

(DOKTORA TEZİ)

**ŞANTIYE YERLEŞİM PROBLEMİ ÇÖZÜMÜNDE
KARINCA KOLONİ OPTİMİZASYONUNUN KULLANIMI**

Gülben ÇALIŞ

Tez Danışmanı : Prof. Orhan YÜKSEL

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Bilim Dalı Kodu : 624.06.00

Sunuş Tarihi : 27.10.2009

Bornova-İZMİR

2009

Gülben Çalış tarafından DOKTORA tezi olarak sunulan “**Şantiye Yerleşim Problemi Çözümünde Karınca Koloni Optimizasyonunun Kullanımı**” başlıklı bu çalışma E.Ü. Lisansüstü Eğitim ve Öğretim Yönetmeliği ile E.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü Eğitim ve Öğretim Yönergesi’nin ilgili hükümleri uyarınca tarafımızdan değerlendirilerek savunmaya değer bulunmuş ve 27.10.2009 tarihinde yapılan tez savunma sınavında aday oybirliği/oyçokluğu ile başarılı bulunmuştur.

Jüri Üyeleri:

İmza

Jüri Başkanı	: Prof. Orhan YÜKSEL	
Raportör Üye	: Doç Dr. H. Murat GÜNAYDIN	
Üye	: Doç Dr. Suat GÜNHAN	
Üye	: Yrd. Doç. Dr. Şemsi YAZICI	
Üye	: Yrd. Doç. Dr. Selim BARADAN	

ÖZET

ŞANTIYE YERLEŞİM PROBLEMİ ÇÖZÜMÜNDE KARINCA KOLONİ OPTİMİZASYONUNUN KULLANIMI

ÇALIŞ, Gülben

Doktora Tezi, İnşaat Mühendisliği Bölümü

Tez Yöneticisi: Prof. Orhan Yüksel

Ekim 2009, 95 sayfa

Bu çalışmada, bir şantiyede bulunan tesislerin en uygun yerlere yerleştirilmesi amaçlanmaktadır. Böylece, proje maliyetinde önemli bir yer tutan taşıma giderlerinin azaltılması sağlanmaktadır.

Çalışma kapsamında metasezgisel bir yöntem olan karınca koloni optimizasyonu tabanlı bir algoritma geliştirilmiştir. Algoritmanın etkinliği, literatürde ulaşılan veri setleri üzerinde test edilerek doğrulanmış ve sonuç olarak taşıma maliyetleri açısından daha ekonomik şantiye yerleşimi sağlanmıştır.

Geliştirilen algoritma, devam eden Beydağ Barajı inşaatı projesine uygulanmıştır. Projede belirlenen altı adet sabit (baraj gövdesi, menba ve mansap batardoları, derivasyon tüneli, kum-çakıl ocağı ve kaya ocağı) ve beş adet geçici (depo, stok sahası, konvansiyonel elektrik ve beton santrali, silindirle sıkıştırılmış beton santrali ve prefabrike eleman üretim yeri) tesisin şantiye içerisinde yerleşimi yapılmıştır. Bu tesisler, mevcut yerleşim noktaları ile tesviye eğrili genel yerleşim planı kullanılarak belirlenen alternatif noktalara, iki farklı uygulamada atanarak şantiye yerleşimi gerçekleştirilmiştir. Geliştirilen algoritma, mevcut yerleşim noktaları ve alternatif noktaların tanımlandığı yerleşimlerde, amaç fonksiyonunda sırasıyla %44.9, %54.6 oranında azalma elde ederek daha uygun sonuçlar üretmiştir.

Anahtar Kelimeler: Metasezgisel yöntemler, karınca koloni optimizasyonu, şantiye yerleşimi, atama problemi.

ABSTRACT**THE USE OF ANT COLONY OPTIMIZATION
IN SOLVING SITE LAYOUT PROBLEMS**

ÇALIŞ, Gülben

PhD Dissertation, Department of Civil Engineering

Supervisor: Prof. Orhan Yüksel

October 2009, 95 pages.

The objective of this study is to realize the allocation of site facilities to the most appropriate locations. Thus, reduction of transportation costs, which cover a significant amount in the project cost, is provided.

An algorithm based on a metaheuristic method entitled ant colony optimization was developed within the scope of the study. Tests were performed on data sets taken from the literature to justify the effectiveness of the algorithm, and more economic site layout in terms of transportation costs was achieved as a result.

Developed algorithm was applied to the ongoing Beydağ Dam construction project. Six fixed (dam body, upstream and downstream cofferdams, diversion tunnel, sand-gravel pit and rock quarry) and five temporary (storage, stockyard, conventional power and concrete plant, roller compacted concrete plant and pre-fabricated component production site) facilities in the project were located within the site. These facilities were assigned to current allocation points and alternative points, which were defined using the contour lines of the terrain, to achieve site layout in two different applications. Developed algorithm generated better results for both current and alternative allocation points, in which reductions of 44.9% and 54.6% in the objective function were obtained respectively.

Keywords: Metaheuristic methods, ant colony optimization, site layout, assignment problem.

TEŞEKKÜR

Bu çalışmanın gerçekleşmesinde yakın ilgisini esirgemeyen İnşaat Yüksek Mühendisi Uğur Sefa Horzum, Yrd. Doç. Dr. Perviz Ