun en iyi olması garantisi yoktur. Alvarez-Valdes ve Tamarit (1989) önerdikleri budanmış dal-sınır yönteminde her düğümden sadece bir düğüme dallanılarak çözüme gidilir (Erdal,2007:26).

3.3.4.4. Ayırkaç Ayırt Yöntemi

Ayırkaç ayırt (*disjunctive precedence arc*) yönteminin ana fikri, öncüllük açısından olurlu olmakla birlikte, kaynak kısıtları nedeni ile bir arada atanamayan faaliyetlerin en küçük kümesindeki faaliyetler arasında gerçekte olmayan öncüllük ilişkileri yaratarak bu kümeyi parçalamaktır. Bu işlem, yaratılan öncüllük ilişkisinin proje seriminin FDG gösteriminde iki faaliyet arasına bir ayırkaç ayırt eklenmesi ile gerçekleştirilir. Faaliyetlerinin en erken atanabileceği, hem öncüllük hem de kaynak kısıtları açısından olurlu yeni faaliyet kümelerinin oluşturulması hedeflenir (Ulusoy, 2000:12-13).

Alvarez-Valdes ve Tamarit (1989) en küçük kümeyi parçalamak için dört ayrı yol önermişlerdir. Bunların en başarılı olanı, en küçük eleman sayısına sahip kümeler arasından birisinin rast gele seçilmesi ve bu kümedeki faaliyetler arasına proje süresini en az artıracak ayırkaç ayırtın eklenmesi kuralıdır. Bell ve Han (1991)'da ayırkaç ayırt kullandıkları iki aşamalı bir algoritma önermişlerdir. Birinci aşamada, kaynak kısıtı olursuzluklarını her seferinde ayırkaç ayırtlar kullanarak çözen tek geçişli bir algoritma ile bir çözüm elde edilmektedir. İkinci aşama ise bir geri dönüş algoritmasıdır. Bu aşamada, bu olurlu çözümdeki kritik yol üzerinde her ayırkaç ayırt sıra ile geçici olarak kaldırılıp birinci aşama yeniden uygulanmaktadır. Bu uygulama gelişme sağlanamayana kadar devam etmektedir.

DÖRDÜNCÜ BÖLÜM

4. GENETİK ALGORİTMALAR

Doğadaki birçok icat ve çözüm yolunun ortaya çıkmasında olduğu gibi genetik algoritmalarında ortaya çıkmasında doğa olaylarından esinlenilmiştir. Genetik algoritmalar kavramının özünde, evrimsel teoriyi barındıran bir en iyiyi bulma amacı vardır. Bilindiği gibi evrim kuramına göre canlılığın devamı ve çeşitliliği doğal seçilimle sağlanır. Doğal seçilimin üç temel bileşeni vardır; genetik karakterlerin devamlılığını sağlayan kalıtım, farklı karakterlerin popülasyonda ki zenginliğini sağlayan çeşitlilik ve bu çeşitli karakterlerden doğadaki koşullara en uygun olanının hayatta kalmasını sağlayan seçilimdir. 1850’li yıllarda Charles Darwin tarafından ortaya atılan evrim teorisi hakkında bu tarih öncesi ve sonrasında birçok çalışma yapılmıştır.

Evrimsel teori üzerine yapılan çalışmalar birçok bilim alanında da kullanılmıştır. I.Rechenberg evrimsel teoriye dayanarak 1960 yılında evrimsel hesaplamayı geliştirmiş ve bu konu ile ilgili araştırmalarını evrimsel stratejileri (Evolution Strategies - 1960) adlı eserinde toplamıştır.

John Holland Michigan Üniversitesinde makine öğrenmesi üzerine yaptığı çalışmalarda evrimsel teori ve evrimsel hesaplama kavramlarından yararlanmış ve çalışmaları sonucunda genetik algoritma kavramını ortaya çıkarmıştır. Yaptığı çalışmaları, yapay ve doğal sistemlerde adaptasyon (Adaptation in Natural and Artificial System–1975) isimli kitabında toplamıştır. J.Holland çalışmasında, sadece bir tane mekanik yapının öğrenme yeteneğinin geliştirilmesi yerine, böyle yapılardan oluşan bir topluluğun; çoğalma, çiftleşme, değişim vb. genetik süreçlerden geçirilerek, başarılı yeni bireylerin oluştuğunu açıklamaya çalışmıştır (Gümüşçü, Turğut, Arslan, 2002:2).

John Holland tarafından geliştirilen genetik algoritmalar kavramı ortaya çıktığı dönemde pratik çalışmalarda pek ilgi görmemiştir. Kavramın bilim dünyasında farklı bir çözüm yolu olarak kabul edilip, uygulamalarda kullanılmaya başlanması Holland’ın öğrencisi David Goldberg tarafından yazılan doktora tezine dayanmaktadır. Goldberg 1985 yılında gaz borularının denetimi üzerine yaptığı

doktora tezinde, genetik algoritmaları bir çözüm aracı olarak kullanmış ve bu çalışmasıyla ulusal bilim akademisince (NSF) genç araştırmacı ödülünü kazanmıştır. Doktora çalışmasından 4 yıl sonra kaleme aldığı Optimizasyon, makine öğrenmesi ve araştırmalarda genetik algoritma (Genetic Algorithms In search, optimization, and Machine Learning) isimli çalışması ile genetik algoritmanın birçok alanda birçok bilim insanınca kullanılmasını sağlamıştır.

Son olarak Stanford Üniversitesinden bilgisayar bilimi profesörü John Koza, 1992 yılında genetik algoritma felsefesinden hareketle karmaşık yapıli optimizasyon problemlerinin çözülmesinde kullanılan genetik programlama kavramını geliştirmiştir.

4.1. Genetik Algoritmaların Özellikleri

İnsanoğlu doğada birçok problemle karşılaşmakta ve sahip olduğu kısıtlı kaynaklarla bu problemi çözmeyi amaçlamaktadır. Eğer yegâne amaç problemin çözülmesi ise mevcut yöntemlerle bu sağlanabilirdi. Fakat insanlar, şirketler vb. varlıklar zaman, sermaye gibi kısıtlarını en az kullanarak alınabilecek maksimum verimi almaya çalıştıkları için bu yöntemler yetersiz kalmıştır. İşte bu çözüm yöntemlerinin amaca tam olarak veya kısa sürede ulaşamaması sonucunda yeni bir takım optimizasyon yöntemleri üretilmiştir. Genetik algoritma da bu amaçla üretilen yöntemlerden biridir.

Genetik algoritma sahip olduğu çözüm özellikleri ile klasik olarak adlandırılan diğer bir çok optimizasyon yönteminden farklıdır. Bu farklardan en belirgin olanı genetik algoritmanın, diğer yöntemler gibi, bir noktadan başlayarak karar uzayında en iyi çözümü buluncaya kadar bir izi takip etmemesidir. Bunun yerine karar uzayına birçok noktadan rastgele girerek ve karar noktalarının kendi aralarında evrim teorisi kurallarına uyarak gelişmeleri ile ardışık , daha dinç yani çözüme yaklaşan yeni toplumlar meydana getirerek en iyi sonuca ulaşırlar. Bu özellik genetik algoritmanın özünü oluşturmaktadır ve ilerleyen bölümlerde daha açıklayıcı bir şekilde anlatılacaktır.

Genetik algoritmanın gelişmesinde büyük katkıları olan David Goldberg 1989 yılında yayınladığı kitabında genetik algoritmaların klasik optimizasyon tekniklerinden temel farklılıklarını 4 ana başlık altında belirtmiştir.

- 1) Genetik algoritmalar parametrelerin kodlanmış halleriyle çalışırlar, parametrelerin kendisi ile çalışmazlar.
- 2) Genetik algoritmalar tek bir nokta yerine, noktalar topluğu ile çalışır.
- 3) Genetik algoritma türev ve daha farklı bilgiler yerine sadece amaç fonksiyonu değerlerini kullanır.
- 4) Genetik algoritma belirgin (deterministic) değil, olasılıksal (probabilistic) geçiş ilkelerini kullanır.

Genetik algoritmanın optimizasyon problemlerinin çözümünde sağladığı bazı faydalar aşağıdaki gibi sıralanabilir.

- Kesikli veya sürekli değişkenlerle optimizasyon yapılabilir.
- Türev alma işlemlerine gerek yoktur. Genetik algoritma evrimi sırasında, karar değişkenlerinin belirttiği noktalardaki hedef fonksiyonu değerleri kullanılır. Türev ve integral işlemine gerek olmadığından başlangıç ve sınır şartları ile bazı klasik kabullerin yapılmasına gerek yoktur.
- Çözüm uzayında aynı anda geniş bir alanda çok sayıda noktadan araştırmaya başlanır.
- Çok fazla sayıda değişkenle optimizasyon işlemleri yapılabilir.
- Paralel hesaplamalara çok uygundur.
- Çok fazla uç (en büyük ve en küçük) değeri olan hedef fonksiyonları durumunda bile optimizasyon yapılabilir.
- Yerel en küçüklemeleri sıçrayarak aşabilir. Yerel bir optimuma takılmadan çalışabilirler.
- Sadece mutlak en iyi çözümü değil en iyi çözümlerinin listesini bile verebilir. Alternatif çözümler elde edilebilir.
- Genetik algoritma işlemleri sırasında belirgin olmayan ihtimal ve stokastik geçişler kullanılır.
- Ele alınan olayın doğrusal veya doğrusal olmama durumlarında sonuca ulaşma etkinliğinden bir şey kaybetmez (Şen, 2004:62-63).

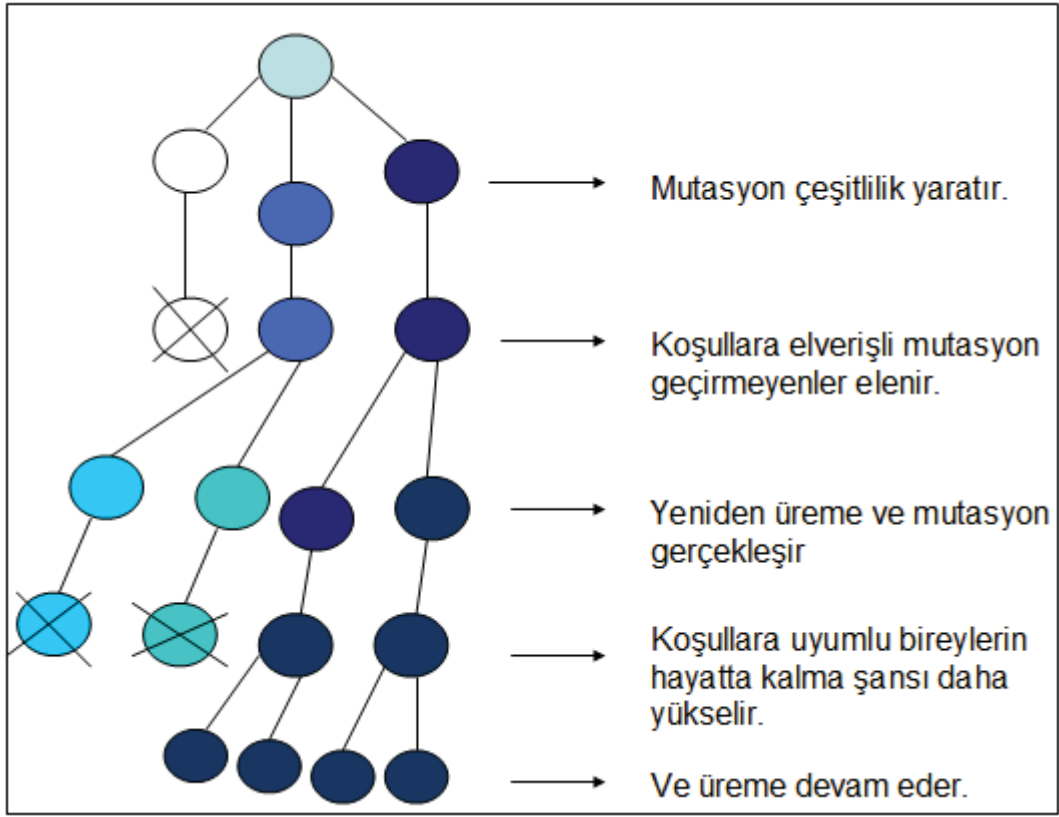
Genetik algoritmanın sahip olduğu özellikler ve klasik optimizasyon yöntemlerinden farklı olduğu sebeplerden ötürü bir çok optimizasyon probleminde kullanılmış ve kısa süreli çalışma zamanında iyi sonuçlar vermiştir.

Fakat tabi ki genetik algoritmanın da taşıdığı bazı mahsurlar vardır, son olarak bu mahsurlardan kısaca bahsetmek gerekirse.

- Çok fazla uyum fonksiyonu hesaplaması gerektirir,
- Global olarak tam optimum noktanın sağlanmasında problem yaşanmaktadır.
- Kullanılan konfigürasyon genel değil, probleme özgü bir yapı taşımaktadır.
- Nesiller arasında iyi özelliklerin kaybolma ihtimali vardır (Duman, 2007:30).

4.2. Genetik Algoritmaların Çalışma Prensipleri

Bu algoritmanın evrim teorisinden esinlenerek geliştirildiği bilindiğine göre her şeyden önce böyle bir evrimi yapabilecek yaratıklara ihtiyaç vardır. Bu yaratıklar doğurabilmeli ve sonra da ölmelidir (Şen, 2004:32). Yapılan bu tanımlamada da görüldüğü gibi genetik algoritmalar evrim teorisinin 3 temel bileşenine bağlı olarak çalışmaktadır; kalıntı, çeşitlilik ve seçilimdir. Genetik algoritmaların çalışma prensibini daha iyi anlamak amacıyla evrim teorisinin çalışma prensibini bir şekil yardımı ile gösterelim.

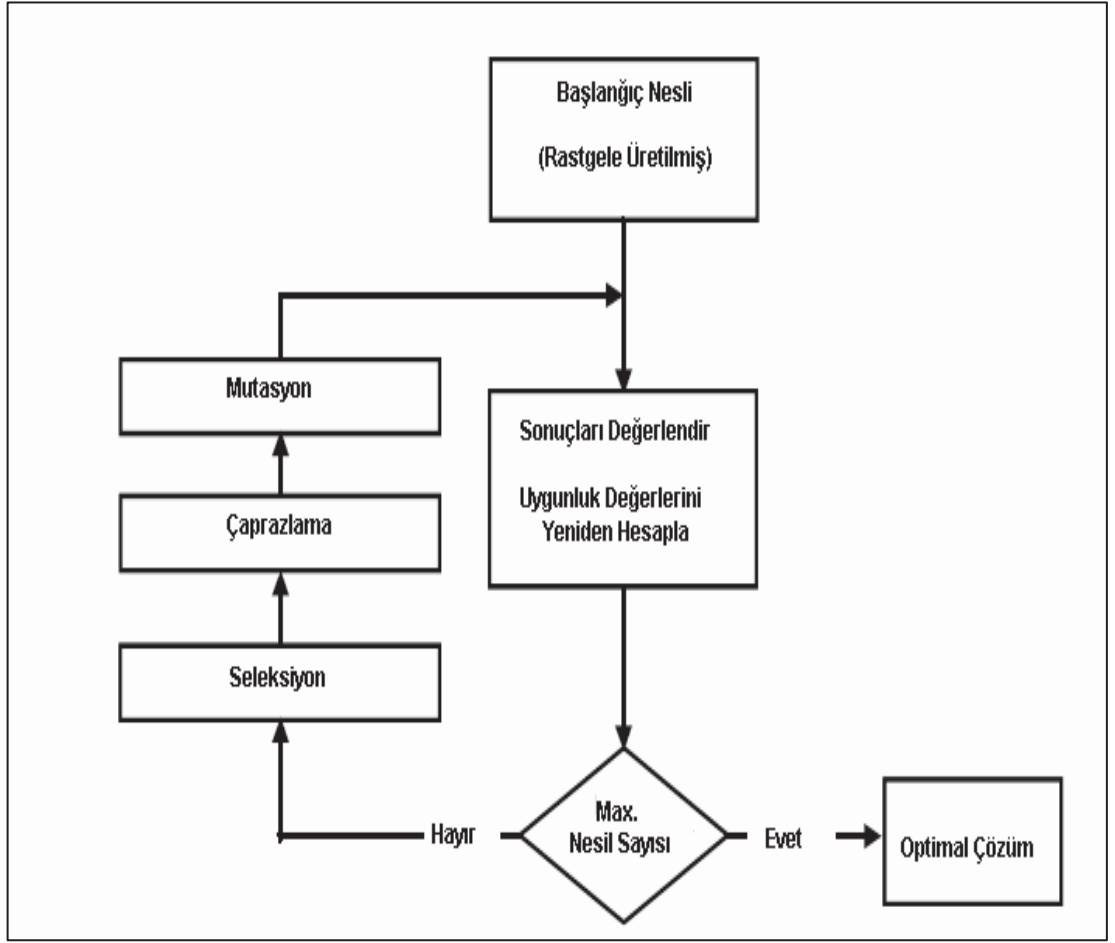


Şekil 6. Genetik Algoritmanın İşleyişi (www.wikipedia.org.)

Goldberg çalışmalarında genetik algoritmayı; rastsal arama teknikleri kullanarak çözüm bulmaya çalışan, parametre kodlama tekniğine dayanan bir arama tekniği olarak tanımlamış ve bir veri grubu içinde özel bir veriyi bulmayı amaçlayan optimizasyon yöntemi olduğunu belirtmiştir.

Genetik algoritma kavramı en iyiyi ararken daha önce bulmuş olduğu çözümlerden yararlanır. Çözümler üzerinde yaptığı çeşitlendirme, eleme vb. işlemlerle en iyi çözüme gider. Evrimsel teoriden esinlenerek ortaya çıkarılan genetik algoritmalar tıpkı evrimsel teorideki gibi bir üreme sürecine sahiptir.

Bu süreci bir şema halinde gösterelim.



Şekil 7. Genetik Algoritmaların İşleyişi-2

4.3. Genetik Algoritmaların Çalışma Adımları

4.3.1 Uygun çözümün tanımlanması

Uygun çözümün tanımlanması aşaması karar vericinin ele aldığı problemi tanımasını içerir. Bu aşamada kullanıcı problemini genetik algoritma yöntemi ile çözmek için hazırlıklar yapar.

- Problemi oluşturan değişkenlerin yapısı nedir?
- Hangi kodlama sistemi ile çalışmak uygun olur?
- Kromozom yapıları nasıl oluşturulacaktır?

Gibi temel sorulara kullanıcı ileriki aşamalarda sorun yaşamamak için bu aşamada cevap vermelidir. Bilindiği gibi genetik algoritmalar bir çok optimizasyon

probleminde kullanılmakta, bu sebeple farklı değişken yapıları ile karşılaşılmaktadır. Bu çalışmalar sırasında araştırmacılar, problemlerin genetik algoritma çözümüne uyarlanmasında farklı kodlama sistemlerini kullanmışlardır.

Genetik algoritmalar daha önce belirtildiği gibi parametre kodlama tekniğine dayalı bir arama yöntemidir. O sebeple genetik algoritma problemlerinde ilk adım problemin kodlama tekniğinin belirlenmesidir. Literatürde farklı kodlama teknikleri vardır bunları kısaca açıklayalım.

4.3.1.1 Kodlama yöntemleri

4.3.1.1.1 İkili Kodlama

İkili kodlama iki tabanlı sayı sistemini kullanmaktadır. Bu kodlamada her bir hane 0 veya 1 değerini almaktadır. Genetik algoritmanın ilk zamanlarında benimsenen kodlama türü olduğu için halen en çok tercih edilen kodlama türüdür (Erdal, 2007:32). İkili kodlama sistemi her ne kadar çalışmalarda diğer kodlama sistemlerine göre daha iyi sonuçlar verse de yapısı itibari ile bazı sakıncalar barındırmaktadır. Değişken değerini temsil edecek genler belirlenirken hane sayısının çok fazla oluyor olması, gezgin satıcı problemi ve proje çizelgeleme problemlerinde problemin değişkenlerinin mahiyetine uygun olmamasını en çok karşılaşılan sorunlarıdır.

1	0	0	1	1
---	---	---	---	---

Olarak verilmiş bir gen yapısının onlu sayı sisteminde karşılığını bulmak için;

$$1 * 2^4 + 0 * 2^3 + 0 * 2^2 + 1 * 2^1 + 1 * 2^0 = 19 \text{ dönüşümü yapılır.}$$

4.3.1.1.2 On Tabanlı Kodlama

Değişkenlerin sürekli olması halinde ondalık sayı sistemi kullanılır. İki tabanlı sayılarla kullanılabilen hassasiyet sınırlı olduğundan, ondalık sayı sistemi ile bilgisayarların müsaade ettiği derecede hassasiyet elde edilebilir. On tabanlı sayı sisteminin kullanılması ile ondalık sayıların iki tabanlı sayı sistemine

dönüştürülmesinde aralıkların orta değerinin alınması ve yaklaşıklık yapılması işlemleri de ortadan kaldırılır (Şen, 2004:110).

4.3.1.1.3 Permütasyon Kodlama

Permütasyon kodlama sistemi genel olarak gezgin satıcı ve proje çizelgeleme problemleri gibi sıralama esaslı problemlerde kullanılmaktadır. Bu kodlamada her kromozom bir numaralar dizisidir. Permütasyon kodlama türünde, kromozomun uzunluğu tasarım değişkenlerinin sayısına eşittir (Erdal, 2007:33).

Permütasyon kodlama, özellikle tasarım değişkenlerinin birden fazla alt değişkenden oluştuğu problemlerde tercih edilmektedir. Bu kodlama türünde tasarım değişkenlerinin kodları 1 ile tasarım değişkeni sayısı arasında rastgele seçilen rakamlardan oluşmaktadır (Erdal, 2007:33).

A= Adana B= Bursa I= İstanbul Şeklinde tanımlanmış bir gezgin satıcı probleminde kromozomlar şu şekilde oluşmaktadır (Doyranlı,1999:7)

STYPKMNVDZES

SZPMVDYNETKS

SYMETZPVNKDS

....

SMYEZTNVDKPS

Gezgin satıcı tipi problemlerin kodlamasında problemin mahiyetine uygun olarak başlangıç ve bitiş haneleri (burada bir geni temsil etmektedir) aynı ifade ile gösterilmektedir.

Proje çizelgeleme problemlerinde de gezgin satıcı problemine benzer olarak kromozom üzerinde bulunan her rakam bir faaliyeti temsil etmektedir. Örnek olarak 6 faaliyetli bir proje planlamasında kromozomlar 1 2 3 4 5 6 şeklinde oluşabilir.

BAŞLANGIÇ	A	B	C	D	BİTİŞ	Faaliyetler
0	3	6	11	6	0	Kromozom A
0	8	10	10	4	0	Kromozom B

Şekil 8: Permuntasyon kodlama için kromozom örneği

4.3.1.1.4 Değer kodlama

İkili kodlama çok boyutlu ve yüksek hassasiyetli doğrusal olmayan problemlerin çözümünde yetersiz kalmaktadır. Çünkü bu durumda dizinler, çok uzun haneli gelmekte ve gösterim alanı genetik operatörlerin etkili olarak yapılamayacağı kadar uzamış olmaktadır. Bu durumda değer kodlama kullanılması daha iyi sonuçlar vermektedir.

Değer kodlama kavram olarak problem alanına en yakın kodlamadır. Çünkü her kromozom çözüm kümesiyle eşit uzunlukta gerçek sayıların oluşturduğu bir vektör şeklinde kodlanır. Değer kodlama gösterimi ile çok sayıda karar değişkeni olan çok büyük alanların temsili mümkündür. Michalewicz (1996) yaptığı denemelerde değer kodlama gösteriminin daha hızlı ve hassas sonuçlar verdiğini belirtmiştir (Erdal, 2007:34).

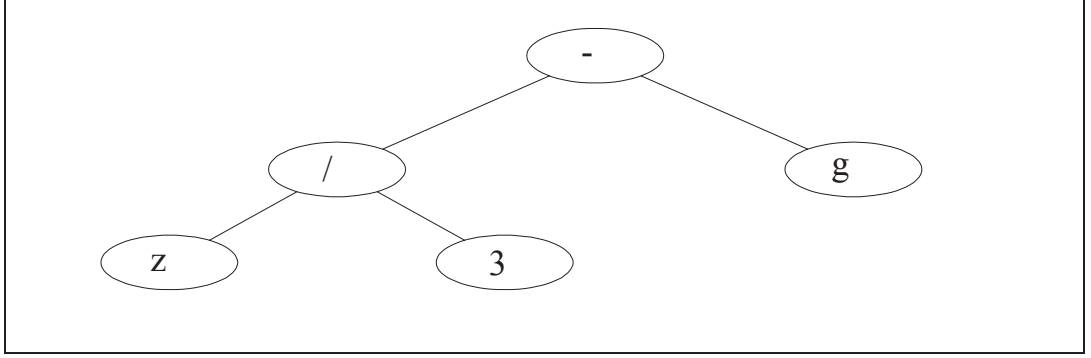
3.284	4.221	3.245	0.728	5.125	6.245	Kromozom A
ABCJF	JKLMC	DEHGJ	HGFJK	JKLHM	JKHLF	Kromozom B

Şekil 9: Değer kodlama için kromozom örneği (Erdal, 2007:34)

4.3.1.1.5 Ağaç Kodlama

Ağaç kodlama genellikle genetik programlamada programlar ve ifadeler oluşturmak için kullanılır. Ağaç kodlamada her kromozom, adından da anlaşılacağı

gibi nesnelar ve nesnelar arasinda işlemleri içeren bir ağağ yapısından oluşmaktadır. (Erdal, 2007:34)



şekil 10: Ağağ kodlama için kromozon rneği

özüm aranan problem için kodlama sistemi belirlendikten sonra, probleme ilişkin çözümleri taşıyan kromozom yapısı belirlenir. Kromozom yapısını daha iyi bir şekilde anlamak için genetik algoritmanın sayı sistemini oluşturan kavramları inceleyerek.

4.3.2 Genetik Algoritma Sayı Sistemi

4.3.2.1 Hane

Genetik algoritma sayı sistemi içerisinde karar değişkeni sayılarının her bir rakamına hane denir. Genetik algoritma sayı sisteminin en küçük elemanı hanedir. Her hanede ikili sayı sistemine göre 1 veya 0, onlu sayı sistemine göre ise 0 ile 9 arasındaki 10 rakamdan sadece biri bulunur (şen, 2004:24).

0	1	0	1	1	1	0	1	0	1
---	---	---	---	---	---	---	---	---	---

İkili sayı sisteminde

5	3	2	4	1	6	0	7	8	9
---	---	---	---	---	---	---	---	---	---

Onlu sayı sisteminde

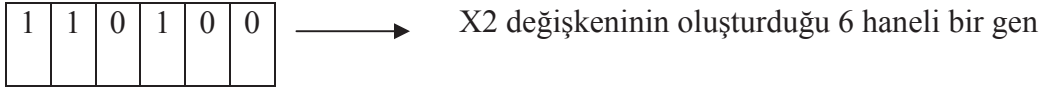
1 ve 3 ikili ve onlu sayı sistemine göre

örnek hanelerdir.

4.3.2.2 Gen

Hanelerin bir dizi halinde bir araya gelmesi ile ortaya çıkan yapıya genetik algoritma terminolojisinde gen adı verilir. Buna göre her bir karar değişkeninin sayısal değeri gen'i teşkil eder. Bir problemde kaç tane karar değişkeni varsa o kadar gen vardır (Şen, 2004:25).

İki değişkenli bir problemde,

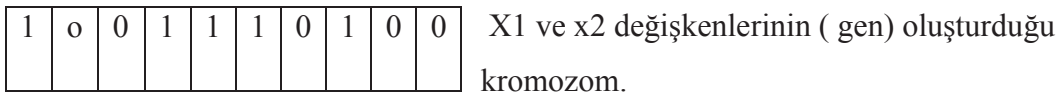


İkili sayı sistemine göre oluşturulacak olan genlerde hane sayısı belirlenirken değişkenin tanımlı olduğu aralık dikkate alınmalı ve değişkenin rakamsal büyüklüğüne göre hane sayısı belirlenmelidir. İkili sayı sisteminde 4 haneden oluşan bir gende değişkenin alabileceği maksimum değer 15 dir.

Onlu sayı sistemine göre genlere ait hane sayısı belirlenirken değişken için öngörülen hassasiyet dikkate alınır.

4.3.2.3 Kromozom

Bir yâda daha fazla gen yapısının bir araya gelerek oluşturduğu, problemin çözümüne ait tüm bilgiyi içeren dizilere kromozom adı verilir (Duman, 2007:33). Kromozomlar genetik algoritma çözümlemesi için gerekli olan toplumu teşkil edecek üyelerdir.



4.3.2.4 Toplum

Toplum kavramı çözüm bilgilerini içinde barındıran kromozomların oluşturduğu çözüm uzayıdır. Toplum içinde var olan kromozomlar genetik algoritma operatörleri tarafından işleme maruz kalırlar bu işlem sonucunda bazı kromozomlar toplum dışı bırakılırken bazıları ise değişim göstererek bir sonraki nesle üye olurlar. Bir genetik algoritma işleminde toplum büyüklüğü kullanıcı tarafından belirlenir. Belirlenen büyüklük problemin özelliklerine uygun büyüklükte olmalıdır.

$$T = \begin{bmatrix} 10011 & 100101 & 100110 \\ 11010 & 100110 & 010110 \\ 10001 & 011100 & 100110 \end{bmatrix} \longrightarrow \text{2. Satır 2. Kromozomu temsil}$$

eder.

Yukarıda 3 kromozomla temsil edilmiş olan bir toplum görülmektedir. Her satır bir kromozomu temsil eder ve bu örnekteki kromozomlarımız 3 gen bilgisine sahiptir.

Genetik algoritma operatörleri, problemin kısıt ve amaçlarına uygun olarak, en iyi çözümü ararken işlemlerini toplum (popülasyon) üzerinde yaparlar.

4.3.3 Değişkenler, kısıtlar ve amaç fonksiyonunun belirlenmesi

Genetik algoritmanın bu aşamasında problemi çözerken kullanacağımız amaç fonksiyonunu, değişkenlerimizi ve değişkenlerimize ait kısıtlarımızı tanımlarız. Bir önceki adımda probleme etki eden değişkenlerimizi ve bunların yapısının ne olduğunu belirtmiştik. Bu aşamada ise karar vericilerin problemi hangi yönde çözmek istediklerini, amaç fonksiyonlarının ne olduğunu ve tanımlı olan değişkenlerin ne gibi kısıtlar altında çalıştığını tanımlarız.

4.3.3.1 Başlangıç Toplumunun belirlenmesi

Genetik algoritmalar en azından 15–20 civarında ve tercihen daha fazla kromozom ile işe başlar ve bu başlangıç toplumunu ifade eder (Şen, 2004:77). Genetik algoritmalar çözüme ulaşmak adına ilk işlemlerini bu üzerinde yaparlar. Başlangıç toplumuna ait kromozomlar oluşturulurken rastsal sayı üreticilerinden

yararlanılır. Oluşturulan kromozomlarda dikkat edilmesi gereken önemli bir unsur ise başlangıç toplumunda benzer kromozomların yer almasını engellemektir.

4.3.3.2 Uygunluk değerinin hesaplanması

Uygunluk, toplumdaki bir kısım bireyin problemi nasıl çözeceğine ilişkin iyi bir bilgidir. Olası çözümlerin kodlandığı bir popülasyon oluşturulduktan sonraki ilk adım, gruptaki her üyenin uygunluk değerini hesaplamaktır. Örneğin, bir maksimizasyon problemi için ‘i’ üyenin uygunluk değeri ‘f(i)’, genellikle o noktadaki amaç fonksiyonunun değeridir (Erdal, 2007:34).

Çözümü aranan her problem için uygunluk fonksiyonu mevcuttur. Verilen belirli bir kromozom için uygunluk fonksiyonu, o kromozomun temsil ettiği çözümün kullanımıyla veya yeteneğiyle orantılı olan sayısal bir uygunluk değeri verir. Bu bilgi, her kuşaktaki daha uygun çözümlerin seçiminde yol gösterir. Bir çözümün uygunluk değeri ne kadar yüksekse, yaşama ve çoğalma şansı o kadar fazla ve bir sonraki kuşakta temsil edilme oranı da o kadar yüksektir (Erdal, 2007:34).

Olası çözümler için uygunluk değerinin hesaplanmasında farklı yöntemler kullanılmaktadır. Biz burada bunların bir tanesini örnek yardımı ile açıklamaya çalışalım.

Amaç fonksiyonu; $F(x) = x^3$ olan bir problemde x değişkeni 0 ile 15 değerleri arasında tanımlı olsun. Başlangıç çözüm popülasyonunu 5, 9, 10 ve 7 kromozomlarından oluşturalım.

(0101, 1001, 1010, 0111) kromozomları için uygunluk fonksiyonunun belirlenmesi için ilk olarak bu değerlerin amaç fonksiyonu değerleri bulunur.

$f(x_i)$ 0101= 125 1001= 729 1010= 1000 0111= 343

Bulunan amaç fonksiyonu değerleri $x_i = 2197$ olarak bulunur. Şimdi her bir kromozomun bu toplam içindeki payı $f(x_i)/\Sigma f(x_i)$ bulunur ve f_i ile gösterilir. $(\Sigma(f(x_i))/\Sigma f(x_i)) = 1$

0101= 0.057 1001= 0.332 1010= 0.455 0111=0.156

Bu 4 kromozom yani çözüm noktası için bulunan oranların ortalamasını alalım. Ve buna \bar{f} adını verelim. $\bar{f} = 0.25$ olarak bulunur. Son aşama olarak f_i / \bar{f} değerlerini bularak her bir çözüm noktası için uygunluk değerleri bulunur.

$$0101 = 0.228$$

$$1001 = 1.328$$

$$1010 = 1.82$$

$$0111 = 0.624$$

4.3.4. Genetik Operatörlerin Uygulanması

4.3.4.1 Yeniden Üretim İşlemi

Genetik algoritmaların hesap başlangıcında oluşturulan rastgele çözüm grubundan başarılı çözümler seçilerek başarısız nesiller atılır. Yeniden üretim (seçim) işlemi nesildeki bireylerin üreme havuzuna atılmasıdır. Yeniden üretim işlemi, bir sonraki kuşak için yavru üretmek amacıyla hangi ailelerin yer alması gerektiğine karar verir. Bu yöntemin amacı, ortalama uygunluğun üzerindeki değerlere çoğalma fırsatı tanımaktır (Erdal, 2007:33).

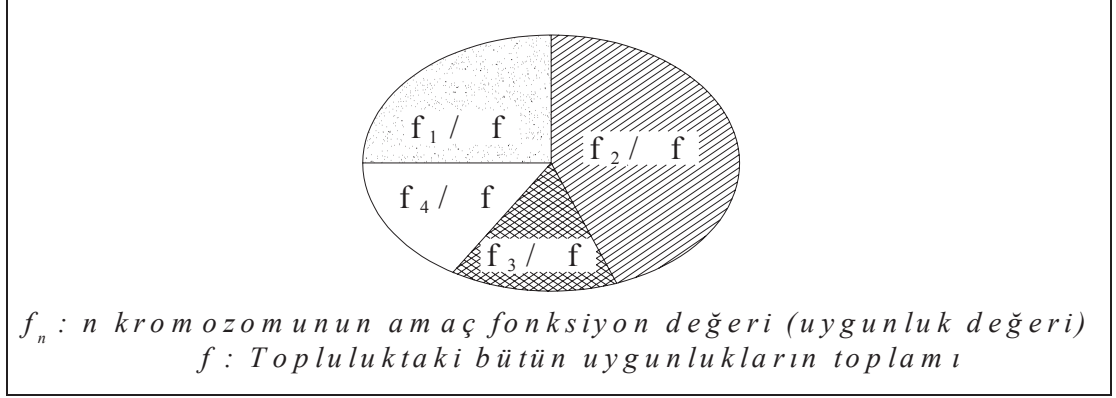
Seçim işlemi yapılırken birkaç farklı yöntem kullanılmaktadır. Bu yöntemlerden bazıları;

4.3.4.1.1 Rulet Tekerleği

Bu yöntemde seçilme işlemi bireylerin uygunluk değerlerine göre yapılmaktadır. Fakat uygunluk değeri en büyük olanın seçileceği garanti edilemez, yalnız seçilme şansı daha fazla olacaktır. Bu yöntemde tüm bireylerin uygunluk değerleri bir tabloya yazılır ve toplanır. Sonra uygunluk değerleri toplam uygunluk değerine bölünerek bireylerin (0,1) aralığında seçilme olasılıkları belirlenir. Sayıların hepsi bir tabloda tutulur ve sayılar birbirine rastgele eklenerek rasgele bir sayıya kadar ilerlenir. Bu sayıya ulaşıldığından yada geçildiğinde son eklenen sayının ait olduğu çözüm seçilmiş olur. Bu yöntemde rulet tekerleği ismi, bir daireyi, çözümlerin uygunluklarına göre dilimleyip çevirdiğimizde olacaklara benzediğinden verilmiştir.

Rulet tekerleği seçiminde çözümlerin uygunluk değerleri pozitif olması gerekmektedir. Çünkü olasılıkların negatif olması, çözümün seçilme şansının

olmadığını göstermektedir. Çoğunluğun uygunluk değeri negatif olan nesiller bir noktaya takılıp kalabilir (Erdal, 2007:34).

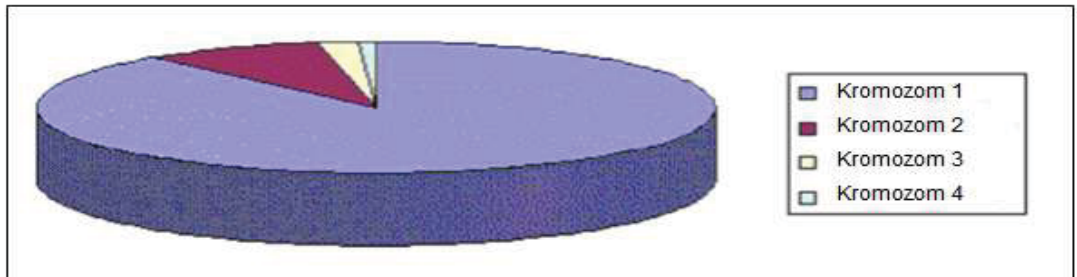


Şekil 11: Rulet Tekerleği Seçimi

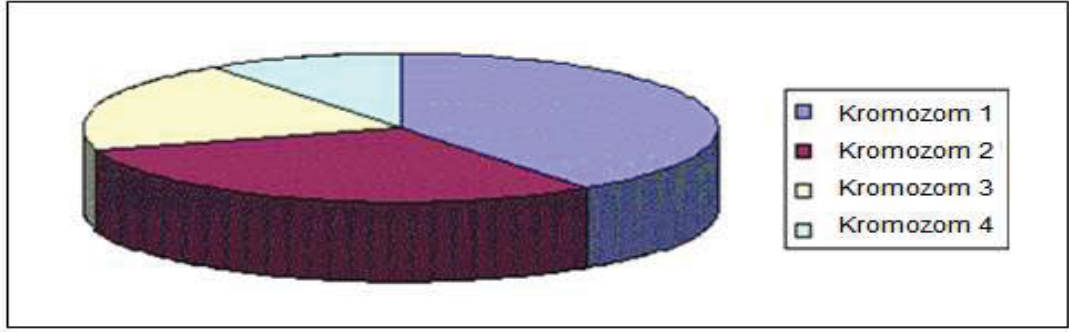
4.3.4.1.2 Rank Seçim Yöntemi

Rulet tekerleği seçim yöntemi eğer uygunluklar çok fazla değişiyorsa bazı sorunlara yol açacaktır. Örneğin en iyi kromozom uygunluğu, tüm rulet tekerleğinin %90' ı ise diğer kromozomların seçilme şansları çok az olacaktır. Rank seçim yöntemi önce popüasyonu sıralar ve daha sonra her kromozom uygunluğu bu sıralamadan sonra alır. En kötüsü 1 uygunluğu alacak, ikinci en kötü 2 ve en iyisi N uygunluk değerini alacaktır.

N , popülasyondaki kromozom sayısıdır. Sayıları düzenlemek için uygunlukları değiştirdikten sonra durumun nasıl değiştiğini şekil yardımı ile görebiliriz.



Şekil 12 : Rank seçimi yöntemi 1



Şekil 13: Rank seçim yöntemi 2

Bu yöntemde her kromozomun seçilme hakkı olacaktır. Ama bu yöntem daha yavaş çalışır, çünkü en iyi kromozomlar diğerlerinden fazla değişiklik göstermez (Akoğlu, 2006:29).

4.3.4.1.3 Yerine Koymadan Stokastik Örnekleme

Yerine koymadan stokastik örnekleme De Jong'un beklenen değer modelinin öteki adıdır. Bu yöntem rulet tekerleği seçiminin stokastik hatalarını azaltmaktadır. f_k bireyin uyum değerini; $\sum_{k=1}^N f_k = f$, popülasyonun toplam uyumunu ve $f = \frac{\sum_{k=1}^N f_k}{N}$ popülasyonun ortalama uyum değerini göstermektedir. Her birey için $\frac{f_k}{f}$ ile beklenen yavru sayısı hesaplanır. Bu sayı birey çaprazlamaya her seçildiğinde 0,5, çaprazlama olmadan üremeye seçildiğinde 1 azaltılır.

4.3.4.1.4 Kalanı Stokastik Örnekleme

Kalanı stokastik örnekleme yöntemi, yerine koyarak veya koymadan uygulanabilir. Yöntem, beklenen birey sayılarını bilinen biçimde hesaplar ve tamsayı kısmını bireye atar. Popülasyon genişliğine ulaşılmadıysa, beklenen değerlerin kesirli kısımlarından yararlanır. Yerine koyarak kalanı stokastik örneklemede ise beklenen değerlerin kesirli kısımları, rulet çemberi seçim yönteminde bireylere pay edilen ağırlıkları hesaplamak için kullanılır. Yerine koymadan kalanı stokastik örneklemede ise beklenen değerlerin kesirli kısımları kullanılarak birer birer ağırlıklı para atışları (bernoulli denemeleri) yapılır.

Örneğin beklenen kopya sayısı 1.36 olan bir bireyin, bir kopyayı kesin olarak, diğer kopyayı ise 0.36 olasılıkla elde eder. Popülasyon tamamlanana dek bu süreç devam eder.

4.3.4.1.5 Stokastik Evrensel Örnekleme

James Baker, bireye atanan gerçek yavru sayısı ile beklenen yavru sayısı arasındaki farkı minimize eden stokastik evrensel örnekleme adında bir yöntem önermiştir (Çetin, 2002). Temel düşünce tek bir seçimle tüm N bireyi örnekleme yöntemidir. Bu yöntemi gerçekleştirmek için, rulet çemberine seçim çemberi denen bir ek parça eklenir. Bu parça eşit aralıklı N göstergelere sahiptir. Çember bir kez çevrilir ve durduğunda göstergelerin bulunduğu yerler bireyleri gösterir. Böylece N birey, bir adımda seçilir. Göstergeler eşit aralıklı olduğu için, bir bireyin küçük popülasyonlarda bile tüm popülasyona hâkim olma tehlikesi yoktur. Bu yöntemle, her bireyin beklenen yavru sayısı kadar üremesi garanti eldir. Bu algoritma ile seçim planının belirli bir işleyişinin sonucu beklenen davranışa mümkün olduğunca yakındır, yani ortalama değişim minimumdur.

4.3.4.1.6 Turnuva Seçim Mekanizması

Turnuva seçim yöntemi, seçim baskısı yönünden sıralama seçimlerine benzer, ancak işlemsel olarak daha verimli olup, paralel uygulamaya daha yatkındır. Turnuva seçiminde, popülasyondan yerine koyarak ya da yerine koymadan rasgele t birey seçilir, t büyüklüğün turnuva genişliği adı verilir. Bu gruptaki en iyi birey, yeni popülasyona kopyalanır. Bu işlem N kez tekrarlanır. Büyük t değeri, yöntemin seçicilik baskısını artırır. Turnuvalarda çoğunlukla t=2 alınır ve ikili turnuva olarak adlandırılır. U yöntemde zamansız yakınsama, durağanlaşma ve açık uyuma gereksinim yoktur.

Stokastik turnuva seçimi, Wetzel tarafından önerilmiştir (Çetin, 2002, 15). Bu yöntemde seçim olasılıkları hesaplanır ve rulet çemberi yardımıyla ardı ardına birey çiftleri seçilir. Bir çift belirlendikten sonra, yüksek uyuma sahip olanı alınarak yeni popülasyona dahil edilir ve diğer çift seçilir. Süreç popülasyon tamamlanana kadar sürer.

4.3.4.1.7 Sıralı Seçim Mekanizması

Sıralama seçimi, ilk olarak Baker tarafından uyuma orantılı seçimin dezavantajlarını yok etmek amacıyla önerilmiştir. Sıralama seçiminde bireyler uyum değerlerine göre sıralanırlar. Her bireyin beklenen değeri, sahip olduğu sıraya bağlıdır. Bu sıra dikkate alınarak seçme yapılır. Bu seçme işleminde tüm kromozomların seçilme ihtimali mevcuttur. Fakat bu yöntem çok farklı olmayan bireylerin seçilmesine daha çok imkan tanıyacağından istenen tarama bölgesini çabuk tarayamayabilir (Duman, 2007:42) .

4.3.4.1.8 Global Elitizm ve Yerel Elitizm

Bu yöntem seçme algoritması olmaktan çok en iyi çözümü (kromozomu) korumaya yönelik olan bir yöntemdir. İkiye ayrılmasının sebebi, global olarak bir bireyin korunmasını sağlamak veya yerel olarak bireylerin korunmasını sağlamak amaçındadır. (Karcı, 2002:18)

4.3.4.1.9 Kalabalıklaştırma

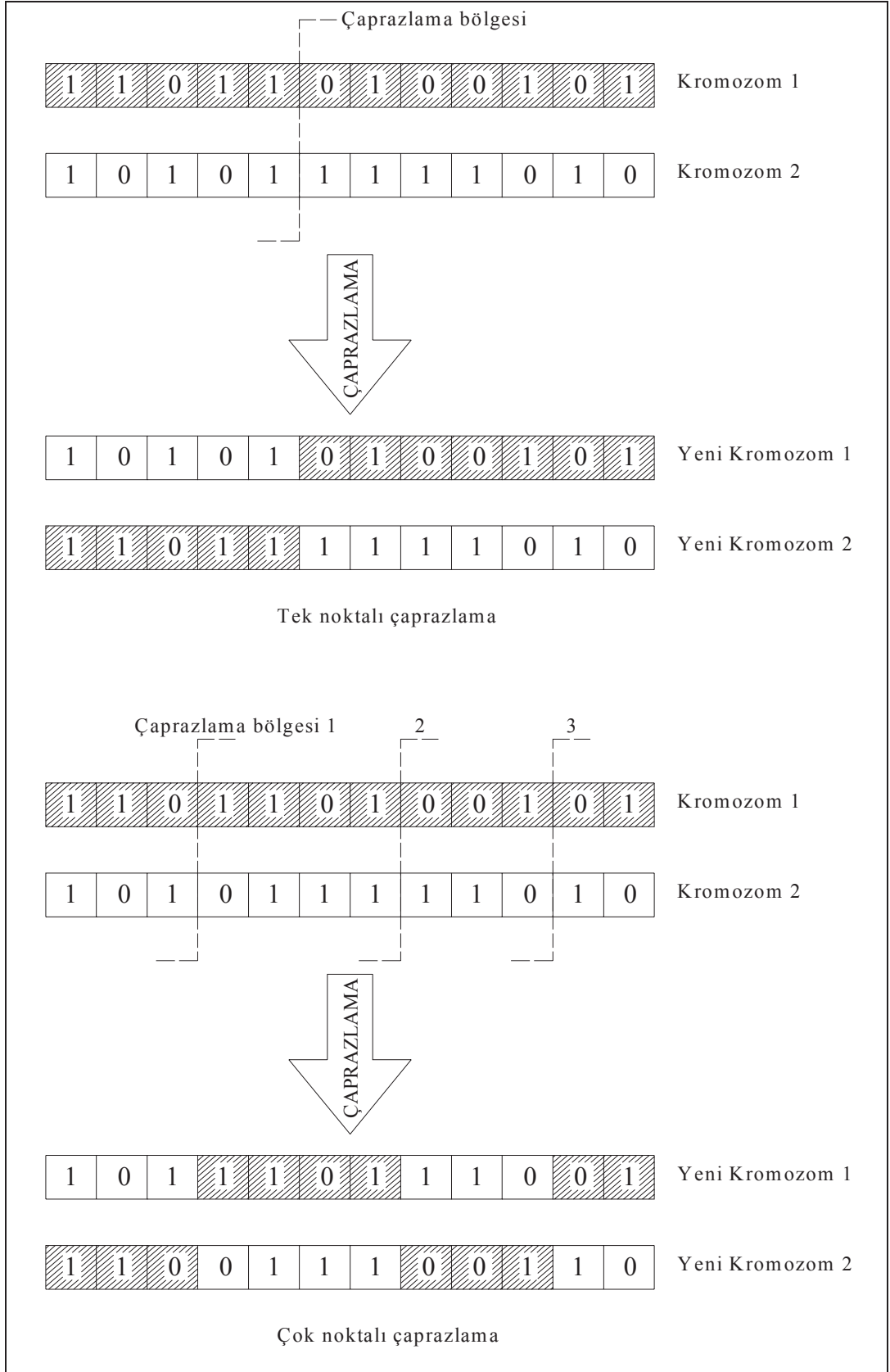
Nesiller arasındaki dağılım farkını minimuma indirerek prematüre çözümlerin oluşmasını engelleme yöntemine kalabalıklaştırma denir. Bu yöntemde popülasyonun belli bir orana göre bir kısmı seçilir ve bir sonraki nesil oluşturulur. Bu yöntemin temel prensibi var olan popülasyondan evlatlar üretilir ve sonuç evlatları popülasyondaki bireylerin yerlerini alırken, her evlat için popülasyonda gelişigüzel olarak belli sayıda birey seçilir ve en çok benzeyenin yerine evlat konulur. Benzerlik metriği tanım kümesinden bağımsız olabileceği gibi tanım kümesine bağımlıda olabilir. Yerine yeni birey seçilecek olan, en çok benzeyen birey seçilerek bir nesilden sonraki nesle geçirilirken popülasyon dağılımları arasındaki farkın minimum olmasına çalışılır. Bu durum genetik algoritmanın tek çözüme meyilli olarak davranmasını engeller (Karcı, 2002:18).

Literatürde yaygın olarak kullanılan seçim yöntemleri bunlardır. Seçim işlemi, genetik algoritmanın amacına kısa sürede ve doğru bir şekilde ulaşması için en önemli aşamalardan biridir. Kullanacağımız seçim yöntemini seçerken problemimize ait toplumumuzun özelliklerini de göz önüne almalıyız.

4.3.4.2 Çaprazlama

Eşlerin bir araya gelerek birleşmesi ile yeni ürünlerin ortaya çıkmasına Genetik algoritmanın çaprazlama aşaması denir. Çözüm araması sırasında çözüme aday olan iki farklı karar uzayı noktası arasında yaptığı bir çaprazlama ile öncekilerden daha iyi yani en iyi çözüme daha yakın olabilecek iki tane yeni çözüm noktası (karar noktası) ortaya çıkarılır. Bu iki yeni çözüm noktası önceki noktalardan kalıtmı olarak doğar. Böylece çözüm toplumundaki karar noktaları daha iyiye doğru evrimleşecek biçimde yeni bir toplum meydana getirir. Burada iki çözüm noktasının sayısal değerleri bazı haneleri aralarında çaprazlama yaparak yeni çözüm noktalarının ortaya çıkmasına sebep olurlar. Bu da biyolojik organizmaların DNA'larındaki çaprazlamaya benzer olarak gerçekleştirilir (Akoğlu, 2006:33).

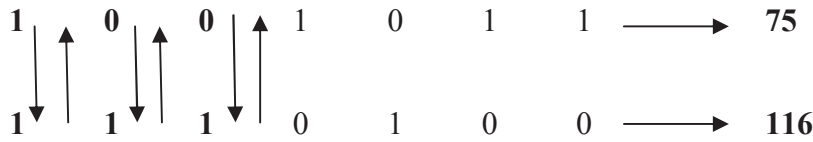
Çaprazlama, kromozomların genlerini birbiriyle değiştirmelerini sağlayan bir işlemdir. Önce çaprazlamaya tabi tutulacak kromozom eşleri rasgele seçilir. Daha sonra bu kromozom eşlerinin hangi genlerden itibaren kesileceği gene rasgele seçi ile belirlenir. Kesilen genler kromozom eşleri arasında değiştirilir. Burada amaç eldeki toplumdaki farklı toplumlar (nesiller) elde etmektir. Çaprazlama işlemini farklı şekillerde uygulanabilir.



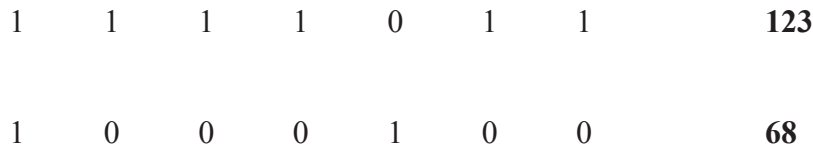
Şekil 14: Çaprazlama operasyonu (Erdal, 2007:38)

4.3.4.2.1 Tek Kesimli Çaprazlama

Burada eşleşen iki kromozom ikiz doğurarak kromozom sayısının aynı kalmasını sağlar. Öncelikle iki kromozomun ilk ve son rakamları arasında bir yerde rasgele olarak çapraz geçiş noktası belirlenir. Bir kromozomun çapraz geçiş noktasının solunda bulunan tüm haneleri olduğu gibi diğer kromozom ile yer değiştirir. Önce ilk iki kromozomdan birindeki çapraz noktanın solundaki tüm haneler yeni çocuğun kromozomuna geçer. Benzer şekilde diğer kromozomun çapraz geçiş noktasının solundakilerde diğer yeni doğacak kromozoma geçer. Bundan sonra birinci esas kromozom çapraz geçiş noktasının sağındaki haneler ikinci yeni doğanın önceki hanelerinin sağına geçer. Böylece, ilk yeni doğanın kromozomu tamamlanmıştır. Benzer şekilde ikinci esas kromozomun çapraz geçiş noktasının sağındaki hanelerde birinci yeni doğan çocuğun hanelerinin sağına yerleşir. Böylece yeni doğan iki kromozom önekilerinin hanelerini ihtiva eder. Esas kromozomlar toplam olarak N_{kesli} tane yeni doğuşa sebep olmalıdır ki toplum büyüklüğü sabit kalsın ($N_{top} = sabit$). Buna basit veya tek çapraz geçiş noktalı doğumlar adı verilir. Bu işlemde kromozomlar rasgele bir yerden kesilir ve sonra ilgili genler ile yer değiştirilir (Şen,2004:84).



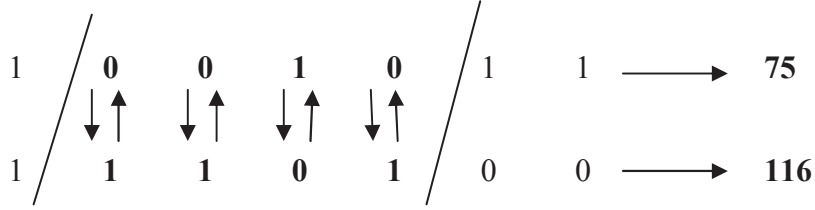
Yukarıdaki kromozom ikilisi 3. haneden hemen sonra kesilmiş ve koyu genler yer değiştirerek aşağıdaki yeni kromozomlar elde edilmiştir. Yukarıdaki anlatımdan anlaşılacağı gibi her bir kromozoma bir sayı karşı gelir ve kromozomlardaki genlerden bir tanesinin bile değişmesi ile bu sayılar da değişir (Şen, 2004:84).



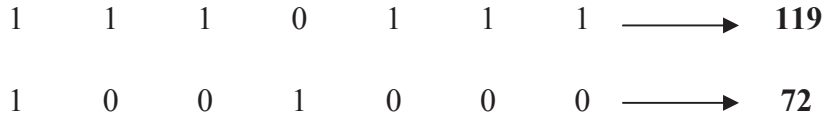
Tek kesimli çaprazlama ile birbirinden farklı sadece iki kromozom elde edilir.

4.3.4.2.2 Çift kesimli çaprazlama

Tek kesimli çaprazlamadan farklı olarak bu yöntemde kesim işlemi iki noktada yapılmaktadır.

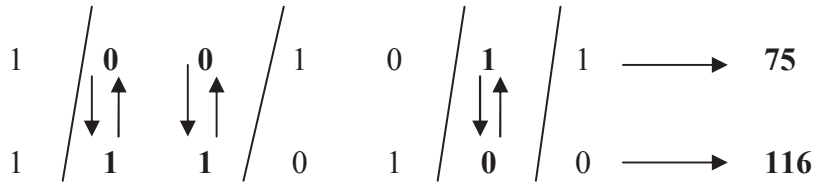


Bu örnekte kromozom çiftleri iki farklı noktadan kesilerek çaprazlama uygulanmıştır.

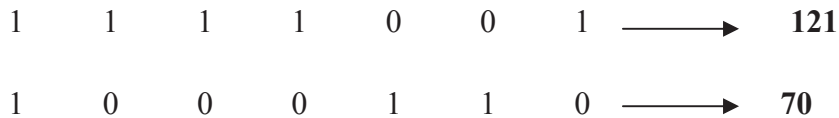


Tek kesimli çaprazlamada olduğu gibi bu yöntemde de yeni nesil eski nesilleri hanelerini ihtiva etmektedir. İki kesimli çaprazlamada her kromozom üç parçaya bölünür. Bu parçalardan karşılıklı her ikisinin yer değiştirmesi ile farklı 6 adet yeni kromozom elde edilebilir.

3.3.4.2.3 Çok kesimli çaprazlama: Kromozomların çapraz olarak ikiden fazla yerden rastgele kesilerek genlerinin yer değiştirmesi ile sağlanır.

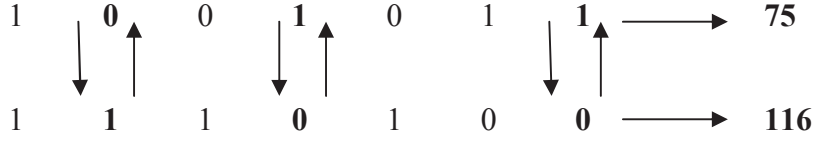


Bu çaprazlama sonucu oluşan yeni kromozomlar ve sayılar aşağıdaki gibidir.



Burada da karşılıklı parçalara arasında çaprazlama ile çok sayıda yeni kromozom elde edilir (Şen, 2004:86).

4.3.4.2.4 Tekdüze (üniform) çaprazlama: Bu işlemin aslı rastgele hanelerin iki kromozom arasında yer değiştirmesi ile olur.



Burada her hane için yazı tura atılır. Örneğin yazı gelirse çaprazlama yapılsın, tura gelirse çaprazlama yapılmasın kuralı uygulanır.

$$1 \quad 1 \quad 0 \quad 0 \quad 0 \quad 1 \quad 0 \longrightarrow 98$$

$$1 \quad 0 \quad 1 \quad 1 \quad 1 \quad 0 \quad 1 \longrightarrow 93$$

Tekdüze çaprazlamada her bir hanenin çaprazlamaya girme şansı eşittir. Yapılan pek çok çalışmada tekdüze çaprazlamanın ikili ve tekli çaprazlamaya karşı daha iyi sonuçlar verdiği görülmüştür (Şen, 2004: 86).

4.3.4.2.5 Tersleme: önceki işlemlerden farklı olarak tersleme kromozomun soldan sağa okunmasından ziyade sağdan sola okunması durumunda ortaya çıkan kromozomdur.

$$1 \quad 1 \quad 0 \quad 0 \quad 0 \quad 1 \quad 0 \longrightarrow 98$$

Tersleme işlemi uygulanırsa,

$$0 \quad 1 \quad 0 \quad 0 \quad 0 \quad 1 \quad 1 \longrightarrow 35 \text{ elde edilir.}$$

4.3.4.2.6 Karıştırmalı çaprazlama: Bunlardan birincisi tek noktalı çaprazlamada kromozomların ilk kısımları aralarında aynı sıra dahilinde rakamların değiştirilmesi yerine rakamlar (haneler) tamamen bağımsız ve tekdüze bir rastgele sayı üretici ile yeni baştan 0 veya 1 rakamları ile doldurulur ama esas kromozomların ikinci kısımları aynen kalırsa buna karşılaştırmalı çaprazlama denir. Böylece yeni kromozomların başlangıç kısımları birbirinden tamamen bağımsızdır (Şen, 2004:88).

$$\begin{array}{ccc|ccc}
 1 & 0 & 0 & 1 & 0 & 1 & 1 & \longrightarrow & 75 \\
 1 & 1 & 1 & 0 & 1 & 0 & 0 & \longrightarrow & 116
 \end{array}$$

Kromozomların karşılıklı çaprazlaması sonucunda,

$$\begin{array}{ccccccc}
 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & 1 & 1 & \longrightarrow & 43 \\
 1 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & 0 & \longrightarrow & 84
 \end{array}$$

elde edilir.

4.3.4.3 Rakam Değişimi (Mutasyon)

Rakam değişimi tek kromozom üzerinde yapılan bir GA işlemidir. Bu işlem sayesinde en iyi çözümün aranması sırasında GA 'lar bir adım sonraki çözüm arama alanının uzağında çok daha iyi veya kötü bir çözümü de dener. Kötüye doğru gitmesinde bile bir sonraki adımda yapılacak bir rakam değişimi işlemi ile algoritma kendisini toparlayarak en iyiye doğru hızla yaklaşabilir. Böyle bir fırsat klasik yöntemlerde yoktur, çünkü hepsi önceden belirli bir sistem dahilinde karar uzayında bir sonraki adımı atar. Bu tür atılımlar her zaman başarılı olmasa da algoritma kendisini rasgele yenilediği için fazla zaman kaybı olmayabilir. Rakam değişikliği (mutasyon) kromozomun bir hanesindeki 0 değerini 1 veya 1 değerini 0 yapma işlemidir. Bu işlem kromozomun bir hanesinde yapılabileceği gibi birden fazla hanede de yapılabilir. Böylece ortaya bir rakamın bile değişmesi ile çok farklı bir sayı çıkar.

Bu süreç aynı kromozomun bir veya birkaç hanesindeki rakamın karşıt rakam türü ile değiştirilmesiyle ortaya çıkar. Rakam değiştirilmeleri ile GA 'lar ikinci türden hedef fonksiyonu yüzeyini araştırır. Böylece başlangıçta bulunmayan yeni kromozom türleri elde edilerek en iyileme işleminde GA 'nın çözüme süratle yaklaşmasını da önler. Eğer bir kromozoma birli bir rakam değişimi uygulanıyorsa, bu takdirde "1" sayısı "0" sayısına veya aksine dönüştürülür. Rakam değişiminin yapılacağı hane konumu $N_{top} * N_{hane} * N_{gen}$ toplam hane toplumundan rasgele olarak seçilir. Rakam değişim nokta sayısının artırılması genetik algoritmanın doğal olarak taradığı çözüm uzayının, klasik GA yaklaşımı ile dokunulmayacak yerlerinin de incelenmesini sağlar. Genelde, her iterasyonda haneleri %1 'i ile %0.1 'i

miktarında rakam değişimi yapılır. En son iterasyonda artık rakam değişimi yapılmaz. Genel olarak, en iyi çözümlerlerde de rakam değişikliğine müsaade edilmez. En iyi kromozomların dışındakiler arasından mesela %5 yani 0.05 miktarında rakamların değiştirilmesi yapılır.

Rakam değişimi çaprazlamadan farklı olarak iki kromozomun yerine bir tek kromozom üzerinde rastgele belirlenen hanelerin karşıt rakamlarla yer değiştirilmesi ile yapılan işlemdir. Burada hedef verilen belli bir rakam değişimi değeriyle 0 olan rakamları 1, 1 olan rakamları da 0 yaparak yerel en iyilerin dışında mümkün olabilecek en iyileri de araştırmaktır. Rakam değişimi değeri yani rakam değişimine tabi tutulacak hanelerin sayısı küçük tutulur, çünkü olaya rastgeleliğin hakim olması arzu edilmez. Örneğin,

$$1 \quad 0 \quad 0 \quad 1 \quad 0 \quad 1 \quad 1 \quad \longrightarrow \quad 75$$

Kromozomun da rakam değişimi üçüncü haneye uygulanırsa önceki kromozomun yeni şekli:

$$1 \quad 0 \quad 1 \quad 1 \quad 0 \quad 1 \quad 1 \quad \longrightarrow \quad 91$$

olur.

Bir kromozom içindeki hanelerden birisinin konumu rastgele seçildikten sonra, o hanedeki rakam karşıt rakama dönüştürülürse yeni kromozom elde edilir. Yeni kromozom çözüm uzayının başka bir yerine rastgele olarak sıçramıştır. Genetik algoritma işlemleri sırasında rakam değişimi işlemi nadir olarak yapıldığından düşük ihtimaller göz önünde tutularak uygulanır. Pratik çalışmalarda bu ihtimal değerinin 0.01 ile 0.001 arasında değişmesi sonucuna karar verilmiştir (şen, 2004:90) .

4.3.5 Bitirme Koşulu

Genetik algoritmada üretim-değerlendirme-seçim çevrimi, önceden belirlenen çevrim sayısına ulaşıncaya ya da popülasyonun ortalama uygunluk değeri

popülasyondaki en iyi dizinin uygunluk değerine önceden belirlenen oranda yaklaşmaya kadar devam eder. (Goldberg, 1989:44)

Pratikte bu algoritmanın ne zaman durdurulması gerektiği bir bulanıklık içermektedir. Bunun için bazı öneriler aşağıda verilmiştir.

1) Doğru cevap: bu saçma ve basit bir şey sanılabilir. En iyi kromozomumuza bakarak bunun en iyi çözüm olup olmadığından emin olmak gerekir. Eğer bu en iyi çözüme durulur.

2) İyileştirmenin mümkün olmadığı durum: Eğer toplumlar X kadar zaman süresince hep aynı en iyi kromozomla devam ediyorsa durulmalıdır. Bunun anlamı algoritma ya en iyi noktaya ya da bir yerel en küçük dinçlik dereceli noktaya ulaşmıştır. Bazen en iyi sonuç gibi görünen çözümler birkaç toplum için devam ettikten sonra çaprazlama ve mutasyon ile daha en iyi çözüme ulaşabilirler.

3) İstatistik: Eper toplum hedef fonksiyonu değerinin ortalaması ve standart sapması belirli bir seviyeye ulaşırsa algoritma durdurulmalıdır. Bunun anlamı bundan sonra değişmeyeceğidir.

4) İterasyon sayısını önceden tespit etmek: Yukarıda denilenlerin biri sebebi ile algoritmanın durdurulamaması durumunda iterasyon sayısı önceden belirlenen bir en büyük sayı kadar algoritma çalıştırılır. Böyle yapılmazsa algoritma sonsuza kadar da devam edebilir. Algoritmanın iyi bir çözüme yaklaşmaması durumunda, genetik algoritmanın toplum sayısı ve mutasyon oranı değiştirilir. Belki ya başka bir çaprazlama veya sürekli değişkenli genetik algoritmadan iki taban sayılı genetik algoritmaya geçiş daha iyi çözüm verebilir(Şen, 2004:99-100).

4.4 Şema Teoremi

Şema, belirli dizi pozisyonlarındaki benzerliklerle dizilerin alt kümelerini tanımlayan benzerlik şablonudur. Şema 0 ile 1 ikilik düzene '#' işaretini ekleyerek çalışır. Bu sembol, bulunduğu pozisyona 0 ile 1 değerlerinden herhangi birinin geçebileceğini ifade eder. Genişletilmiş bu alfabe kullanılarak, (0,1,#) üçlü alfabede şemalar oluşturulabilir. Örnek olarak 5 uzunluğundaki şemayı ele alalım. #0000

şeması (10000, 00000) olmak üzere iki diziye karşılık gelir. Aynı şekilde #111# şeması da 4 elemanlı alt kümeyi temsil eder. (01110, 01111, 11110, 11111). Bu şekilde aralarında benzerlik bulunan kromozomları göstermenin etkili yolu bulunmuş oldu (Duman, 2007:46).

Şema, 0 ve 1'in normal anlamını koruduğu ve #'nın 0 veya 1 değerlerinden herhangi birini alabileceği (0,1,#) genişletilmiş alfabeden oluşan dizidir (Goldberg, 1989:48). Bu notasyon yöntemi genetik algoritma yönteminin analizini basitleştirir. Çünkü dizilerden oluşan bir popülasyondaki olası bütün benzerlikleri açıkça görür. Mutasyonun şema oluşturmalarında çok az bir etkisi vardır ve sadece önemli potansiyel genetik bilgilerin düzeltilemez kayıplarını engellemek için çalışır.

Şema teoreminin amacı en fazla uygun olan şemanın bir sonraki toplumda da hayatını devam ettirmesini sağlamaktır. Genetik algoritma süreci boyunca en iyi şemanın takip edilmesi ile en iyi kromozoma yaklaşır (Şen, 2004:99).

4.5 Kontrol parametreleri

Genetik algoritma özünde rastsallığa yer veren bir optimizasyon yöntemidir. Çözüm süreci boyunca karar vericiler birçok parametreye ve operatöre ait özelliği belirlerken rastsal karar alırlar. Bu kararların genel ismi kontrol parametreleri olarak adlandırılmıştır. Kontrol parametreleri problemin çözüm süresini ve global optimum noktaya ulaşılmasını etkiler. Konu ile ilgili araştırma yapan bir çok bilim insanı kontrol parametreleri için optimum değer bulmaya çalışmış fakat başarılı olamamışlardır. Bu başarısızlığın temel sebebi, genetik algoritmaların veri yapıları ve problem özellikleri farklı olan bir çok optimizasyon probleminde kullanılıyor olmasıdır. Her ne kadar optimum bir sonuç bulunamasa da araştırmacılar konu ile ilgili yaptıkları çalışmalarda bu kontrol parametreleri için belirli değerler arasında atama yaparak olumlu sonuçlar almışlardır. Aşağıda genetik algoritmalarda kontrol parametrelerinin neler olduğu ve onlar için belirlenen ortalama değerlere değinilmiştir.

Popülasyon büyüklüğünün seçimi, problemin yakınsaması veya çözüm süresinin uzamasına neden olur. Popülasyon büyüklüğünün küçük tutulduğu

çalışmalarda yerel optimuma yakınsamaya sebep olmakta, yakınsamayı ortadan kaldıracabilecek olan popülasyon büyüklüğünün geniş seçimi ise problemin çözüm süresini uzatmaktadır. Goldberg'e göre oldukça küçük olan topluluklar seri olarak bağlantılı sorun çözümlerinde, oldukça büyük topluluklarda paralel bağılı sorun çözümlerinde yararlıdır. Bunun yanı sıra konu ile ilgili yapılan çalışmalarda 20–35 değerleri arasında seçilen popülasyon büyüklükleri çalışmalarda olumlu sonuçlar vermiştir (Duman, 2007:47).

Çaprazlama oranı (p_c), bir popülasyonda ki dizilerin ne kadarına çaprazlama uygulanacağını belirlemeye yarar. Belirli bir çaprazlama oranı seçildi ise $N * p_c$ adet diziye çaprazlama uygulanır. Düşük çaprazlama oranı aramanın çok yavaş gerçekleşmesine, yüksek oran ise yığının çok hızlı değişimine neden olur. Literatürde çaprazlama oranının 0.70-0.95 arasında seçildiği uygulamalar olumlu sonuçlar vermiştir.

Mutasyon oranı (p_m), seçilmiş yeni popülasyondaki her kromozomun her hanesine p_m mutasyon oranına eşit bir olasılıkla rastgele uğramasıdır. Bu aşamada $N*L*p_m$ adet mutasyon gerçekleşir. Mutasyon oranının yüksek seçildiği durumlarda genetik algoritmadaki aramanın bir rastgele aramaya eşit hale gelmesinden dolayı bu oranın düşük tutulması tercih edilir. Genel olarak uygulamalarda 0.01–0.001 arasındaki seçimlerde olumlu sonuçlar alınmıştır.

Seçim stratejilerinde eski popülasyonu yenilemenin çeşitli yöntemleri mevcuttur. Kullanılacak yöntemlerin her biri belli özelliklere sahiptir ve eski popülasyona ait kromozomların uygunluk değerlerine göre yeni popülasyona aktarılmasını sağlar. Bu aşamada kullanıcı hangi seçim stratejisini kullanacağını probleminin özelliklerine göre belirler. Örneğin en iyi kromozomun bir sonraki popülasyonda kesin olarak yer almasını isteyen kullanıcılar elitist yöntem ile seçim stratejisini kullanabilirler (Duman, 2007:48).

Yukarıdaki kontrol parametrelerine ek olarak genetik algoritmada, ölçeklendirme faktörü, nesil aralığı, kuşak aralığı ve bitirme koşulu gibi kontrol

parametreleri de vardır. Bu parametrelerde çözüm aşamasında etkili olan kararlardır ve problemin yapısına uygun olarak belirlenmelidir.

4.6 Genetik Algoritma Uygulama Örneği

Bu bölümde, genetik algoritma işleyişinin daha iyi şekilde anlaşılması için bazı örnek uygulamalar verilecektir.

$F(x) = x^2$ $0 \leq x \leq 31$ x'in tanımlı olduğu aralıkta fonksiyonu genetik algoritma kullanarak maksimize etmeye çalışalım.

Kodlama sisteminin seçimi: Bu problemde ikili kodlama sisteminin kullanılacaktır. Değişkenimiz 0 ve 31 değerleri arasında değer aldığı için kromozomlarımız 5 haneden oluşacaktır.

Başlangıç Toplumunun Oluşturulması: Karar değişkeninin sınırlarına bağlı kalarak karar verici olarak rastsal bir şekilde başlangıç çözüm noktalarına karar veririz. Popülasyon büyüklüğünü 4 olarak alalım ve başlangıç çözüm noktalarımızı da 13, 24, 8 ve 19 olarak belirlemiş olalım. Bunları 5 haneli ikili kodlama sistemine göre tanımlayalım (Goldberg, 1989:49).

$$13 = 01101 = 0 \cdot 2^4 + 1 \cdot 2^3 + 1 \cdot 2^2 + 0 \cdot 2^1 + 1 \cdot 2^0 = 0 + 8 + 4 + 0 + 1 = 13$$

$$24 = 11000$$

$$8 = 01000$$

$$19 = 10011$$

Değerlendirme Aşaması: Bu çözüm adaylarının hedef fonksiyonu değerleri hesaplanır.

$$13^2 = 169 \quad 24^2 = 574 \quad 8^2 = 64 \quad 19^2 = 361 \text{ dir.}$$

Dinçlik (Uygunluk) Değerlerinin Hesaplanması:

Kromozom	İkili Kodlama Değeri	Değişken Değeri	F(x) Değeri	$f_i = F_i / \sum F_i$	$*f_i / \bar{f}_t$	Rulet Çarkı Sonuçları
1	01101	13	169	0.14	0.58	1
2	11000	24	576	0.49	1.97	2
3	01000	8	64	0.06	0.22	0
4	10011	19	361	0.31	1.23	1
Toplam			1170	1	4	4
Ortalama			293	0.25	1	1
Max			576	0.49	1.97	2

Tablo 1: Dinçlik değerlerinin hesaplanması

Yukarıdaki tabloda kromozomlar için uygunluk değerleri hesaplanmış ve bu değerler baz alınarak seçim işlemi yapılmıştır. Genetik algoritmanın yapısına uygun olarak hedef fonksiyonu iyi temsil edemeyen 3 numaralı kromozom elenerek bir sonraki nesle geçememiştir. Uygunluk değeri yüksek olan 2 numaralı kromozom yeni popülasyonda iki temsil ile yer almış, 1 ve 4 numaralı kromozomlarda yeni popülasyonda 1 temsil ile yer alacaktır.

Çaprazlama: Yeni popülasyon seçim işlem tamamlandıktan sonra çaprazlama işlemi için yeni popülasyondan 2 adet kromozom seçilir. Daha sonra seçilen bu iki kromozomun rastgele seçilen bir haneleri için çaprazlama yapılır. Rastgele seçilen 2 kromozomun 01101 ve 11000 olduğunu düşünürsek; çaprazlama sonrası oluşan yeni kromozomlar 01100 ve 11001 ve diğer çaprazlama işlemi için seçilen kromozomlar 11000 ve 10011 olarak alınırsa oluşan yeni kromozomlar 11011 ve 10000 olur.

0	1	1		0	1	→	0	1	1	0	0
1	1	0		0	0	→	1	1	0	0	1

1	1	0		0	0	→	1	1	0	1	1
1	0	0		1	1	→	1	0	0	0	0

Mutasyon İşlemi: Mutasyon işlemi konusunda açıklarken bu işlem için mutasyon oranının 0.01 ile 0.001 gibi bir aralıkta alınmasının uygun olacağını söylemiştik. Uygulamamızda çözüm alanımız çok büyük olmadığı için mutasyon uygulanmamıştır.

Yeniden Değerlendirme: Çaprazlama sonrası elde edilen yeni toplumu 01100, 11001, 11011, 10000 (12, 25, 27, 16) olarak oluşturmuştuk. Bu yeni toplumla tekrar değerlendirme işlemi yaptığımız zaman tanımlı aralıkta Fx fonksiyonu maksimum yapan değeri bulmuş veya yaklaşmış oluruz.

4.7 Genetik Algoritmaların Performansını Etkileyen Etmenler

Genetik algoritmaların performansını etkileyen etmenler kısaca şöyle özetlenebilir.

Kromozom sayısı: Kromozom sayısını artırmak çalışma zamanını arttırırken, azaltmak da kromozom çeşitliliğini yok eder.

Mutasyon oranı: Kromozomlar birbirlerine benzemeye başladığında, çözüm hala çözüm noktalarının uzağında bulunuyorsa mutasyon işlemi GA'nın sıkıştığı yerden kurtulması için tek yoldur. Ancak yüksek bir değer vermek GA'yı kararlı bir noktaya ulaştırmaktan alıkoyacaktır.

Kaç noktalı çaprazlama yapılacağı: Normal olarak çaprazlama tek noktada gerçekleştirilmekle beraber yapılan çalışmalar bazı problemlerde çok noktalı çaprazlamanın çok yararlı olduğunu göstermiştir. Çaprazlama sonucu elde edilen bireylerin nasıl değerlendirileceği, elde edilen iki bireyin birden kullanılıp kullanılmayacağı bazen önemli olmaktadır.

Nesillerin birbirinden ayrık olup olmadığı: Normal olarak her nesil tümüyle bir önceki nesle bağlı olarak yaratılır. Bazı durumlarda yeni nesli, eski nesille birlikte; yeni neslin o ana kadar elde edilen bireyleri ile yaratmak yararlı olabilir.

Parametre kodlamasının nasıl yapıldığı: Kodlamanın nasıl yapıldığı en önemli noktalardan biridir. Örnek vermek gerekirse kimi zaman bir parametrenin doğrusal ya da logaritmik kodlanması GA'nın performansında önemli bir farka yol açabilir.

Kodlama gösteriminin nasıl yapıldığı: Bu da nasıl olduğu yeterince açık olmamakla beraber genetik algoritmaların performansını etkileyen bir noktadır. _kili düzen, kayan nokta aritmetiği ya da Gray kodu ile gösterim en yaygın yöntemlerdir.

Basarı değerlendirmesinin nasıl yapıldığı: Akıllıca yazılmamış bir değerlendirme işlevi çalışma zamanını uzatabileceği gibi çözüme hiçbir zaman ulaşılmamasına da neden olabilir. Genetik algoritmanın performansını artırmak için şunlar önermiştir (Kulluk,2003:46).

- Farklı mutasyon oranları, farklı popülasyon büyüklükleri vs. kullanmak,
- Optimizasyonu daha stokastik hale getirmek,

- Genetik gösterimi değiştirmek.

4.8 Genetik Algoritmaların Uygulama Alanları

Genetik algoritma kavramı özellikle, D. Goldberg'in çalışmalarından sonra birçok alanda birçok problem için çözüm yöntemi olarak kullanılmıştır. Özellikle mühendislik, finans ve işletme dünyasında karşılaşılan birçok problem genetik algoritma yöntemi ile özölmeye çalışılmıştır.

Genetik algoritmaların uygulama alanlarının gelişmesinin sebebi, hesaplamalardaki kolaylığı ve arama uzayı ile ilgili varsayımlarda önemli sınırlayıcılarla kısıtlandırılmamasıdır (Duman; 2007:49).

Genetik algoritmalar, sezgisel bir metot olduğundan dolayı verilen problem için optimum sonucu bulamayabilir, ancak; geleneksel metotlarla özölemeyen veya çözüm zamanı problemin büyüklüğü ile üstel olarak artan problemlerde optimale çok yakın sonuçlar vermektedir. Başlangıçta doğrusal olmayan optimizasyon problemlerine uygulanan genetik algoritma, sonraları gezgin satıcı, kareli arama, yerleşim, atölye çizelgeleme, ders/sınav programı hazırlanması gibi kombinatoriyal optimizasyon problemlerin de başarıyla uygulanmıştır.

Ülkemizde ve yurt dışında son yıllarda yapılan çalışmalar incelendiğinde ise, genetik algoritmaların özellikle inşaat sektöründe; proje çizelgeleme, maliyet tahmini vb. problemlerde sıkça kullanıldığı bunun yanı sıra finans dünyasında ise sigorta değerlemesi ve portföy analizlerinde çokça uygulama alanı bulunduğunu görüyoruz.

Genetik algoritmanın uygulama alanı bulunduğu problemlerden bazılarını sıralamak gerekirse;

- Gezgin satıcı problemi
- Hücresel üretim problemi
- Atama problemi
- Montaj hattı dengeleme problemi
- Tesis yerleşim problemi
- izelgeleme problemi

- Sistem güvenilirliği problemi
- Taşıma problemleri
- Araç rotalama problemleri
- Kredi kontrol ve değerleme problemleri
- Sigorta ve poliçe değerleme problemleri
- Maliyet analizi

BEŞİNCİ BÖLÜM

5.1. Uygulama Probleminin Tanımı

Çalışmanın bu bölümünde, TOKİ tarafından Antalya ilinde yürütülen toplu konut projesinin FG Tipi bir bloğa ait çizelgeleme uygulamasına yer verilmiştir. FG tipi bloklar; bodrum kat + zemin kat + 6 normal kat + çatıdan ibaret olup, toplam 28 daire bulunmaktadır. Tünel kalıp yöntemi ile betonarme yapı tarzında imalatı yapılmaktadır. İlk olarak projeyi oluşturan faaliyetler, faaliyetler arasındaki ilişkiler, faaliyetlerin kaynak ihtiyaçları ve aynı süre içerisinde kullanılabilen maksimum kaynak bilgisi gibi proje hakkındaki temel bilgiler incelenecektir.

	Faaliyetler	Süre
A	Temel	10
B	Kalıp-Donatı-Beton	20
C	Duvar	15
D	Çatı	14
E	Sıva	10
F	Şap	8
G	Boya	4
H	Seramik-Fayans	7
I	Laminat Parke	5
J	Kapı-Dolap	4
K	Altyapı	15
L	Boşluk	5
M	Merdivenler	42
N	Merdiven Kaplamaları	7
O	Mekanik Tesisat	20
P	Elektrik Tesisatı	25
R	Sonlandırma	3

Tablo 2: Projeyi oluşturan faaliyetler ve faaliyetlere ilişkin süreler

Proje sonlandırma adımı dahil toplam 17 faaliyetten oluşmaktadır. Faaliyetler kendi içlerinde farklı iş adımlarını içermektedir. Faaliyetlerin içermiş olduğu alt işlemler tablo-3'de yer almaktadır.

<p><u>Temel</u> Temel Kazısı, Takviyesi Temel Grobetonu Ve Radye Betonu Temel Drenajı Dolgu İşleri Temel Perde Döşeme Su Isı Ve Ses İzolasyonu <u>Kalıp, Donatı, Beton İşleri</u> <u>Duvar İşleri</u> İç Duvar İşlerinin Tamamlanması Dış Cephe Duvarları İzotuğla Baca Mermer Parapet Ve Denizlik <u>Sıva İşleri</u> İzolasyon + Alçıpan İşleri İç Sıva (Çimento Harçlı / Alçı) (Tavanda-Duvarıda) Alçı Sıva (Tavanda - Duvarıda) Dış Sıva Balkon Dahil <u>Çatı İşleri</u> Çatı Karkas Çatı Örtüsü Çatı Bacaları Çinko İşleri İzolasyon İşleri <u>Kapı Dolap Ve Pencereilerin Takılması</u> Saç Kapı Kasaları Ve Kasa Arkası Şerbeti Pencere Kör Kasa Ve Boyası İç Kapı Kanatları Takıldığında Pvc Doğrama Ve Madeni Aksam Dahil Daire Giriş Kapısı Muhtelif Doğrama İşleri 8bina Giriş Kapısı Rüzgarlık Posta Kutusu Madeni Aksam Montajı Çift Cam Takılma Buzlu Cam Takılın Mutfak Dolaplarının Takılması <u>Döşeme Kaplamaları</u> Şap Ve Tesviye Tabakası Yapılması Seramik İşleri Mermer Eşik Halı Ve Laminat Parke Kaplama İle Süpürgelik İşleri İzolasyon İşleri <u>Merdivenler</u> Merdiven Prekast Montajı Basamak Kaplama İşleri Korkuluk Yapılma Mermer Kaplama (Süpürgelik Dahil) <u>Duvar Kaplamaları</u> Fayans Ve Seramik Yapılması Plastik Boya (Tavan) Plastik Boya (Duvar) Fasarit (Tavan) Asma Tavan Mermer Kaplama</p>	<p><u>Mekanik Tesisat İşleri</u> Pissu Kolon Ve Yatay Tesisat Temizsu Kolon Ve Yatay Tesisat Kalorifer Tesisatı Kolon Boruları Montajı Kalorifer Tesisatı Yatay Boruları Montajı Radyatör Ve Vana Montajı Ve Branşman Tesisatı Doğalgaz Tesisatının Yapılması Dış Teknesi, Alaturka Hela Taşı Montajı Vitrifiye Ve Armatürlerin Montajı Su Deposu Ve Su Savaşları Montajı Bodrum Kat Kalorifer, Sıhhi Tes. Ve Yangın Sön. Ana Hatları Montajı Kazan Dairesi Tesisat İşleri Çatı Arası Kalorifer Tes. Havalık Boruları Ve İmbisat Deposu Sıhhi Tesisat İşleri Hidrolik Testleri Kalorifer Tesisat İşleri Hidrolik Testleri Çatı Arası Bodrum Kat Kazan Dairesi İzolasyon Baca Montajı Baca Ve Duman Kanalı İzolasyonu Tesisat İşlerine Ait Eksikliklerin Tamamlanarak İşletmeye Alma <u>Elektrik Tesisat İşleri</u> Boş Boru Döşenmesi Tesisat Kablolarının Çekilmesi Anahtar Priz Buton Ve Armatürlerin Montajı Tablo Sayaç Montajı Ve Giriş Gofrasına Kadar Bağlanması İşletme Tecrübesinin Yapılması İntercom Kapı Kontrol Cihazı Tesisatı Paratöner Tesisatı Tv Ve Telefon Tesisatı <u>Ada İçi Altyapı Çevre Düzenleme Ve Peyzaj</u> Atıksu İmalatı Yapılması Yağmursuyu İmalatı Yapılması Yaya Yolları Ve Otopark İmalatlarının Yapılması İstinad İhata Duvarı Ve Şev Taşı İmalatı Yapılması Telefon Tesisatının Yapılması Ag Tesisatının Yapılması Kullanmasuyu Bağlantılarının Yapılması Doğalgaz Tesisatının Yapılması Yapısal Peyzaj Bitkisel Peyzaj Bahçe Sulama Bahçe Aydınlatma İşleri Atık Su İmalatı Yapılması Aritma Tesisi Yapılması Yağmursuyu İmalatı Yapılması Yollar Ve Otopark İmalatlarının Yapılması İstinad, İhata Duvarı Ve Şev Taşı İmalatı Yapılması Telefon Tesisatının Yapılması Og Tesisatının Yapılması Kullanmasuyu Bağlantılarının Yapılması Doğalgaz Tesisatının Yapılması Bahçe Sulama Cadde, Sokak Aydınlatma İşleri Trafo İşlerinin Yapılması</p>
---	---

Tablo 3: Projeyi oluşturan faaliyetlerin içermiş oldukları alt işlemler

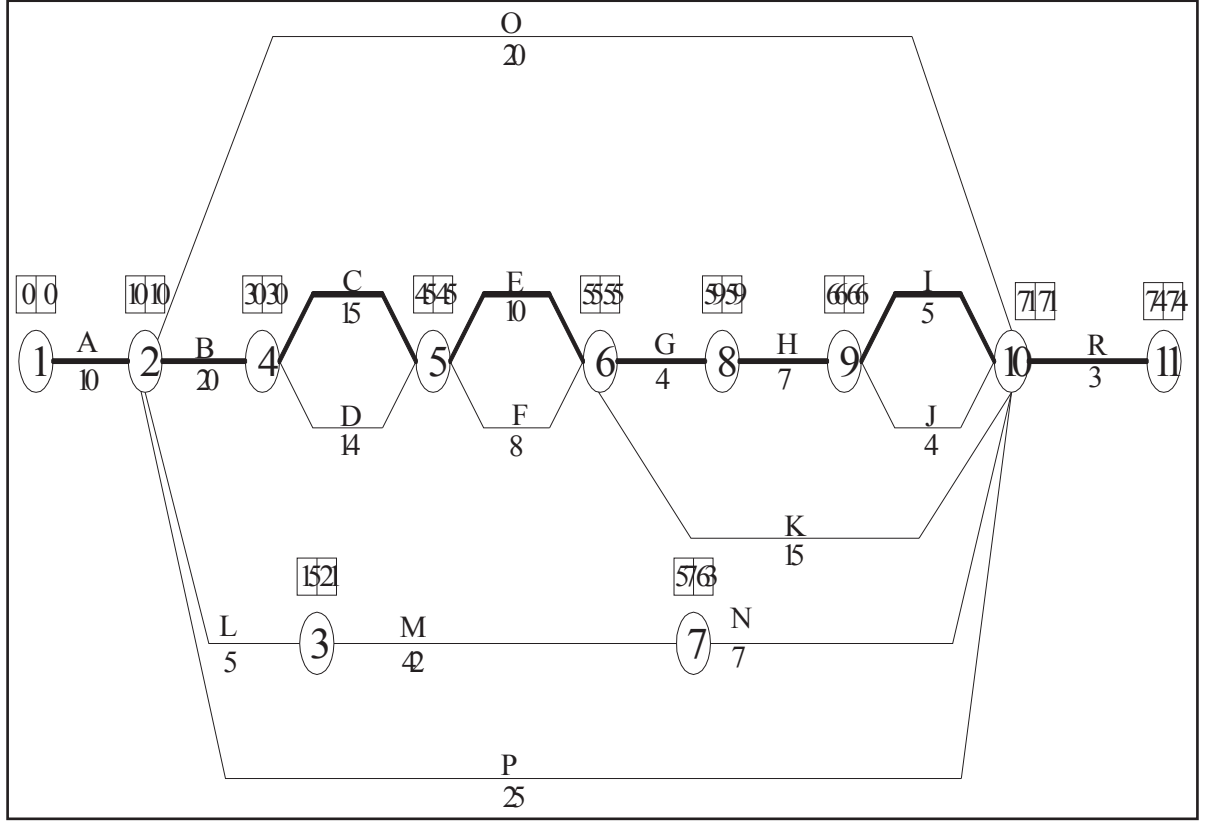
Faaliyetler	Kaynak İhtiyacı
Temel	1 Ekskavatör, 2 Kamyon, 2 usta, 4 işçi
Kalıp-Donatı-Beton	1 Kulevinç, 4 usta, 10 işçi
Duvar	3 usta 6 işçi
Çatı	1 usta 2 işçi
Sıva	1 usta 3 işçi
Şap	1 Şap Makinesi, 1 usta, 3 işçi
Boya	2 usta 2 işçi
Seramik-Fayans	2 usta 4 işçi
Laminat Parke	2 usta 4 işçi
Kapı-Dolap	1 işçi
Altyapı	2 kamyon, 4 usta, ekskavatör, JSB, 1topograf, 10 işçi
Boşluk	1 işçi
Merdivenler	2 usta 4 işçi
Merdiven Kaplamaları	2 usta 6 işçi
Mekanik Tesisat	3 usta 8 işçi
Elektrik Tesisatı	4 usta 8 işçi
Sonlandırma	2 işçi

Tablo 4: Faaliyetlerin kaynak ihtiyaçları

Tablo 4’de belirtilen kaynak ihtiyaçlarının dışında, proje süresi boyunca, projenin uygunluğunun denetlenmesi ve faaliyetlerin yürütülmesi açısından 1 inşaat mühendisi, 1 mimar, 1 elektrik mühendisi, 1 makine mühendisi ve 1 teknikerin proje süresi boyunca istihdam edilmesi gerekmektedir. Proje süresi boyunca kullanılabilir kaynak miktarının sabit olması, özellikle işçi ve usta kaynaklarının atanması açısından kaynak kısıtı yaratacaktır. Tablo-5’de proje süresi boyunca kullanılabilir maksimum kaynak miktarları verilmiştir.

Kaynak	Miktar
İnşaat Mühendisi	1
Makine Mühendisi	1
Elektrik Mühendisi	1
Mimar	1
Topograf	1
Tekniker	1
Usta	10
İşçi	20
Ekskavatör	1
Kamyon	3
Kulevinç	1
Şap Makinesi	1
JSB	1

Tablo 5: Kaynak miktarları

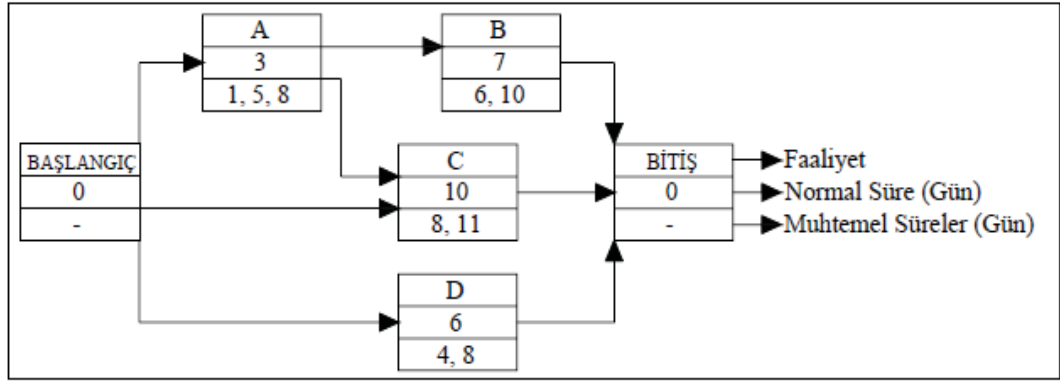


Şekil 15. FG Tip Tek Blok CPM Şebekesi

CPM şebekesi üzerinde (Şekil 15) tüm faaliyetlerin erken ve geç tamamlanma süreleri hesaplanmış ve A-B-C-E-G-H-I-R faaliyetleri kritik faaliyetler olarak bulunmuştur. Projenin tamamlanma süresi 74 gün olarak bulunmuştur.

5.2. Probleme İlişkin Çözüm Yöntemi

Projenin çözümünde genetik algoritmalar yöntemi kullanılmıştır. Yapılan literatür taramasında, genetik algoritmaların gerek ülkemizde gerekse ülkemiz dışında yapılan proje çizelgeleme çalışmalarında en çok tercih edilen sezgisel yöntem olduğu görülmüştür. Probleminin çözümüne yönelik çalışmada Doç. Dr. Mürsel ERDAL tarafından geliştirilen programdan yararlanılmıştır. Kullanılan programın proje çizelgeleme problemlerine yönelik çözüm mantığı aşağıda kısaca açıklanmıştır.



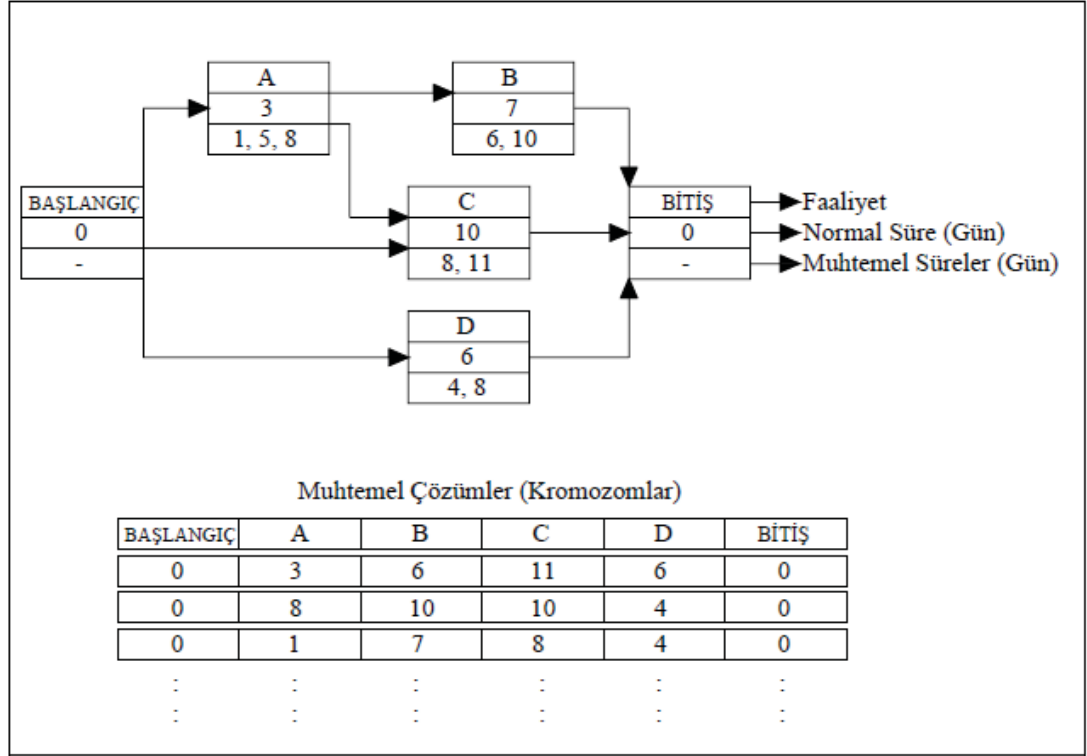
Şekil 16. Örnek proje serimi

Varsayımlar

Genetik algoritmaların proje çizelgeleme problemlerinde uygulanabilmesi amacıyla bazı kabuller yapılmıştır (Erdal, 2007: 43).

- Proje bir yürütme modundan daha fazlasına sahiptir (Çok modlu proje).
- Faaliyetler çok kaynak gerektirebilir.
- Kaynak ihtiyacını hesaplayabilmek için, zaman ve kaynak arasında faaliyetlerin normal sürelerine göre tanımlanmış doğrusal bir ilişki kurulmuştur.
- Her faaliyetin başlangıç zamanı, bazı faaliyet veya faaliyetlerin bitişine bağlıdır.
- Faaliyetler kesintiye uğrayamaz. Başlanılan faaliyet bitirilmek zorundadır.
- Kaynaklar yenilenebilir veya yenilenemez olabilir.

Kromozomların oluşturulması



Şekil 17. Çok modlu proje programlamada kromozomların oluşturulması

Faaliyetler; öncelik ilişkileri, her faaliyetin normal tahmin edilmiş bitiş süresi, normal süreye göre kaynak ihtiyacı ve kaynaktaki kısıt durumuna göre değişebilecek muhtemel bitiş süreleri programa tanıtılmış ve bu veriler programda dinamik dizelerle depolanmıştır. Böylece, faaliyetlerin rastgele olarak seçilmiş bitiş sürelerinin basit bir şekilde düzenlenmesiyle kromozomlar elde edilmiştir (Erdal, 2007: 46).

Programda işin muhtemel bitiş süreleri (mod sayısı) sınırsız olarak tanımlanmıştır. Kullanıcı istediği sayıda muhtemel bitiş süresi tanımlayabilir. Bir faaliyet için seçilen herhangi bir bitiş süresi, normal bitiş süresinden farklı olduğunda, program normal süreye göre kaynak uyarlamasını yaparak gerekli hesaplamaları yürütmektedir (Erdal, 2007: 46).

Uygunluk değerinin hesaplanması

Bireylerin uygunluk değerleri, hem proje süresi, hem de ihtiyaç duyulan kaynakların mevcut olanlardan sapmalarına göre hesaplanmıştır.

Bir bireyin süre uygunluğunun hesaplanmasında aşağıdaki eşitlik kullanılmıştır.

$$f_{süre} = \frac{t_{max} - t_n}{t_{max} - t_{min}}$$

Eşitlikte;

tmax : Muhtemel maksimum proje süresini,

tmin : Muhtemel minimum proje süresini,

tn : “n.” bireyin süresini,

fsüre : Bireyin süre uygunluk değerini ifade etmektedir (Erdal, 2007: 48).

Kaynak uygunluğunun hesaplanması

Bir bireyin kaynak uygunluğunun hesaplanmasında aşağıdaki eşitlik kullanılmıştır.

$$f_{kaynak} = \frac{A_2 - A_1}{A_2}$$

Eşitlikte;

A2 : Mevcut kaynak miktarını,

A1: Mevcudu aşan kaynak miktarını,

fkaynak: Bireyin kaynak uygunluk değerini ifade etmektedir.

“m” tane kaynak için kaynak uygunluğu aşağıdaki şekilde düzenlenmiştir (Erdal, 2007: 48).

$$f_{kaynak} = \frac{\sum_{i=1}^m A_{i_2} - A_{i_1}}{\sum_{i=1}^m A_{i_2}} ; \quad i [1, m]$$

Yukarıda tanımlanan süre ve kaynak uygunlukları birleştirilerek sonuç uygunluk fonksiyonu elde edilmiştir (Erdal, 2007: 50) .

$$f = \lambda \times f_{\text{kaynak}} + (1 - \lambda) \times f_{\text{süre}}$$

Bu eşitlikte;

λ : Ağırlık faktörünü ($\lambda=0.5$),

$f_{\text{süre}}$: Sürenin uygunluk değerini,

f_{kaynak} : Kaynağın uygunluk değerini,

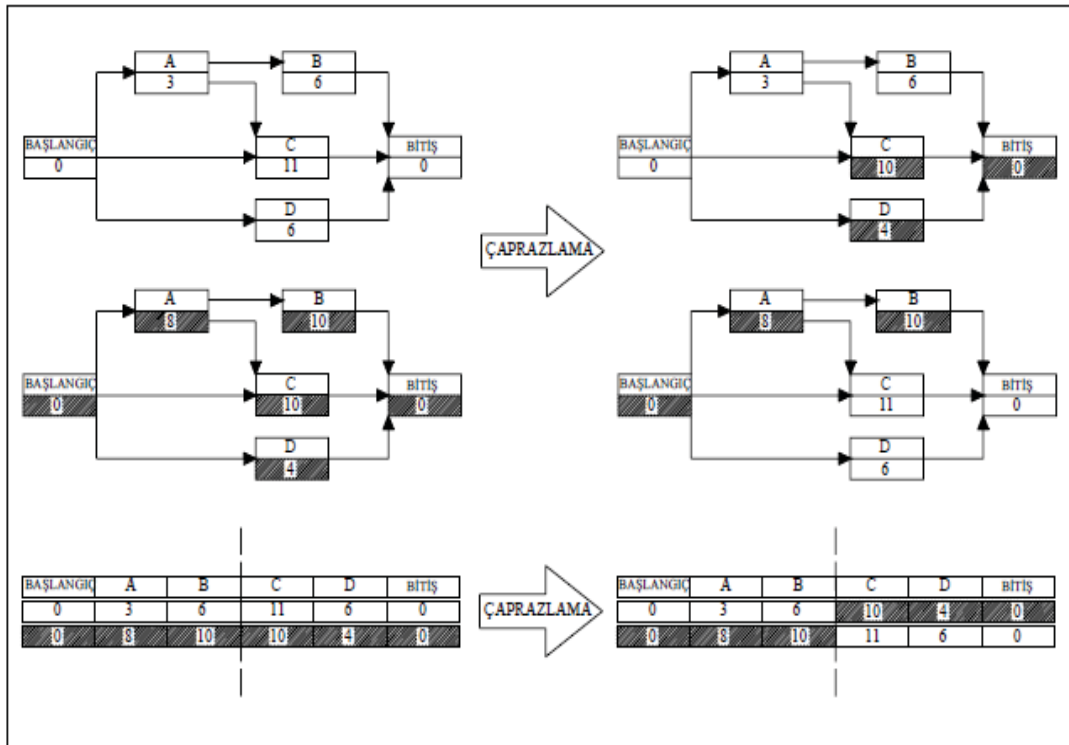
f : Sonuç uygunluk değerini ifade etmektedir.

Kromozomların yeniden üretimi (Seçim)

Yeni popülasyonun oluşturulması için Goldberg (1989) tarafından açıklanan rulet tekerleği seçimi kullanılmıştır. Rulet tekerleğine ilişkin bilgilendirme dördüncü bölümde yapılmıştır.

Çaprazlama Operasyonu

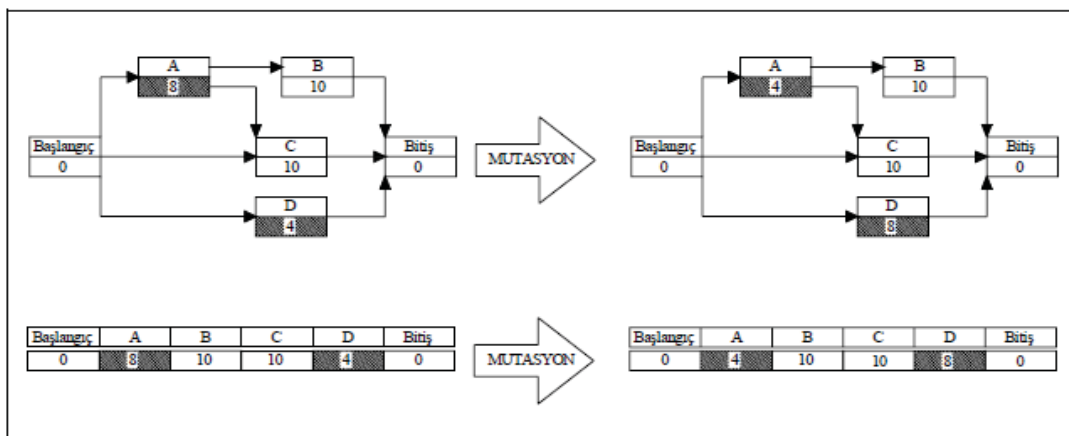
Çaprazlama operasyonu çalışmanın dördüncü bölümde açıklandığı gibi yapılmıştır. Paket program, çaprazlama metodunun ve çaprazlama oranının kullanıcı tarafından seçilmesine imkân verecek şekilde tasarlanmış ve çok noktadan çaprazlama operasyonu 4 noktaya kadar desteklenmiştir. Tek noktalı basit bir çaprazlama operasyonu, şekil- 18 yardımıyla gösterilmiştir.



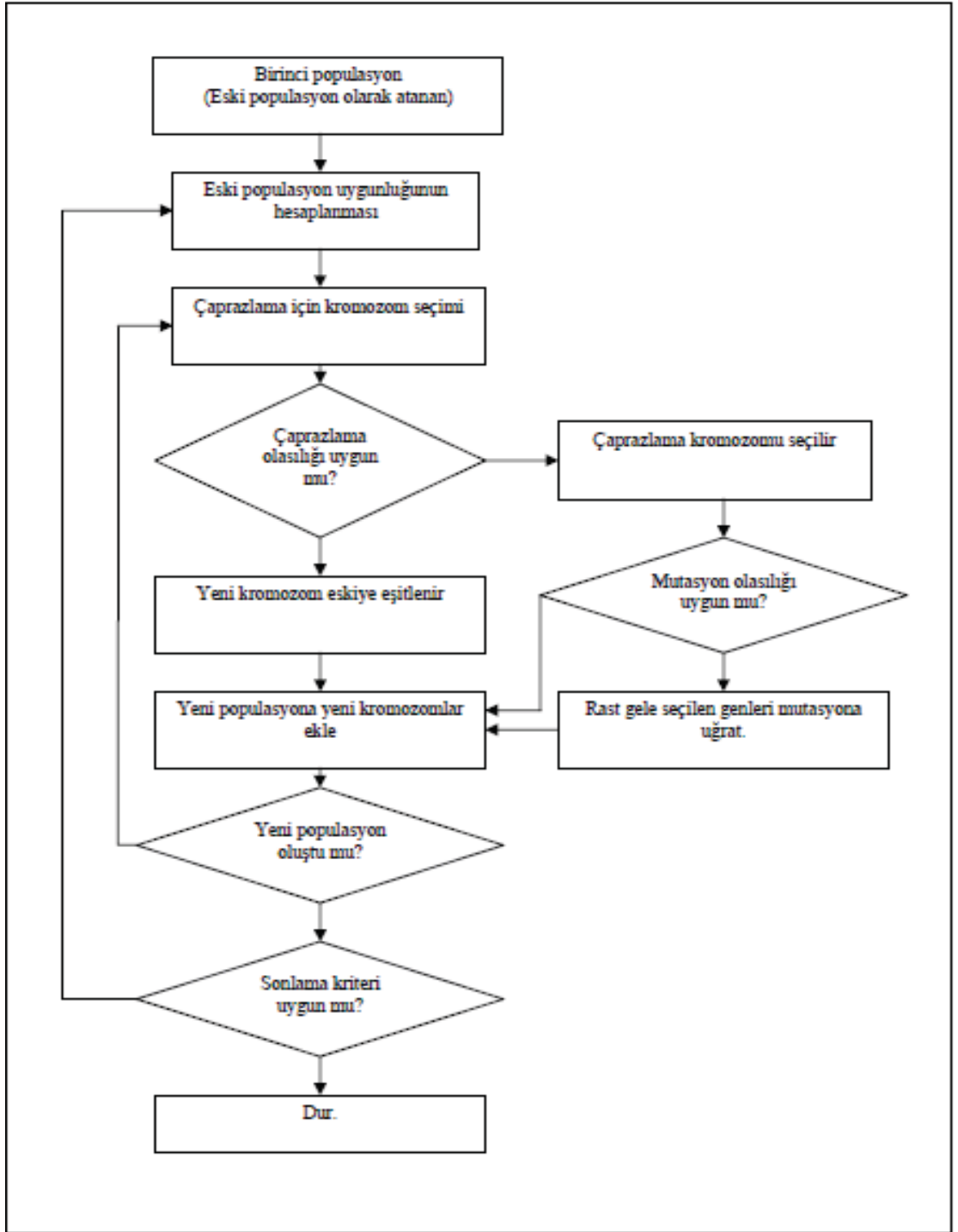
Şekil 18 Tek noktalı basit çaprazlama operasyonu

Çaprazlama Operasyonu

Programda mutasyon operasyonu çaprazlama operasyonu ile birleştirilmiş ve bu işlem dördüncü bölümde açıklandığı gibi yapılmıştır. Paket program, mutasyon oranının kullanıcı tarafından seçilmesine imkân verecek şekilde tasarlanmıştır.



Şekil-19: Proje programlamada mutasyon operasyonu



Şekil-20: Çözüm metodu akış diyagramı

5.3. Problemin Çözümü

Projenin çözümünde Doç.Dr. Mürsel ERDAL tarafından Delphi 7.0 programlama dili ve paradox veri tabloları kullanılarak yazılmış olan “Genetik Algoritma ile Kaynak Kısıtlı Proje Programlama (GA_KKPP)” programı kullanılmıştır.

Programın ara yüzü



Tablo 6: Programın ara yüzü

Program projeye ilişkin bilgilerin tanımlanması ve genetik operatörlere ilişkin bilgilerin belirlenmesi sonucunda çalışmaktadır.

Faaliyetlerin Tanımlanması

ADI	SÜRE (GÜN)
TEMEL	10
KALIPDONATIBETON	20
DUVAR	15
ŞAP	8
SIVA	10
CATI	14
BOYA	4
SERAMİK	7
LAMİNAT	5
KAPIDOLAP	4
ALTYAPI	15

Tablo 7: Faaliyetlerin tanımlanması

Projeye ilişkin faaliyetler ve bu faaliyetlerin tamamlanması için gerekli minimum süreler faaliyet tanımlama aşamasında programa girilir.

Kaynakların Tanımlanması

ADI	MIKTAR
EKSKAVATÖR	1
KAMYON	3
ŞAP MAKİNASI	1
JSB	1
KULEVİNÇ	1
TOPOGRAFI	1
ELEKTRİK MÜHENDİSİ	1
İNŞAAT MÜHENDİSİ	1
USTA	10
İŞÇİ	20

Tablo 8: Kaynakların tanımlanması

Proje süresince, faaliyetlerin tamamlanması amacıyla kullanılacak kaynaklar ve bu kaynakların kullanılabilmesi için maksimum miktara ilişkin bilgiler kaynak tanımlama aşamasında tanımlanmaktadır. Proje süresince en fazla işçi ve usta kaynaklarına ihtiyaç duyulmaktadır.

Faaliyet – kaynak ilişkisi



FAALİYET	KAYNAK	MIKTAR
TEMEL	EKSKAVATÖR	1
TEMEL	KAMYON	1
TEMEL	USTA	2
TEMEL	İSÇİ	4
KALIPDONATİBETON	KULEVİNÇ	1
KALIPDONATİBETON	USTA	4
KALIPDONATİBETON	İSÇİ	10
DUVAR	İSÇİ	6
DUVAR	USTA	3
CATI	USTA	1
CATI	İSÇİ	2

Tablo 9: Faaliyetlerin kaynak ihtiyacı

Proje süresince faaliyetler tarafından ortak kullanımı en fazla olan kaynaklar, usta ve işçi kaynaklarıdır. Bu kaynaklara ilişkin kullanılabilir maksimum miktar bilgisi projenin tamamlanma süresine ilişkin optimizasyon çalışmalarını doğrudan etkilemektedir.

Faaliyetler arasındaki öncülük ilişkileri



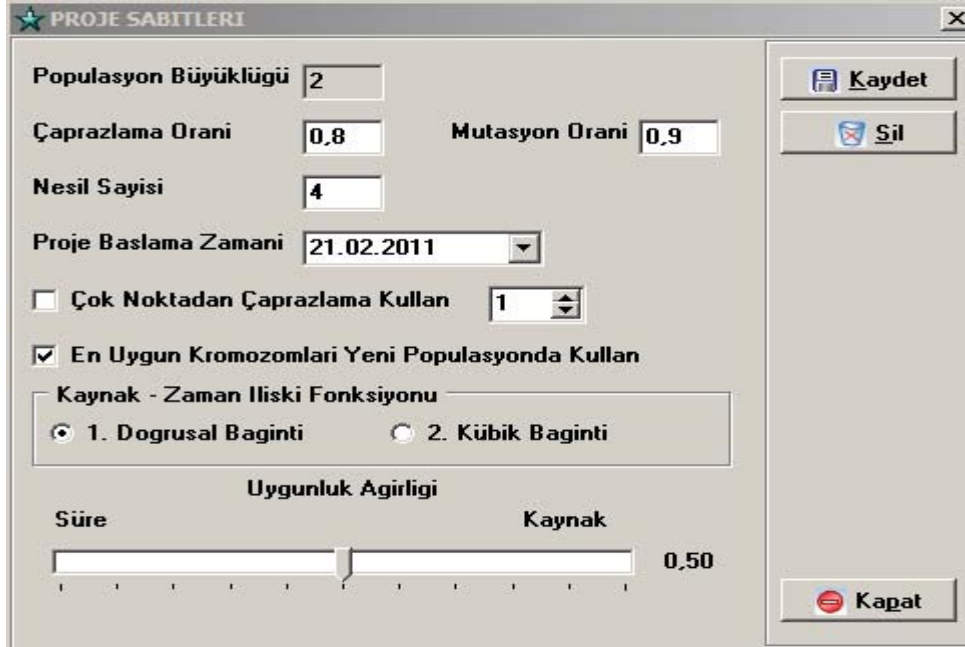
FAALİYET	ÖN KOSUL
KALIPDONATİBETON	TEMEL
DUVAR	KALIPDONATİBETON
CATI	KALIPDONATİBETON
SIVA	DUVAR
SIVA	CATI
ŞAP	DUVAR
ŞAP	CATI
BOYA	SIVA
BOYA	ŞAP
SERAMİK	BOYA
LAMİNAT	SERAMİK
KAPIDOLAP	SERAMİK

Tablo 10: Faaliyetler arası öncülük ilişkileri

Faaliyetlere ilişkin öncülük ilişkileri, projenin en önemli bileşenidir. Öncülük ilişkilerinde yapılacak herhangi bir mantık veya tanımlama hatası projeyi hem süre hem de kalite ve maliyet açısından oldukça etkilemektedir. Öncülük ilişkilerinin iyi

tanımlanması özellikle kaynak ihtiyacına yönelik çalışmaları olumlu yönde etkilemektedir.

Genetik algoritma operatörlerinin tanımlanması



The screenshot shows a window titled "PROJE SABITLERI" with the following parameters and controls:

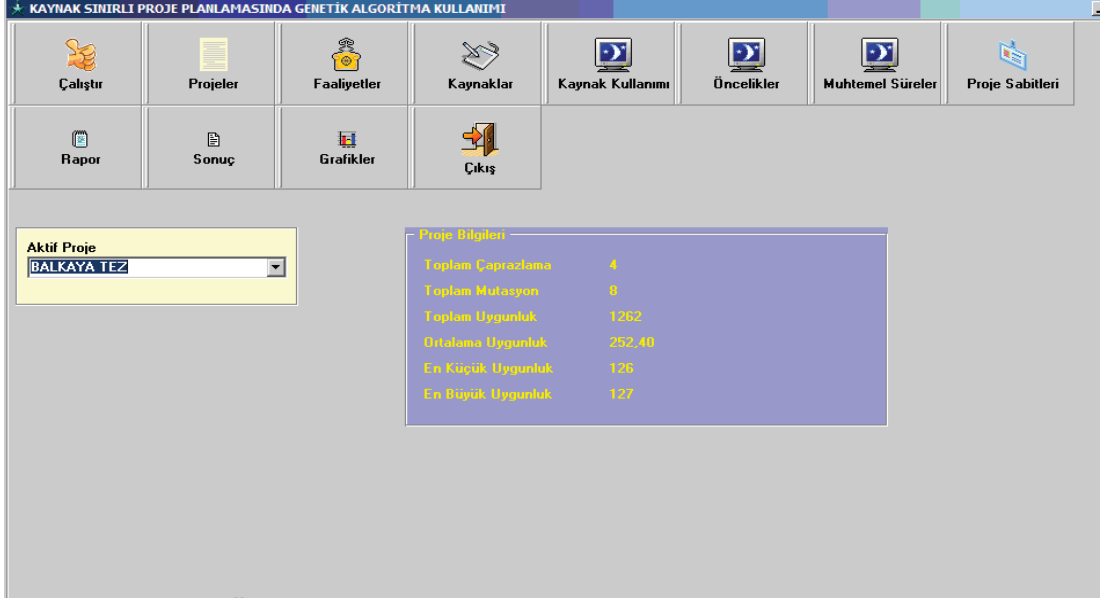
- Populasyon Büyüklüğü: 2
- Çaprazlama Oranı: 0,8
- Mutasyon Oranı: 0,9
- Nesil Sayısı: 4
- Proje Baslama Zamanı: 21.02.2011
- Çok Noktadan Çaprazlama Kullan: 1
- En Uygun Kromozomları Yeni Populasyonda Kullan
- Kaynak - Zaman İlişki Fonksiyonu:
 - 1. Doğrusal Bağinti
 - 2. Kübik Bağinti
- Uygunluk Agirligi: 0,50 (Slider between Süre and Kaynak)

Buttons on the right side: Kaydet, Sil, and Kapat.

Tablo 11: Genetik Operatörlerin tanımlanması-1

Genetik algoritma operatörlerine ilişkin yapılacak olan tanımlamalar hem çözüm süresini hem de optimum çözüme ilişkin sonucu etkilemektedir. Genetik operatörlere ilişkin yukarıda yapılan tanımlamalar sonucunda program çalıştırıldığında, Proje minimum 126 gün içerisinde tamamlanmaktadır.

Projeye ilişkin sonuç çıktısı



Tablo 12: Sonuç çıktısı -1

Program belirlenen genetik operatörler sonucunda, 4 çaprazlama ve 8 mutasyon işlemi gerçekleştirilmiştir. Genetik operatörler üzerinde yapılacak değişiklikler proje süresine ilişkin minimum süreyi etkileyecektir. İlgili operatörlere ilişkin belirlenen tanımlamalar aşağıdaki şekilde değiştirilirse, projenin minimum tamamlanma süresi 122 güne düşmüştür.

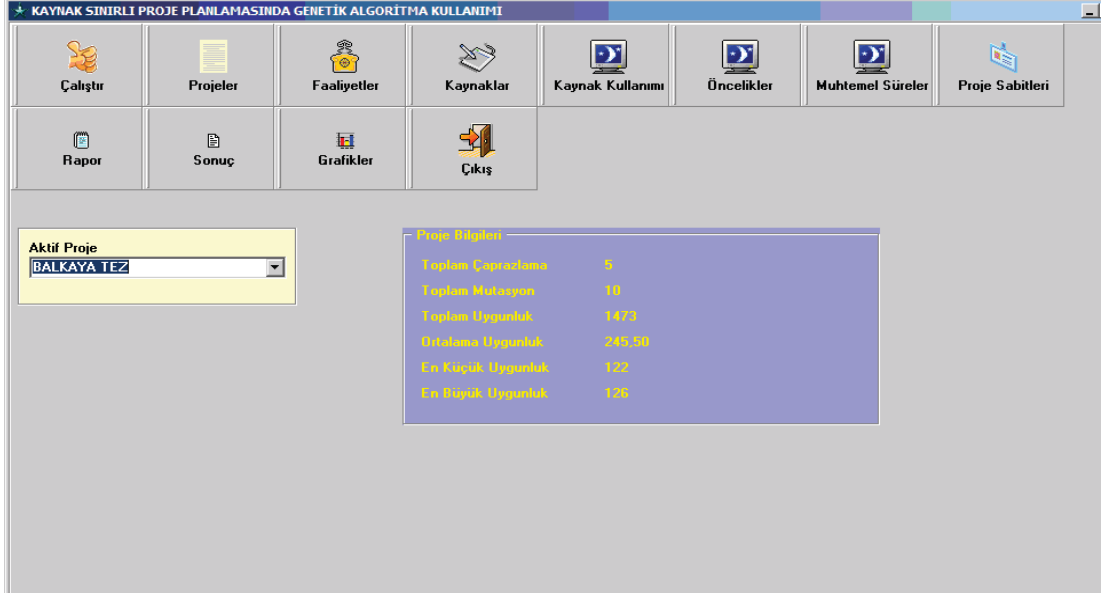
The screenshot shows the 'PROJE SABİTLERİ' dialog box. It contains the following settings:

- Populasyon Büyüklüğü: 2
- Çaprazlama Oranı: 0.8
- Mutasyon Oranı: 0.9
- Nesil Sayısı: 5
- Proje Başlama Zamanı: 21.02.2011
- Çok Noktadan Çaprazlama Kullan: 1
- En Uygun Kromozomları Yeni Populasyonda Kullan
- Kaynak - Zaman İlişki Fonksiyonu: 1. Doğrusal Bağinti, 2. Kübik Bağinti
- Uygunluk Ağırlığı: (Süre: 0, Kaynak: 0.50)

Buttons: Kaydet, Sil, Kapat.

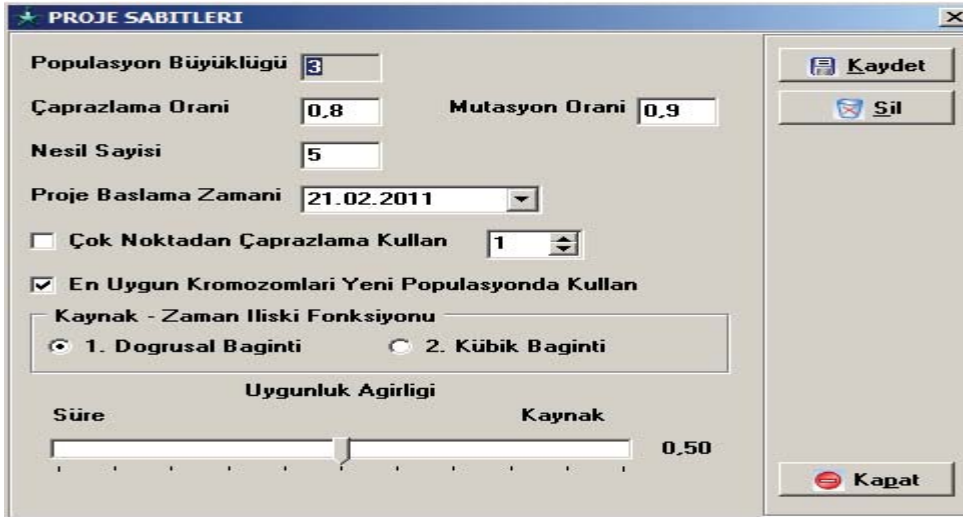
Tablo 13: Genetik operatörlerin tanımlanması-2

Genetik operatörlerde yapılan değişiklik sonucu, toplam çaprazlama sayısı 5'e, toplam mutasyon sayısı 10'a çıkmıştır.



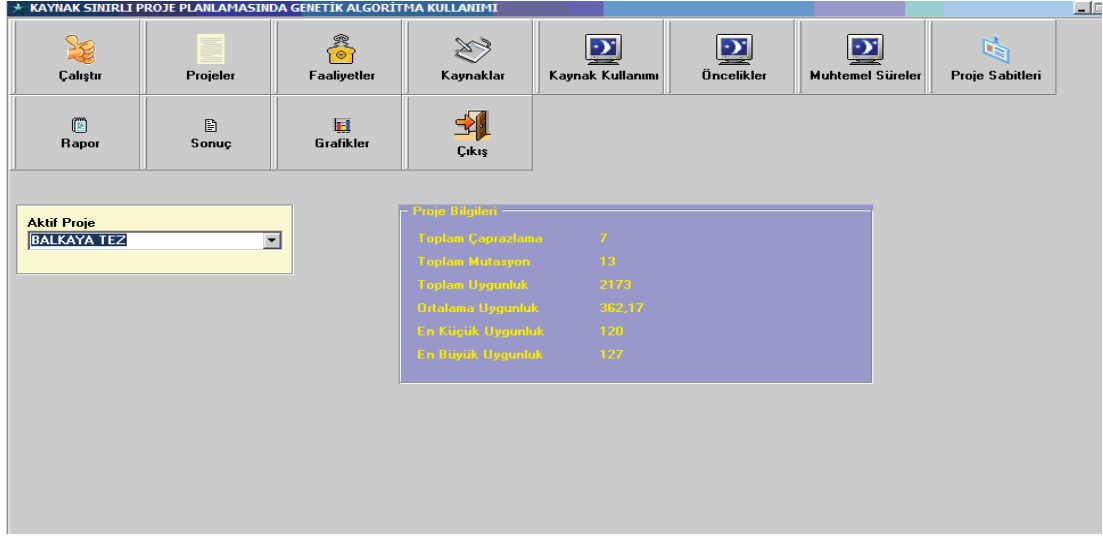
Tablo 14: Sonuç çıktısı-2

Çözüme ilişkin genetik operatör tanımlamaları popülasyon büyüklüğü 3, nesil sayısı 5, çaprazlama oranı 0,8 ve mutasyon oranı 0,9 olarak tanımlandığında proje tamamlama süresi 120 gün olarak bulunmaktadır.

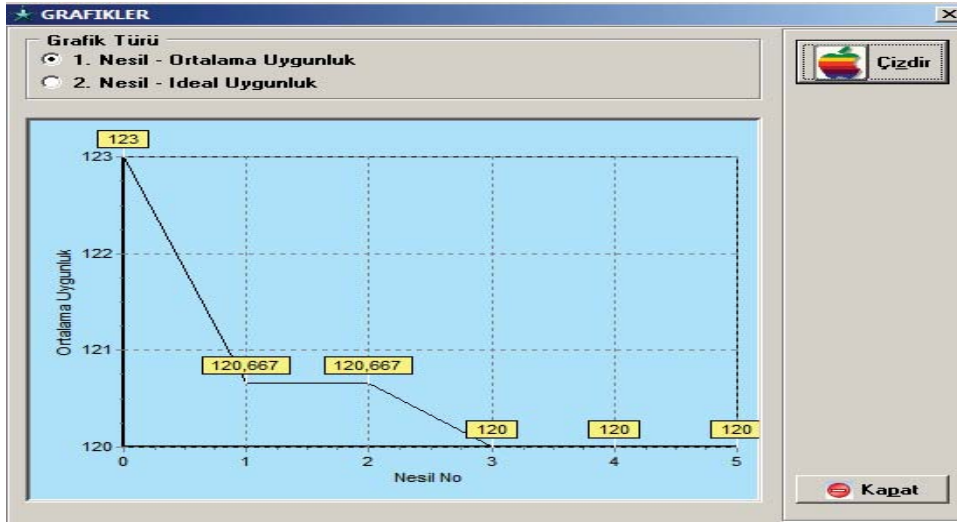


Tablo 15: Genetik operatörlerin tanımlanması-3

Genetik operatörlerde yapılan değişiklik sonucu toplam çaprazlama sayısı 7, toplam mutasyon sayısı 13 olarak gerçekleşmiştir.



Tablo 16: Sonuç çıktısı-3



Tablo 17: Sonuç grafiği-1

Grafikte de görüldüğü üzere 3. nesilden itibaren yapılan minimum süreye yönelik arama çalışmaları hep 120 gün ile sonuçlanmıştır. Genetik operatörler üzerine yapılan değişiklikler farklılaştırılarak (tüm ihtimallere ilişkin sonuçlar izlenmemiştir.) devam ettirilmiş fakat yapılan değişiklikler minimum proje süresini 120 gün ve altına indirmemiştir.

Projeye ilişkin kaynaklar ve öncülük ilişkileri tanımlandığında, usta ve iş kaynaklarında sıkıntı yaşanabileceği öngörülmüştü. Bu kaynaklara ilişkin

kullanılabilir maksimum miktar üzerinde yapılacak değişiklerin proje süresine etkisi incelenmiştir.

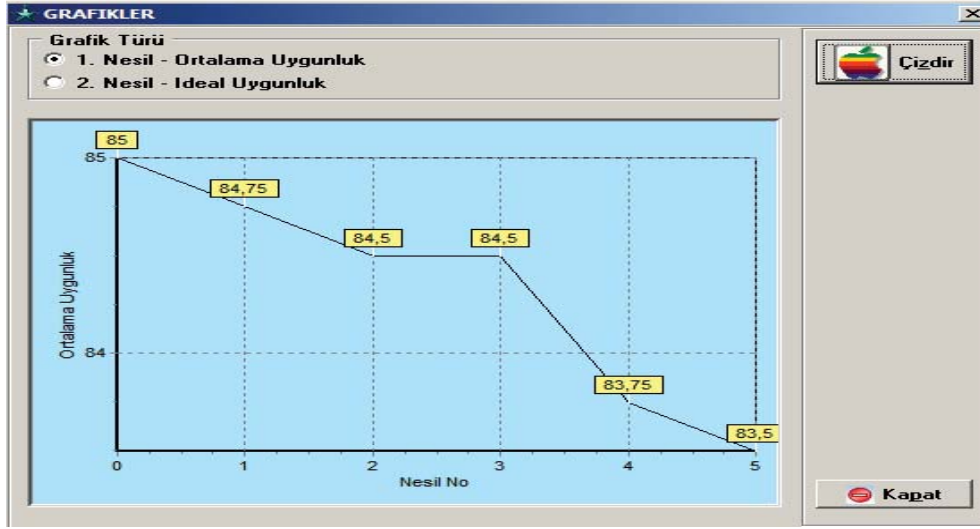
ADI	MIKTAR
EKSKAVATÖR	1
KAMYON	3
ŞAP MAKİNASI	1
JSB	1
KULEVİNÇ	1
TOPOGRAF	1
ELEKTRİK MÜHENDİSİ	1
İNŞAAT MÜHENDİSİ	1
USTA	12
İŞÇİ	20

Tablo 18: Kaynak miktarlarının revize edilmesi

Proje süresince eş zamanlı kullanılacak maksimum işçi sayısı 20, usta sayısı 12'ye çıkarıldığında ve populasyon büyüklüğü 4, nesil sayısı 5, çaprazlama oranı 0,8 ve mutasyon oranı 0,9 olarak tanımlanmıştır. Program tanımlanan genetik operatörler sonucunda 10 çaprazlama ve 19 mutasyon işlemi yaparak projenin minimum tamamlanma süresi 83 gün olarak bulunmuştur.

Proje Bilgileri	
Toplam Çaprazlama	10
Toplam Mutasyon	19
Toplam Uygunluk	2024
Ortalama Uygunluk	337.33
En Küçük Uygunluk	83
En Büyük Uygunluk	86

Tablo 19: Sonuç çıktısı-4



Tablo 20: Sonuç grafiği-2

Kaynak tanımlamalarında yapılan değişikliğin projenin minimum süresi üzerinde yaratmış olduğu etkinin oldukça büyük olduğu görölmüşür. Bu çalışmada temel olarak süre optimizasyonu üzerinde durulmuştur. Bu nedenle tamamlanma süresini minimize etmek amacıyla, mevcut koşullarda 120 gün civarında gerçekleşen minimum tamamlanma süresinin düşürölmesi için kaynak artırımına gidilmesi gerektiği tespit edilmiştir.

ALTINCI BÖLÜM

6. SONUÇ

Üretim ve hizmet faaliyetlerine yön veren en temel kaynak insan ihtiyaçlarıdır. İnsan ihtiyaçlarının artması ve/veya çeşitlenmesine paralel olarak, üretim ve hizmet faaliyetlerindeki karmaşıklık da artmaktadır. Bu karmaşıklığı ortadan kaldıran en basit yöntem, bütünü oluşturan faaliyetler arasında ilişki kurmaktır. 20. yüzyılın başından itibaren bu ilişkileri açıklamaya yönelik bir dizi çalışma yapılmıştır. Bu çalışmalar gerek akademik birimler, gerekse piyasa uzmanları tarafından yürütülmüştür. Bu çalışmaların sonucu olarak ortaya atılan ilk ve en temel yöntemlerden biri proje çizelgelemedir.

Proje çizelgeleme kavramı üzerine yapılan çalışmaların temeli 1910 yılında Henry Gantt tarafından oluşturulan Gantt Çizelgesine kadar uzanmaktadır. Proje çizelgelemenin en temel hali olarak kabul edilen Gantt Çizelgesi ile Amerikan Eyaletlerarası Otoban Sistemi ve Hoover Barajı gibi büyük ve karmaşık projelerin yürütülmesi sağlanmıştır.

Bu çalışmada proje çizelgeleme problemlerine ilişkin gelişmelerin ve gelinen son noktada hangi yöntemlerin çözüm aracı olarak kullanıldığına dair bir çok konu başlığı incelenmiştir. Özellikle 20. yüzyılın son çeyreğinden itibaren deterministik çözüm yöntemlerinden, sezgisel çözüm yöntemlerine doğru bir geçişin yapıldığı görülmüştür. Bunun en temel nedeni, projelere konu olan problemlerin farklı özellikler göstermesidir. Kaynak kısıtları, kaynak türleri, faaliyetler, faaliyetler arası ilişki, faaliyet süreleri vb. birçok farklı bileşen, her projede farklı özellik göstermektedir.

Sezgisel yöntemlerin farklı özellik gösteren birçok problemde çözüm aracı olarak kullanılabilmesinin temelinde, her bir yöntemin kendi içerisinde farklı bir doğa olayını barındırması yatmaktadır. Genetik algoritmaların temelinde C. Darwin tarafından geliştirilen Evrim Teorisi, tavlama benzetim yönteminde katıların fiziksel

tavlanması ve karınca kolonisi yönteminde ise karıncaların doğal davranışları yatmaktadır. Sezgisel yöntemlerin temelini oluşturan bu nedenler, bu yöntemlerin birçok farklı problemde çözüm aracı olarak kullanılabilmesini ve çözüme ilişkin optimal sonuçların alınmasını sağlamaktadır.

Sezgisel yöntemler üzerine yapılan literatür çalışmasında, genetik algoritmaların en yaygın kullanılan methodlardan biri olduğu görülmüştür. Ülkemizde ağırlıklı olarak atama problemleri adını verdiğimiz problemlerin çözümünde kullanılmasına rağmen yurtdışında yapılan çalışmaların finans ve mühendislik ağırlıklı bir yönde ilerlediği görülmüştür. Genetik algoritmaların çalışma prensipleri göz önüne alındığında, en karmaşık problemlerin çözümünde bile uygun tanımla yapıldığı takdirde başarılı sonuçlar alındığı görülmüştür.

İnşaat sektörüne yönelik olarak yapmış olduğumuz uygulama çalışmasında da görülmüştür ki, problemi oluşturan bileşenler arasındaki ilişkiler ve bu ilişkiler sonucunda oluşan karmaşık yapı, ilgili tanımların doğru yapılması sonucunda genetik algoritmalarla optimal sonuca yakın bir şekilde çözümlenebilmektedir. Kullanıcılar bu ve benzeri çalışmalarda problemin çözümünde kullanılacak çözüm yöntemini belirlerken, ilgili çözüm yönteminin probleme uygunluğu, optimal sonuç üretebilme vb. kriterlerin yanında, problemin çözüm süresine de önem vermektedir. Genetik algoritmalar çözüm hızı açısından diğer birçok yöntemle göre kullanıcılar için avantaj sağlamaktadır.

Sonuç olarak proje çizelgeleme vb. özelliklere sahip problemlerin çözümünde tek çözüm üreten deterministik yöntemlerin kullanımından sezgisel yöntemlerin kullanımına doğru bir geçiş yaşanmıştır. Benzer problemler farklı çözüm üretebilen farklı methodlar ile çözülmüş, optimale yakın sonuçlar alındığı görülmüştür. Hangi yöntemin daha iyi sonuçlar verdiği konusunda üzerinde fikir birliğine varılmış ortak bir kanı yoktur. Yapılan çalışmalarda ortaya atılan ortak fikir, kullanılacak çözüm yönteminin problemin özellikleri ile uyum gösterebilecek özellikte olmasıdır.

KAYNAKÇA

AKOĞLU, Kıvanç, **Konteynır Limanının Depolama Sahasının Genetik Algoritma ile Optimizasyonu**, Celal Bayar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Yüksek Lisans Tezi, Manisa, 2006

AYBARS, Uğur; AYDIN, Doğan (2001), **Ant Sistem Algoritmasının Java İle Görüntülenmesi**, Ege Üniversitesi

BABAYİĞİT, Cihan, “**Genetik Algorithms and Mathematical Models in Manpower Allocation and Cell Loading Problem**”, The Faculty of Russ College of Engineering and Technology of Ohio Univeristy, The Degree Master of Science, Ohio, 2003

CAN, Vu Thien; FERLAND, Jacques A.; ANH, Nguyen Huu, **Genetic Algorithm for the Resource Constrained Project Scheduling Problem Using Encoding with Scheduling Mode**, Kanada, 2004

CHEN, Ruey-Maw; LO, Shih-Tang, **Using an Enhanced Ant Colony System to Solve Resource – Constrained Project Scheduling Problem**, International Journal of Computer Science and Network Security, Vol.6 No.11, Seul, 2006

ÇETİN, Nurdan, **Genetik Algoritma**, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, İstanbul, 2002

DEĞİRMENCİ, GÜVENÇ, **The Budget Constrained Discrete Time/Cost Trade Off Problem In Project Networks**, Orta Doğu Teknik Üniversitesi Endüstri Mühendisliği Yüksek Lisans Tezi, Ankara, 2008

DOYRANLI, Ş, **Genetik Algoritmalar ile Seyahat Eden Satıcı Probleminin Çözümlemesi**, <http://.doruk.net.tr/Arifprogramlar/delphi,1999>

DUMAN, Cem, **Genetik Algoritma İle Tesis Yerleşimi Tasarımı ve Bir Uygulama**, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı Yüksek Lisans Tezi, İstanbul, 2007

ERDAL, Mürsel, **Kısıtlı Kaynak Koşullarında Yapı Projelerinin Genetik Algoritma ile Programlanması**, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yapı Eğitimi Bölümü Doktora Tezi, Ankara, 2007

GOLDBERG, D.E., **Genetic Algorithms in search, Optimization and machine Learning**, Addison-Weiley Publishing, Massachusetts, 1989

GÜVENÇ, B, **A genetic algorithm for multi-mode for resource constrained project scheduling**, ODTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, 2000

HAFIZOĞLU, Ahmet Baykal, **Discrete Time/Cost Trade-Off Problem In Project Scheduling**, Orta Doğu Teknik Üniversitesi Endüstri Mühendisliği Yüksek Lisans Tezi, Ankara, 2007

KARAKAYA, Abdülkadir, **Genetik Algoritmaların Yapı Proje Yönetiminde Kaynak Dengelemesi Amacıyla Kullanımının Modellenmesi**, Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Mimarlık Anabilim Dalı Doktora Tezi, İzmir, 2007

KARCI, Ali, **Genetik Algoritmalarda Iraksama ve Yerel Çözümde Kalma Problemlerinin Giderilmesi**, Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Elektrik ve Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı Doktora Tezi, Elazığ, 2002

KORUKOĞLU, Serdar; İŞÇİ, Öznur, **Genetik Algoritma Yaklaşımı ve Yöneylem Araştırmasında Bir Uygulama**, Celal Bayar Üniversitesi İ.İ.B.F Yönetim ve Ekonomi Dergisi Cilt:10 Sayı:2, Manisa, 2003

KILIÇ, Murat, **Multiobjective Genetic Algorithm Approaches to Project Scheduling Under Risk**, Sabancı Üniversitesi Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi Yüksek Lisans Tezi, İstanbul, 2003

KILIÇ, Murat; ULUSOY, Gündüz; ŞERİFOĞLU, Funda, **A Bi – Objective Genetic Algorithm Approach To Risk Mitigation In Project Scheduling**, Appeared in International Journal Of Production Economics, İstanbul, 2008

KULLUK, S, **Tesis Yerleşim Problemlerinde Genetik Algoritmalar ve Bir Paralel Genetik Algoritma Uygulaması**, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, Ankara, 2004

OKTAY, Selda; ENGİN, Orhan, **Scatter Search Method For Solving Industrial Problems**, Selçuk Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi, Konya, 2006

OZDAMAR, L; ULUSOY,G, **A local constraint-based analysis approach to project scheduling problem**, IIE Transaction, 1995

OZDAMAR, L, **A genetic algorithm approach to a general category Project scheduling problem**, IEEE Transaction on Systems Man and Cybernetics Part C- Applications and Reviews, 1999

ÖZDEMİR, Yavuz Selim, **Karınca Kolonisi Algoritması ile Bilgisayar Ağlarının Topolojik En İyilenmesi**, Başkent Üniversitesi Bilgisayar Mühendisliği Anabilim Dalı Yüksek Lisans Tezi, Ankara, 2008

PAKSOY, Semin; UZUN, Arzu, **Genetik Algoritma ile Kaynak Kısıtlı Proje Çizelgeleme**, Çukurova Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi Sayı-2 Cilt-17 S.345-362, Adana, 2008

PAKSOY, Semin, **Genetik Algoritmalar ile Kaynak Kısıtlı Proje Çizelgeleme**, Çukurova Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü İşletme Anabilim Dalı Doktora Tezi, Adana, 2007

SARI, Tuncay, **Metasezgisel Yöntemlerle Proje Çizelgeleme Optimizasyon**, Marmara Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Ekonometri anabilim Dalı Doktora Tezi, İstanbul, 2008

ŞAHİN, Ramazan, **Dinamik Tesis Düzenleme Problemi İçin Tavlama Benzetimi Sezgiseli**, Gazi Üniversitesi Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi Dergisi No:4, Ankara, 2008

ŞEN, Zekai, **Genetik Algoritmalar ve En İyileme Yöntemleri**, İstanbul,2004

ŞERİFOĞLU, SIVRİKAYA, ULUSOY,ŞAHİN, **Kaynak kısıtlı proje çizelgelemede indirgenmiş nakit akışı maksimizasyonu için genetik algoritma yaklaşımı**, Endüstri Mühendisliği Dergisi, 2000

TURĞUT, Paki; GÜMÜŞÇÜ, Mehmet; ARSLAN, Abdussamet, **Genetik Algoritmalar ve Çalışma Prensipleri**, GAP 4. Mühendislik Kongresi Bildiriler Kitabı, Şanlıurfa, 2002

ULUSOY, Gündüz, **Proje Planlamada Kaynak Kısıtlı Çizelgeleme**, Sabancı Üniversitesi Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, İstanbul, 2002

Wall, Matthew Barstchi, **A Genetic Algorithm for Resource-Constrained Scheduling**, Department of Mechanical Engineering- Massachusetts Institute of Technology, Massachusetts, 1996

YALÇINÖZ, T; YAVUZER,T; ALTUN,H, **Tabu Araştırması Uygulanarak Ekonomik Yük Dağıtım Probleminin Çözümü**, Niğde Üniversitesi Mühendislik

Mimarlık Fakültesi Elektrik- Elektronik Mühendisliği Bölümü FBE 2001/04 No'lu
Proje , Niğde, 2001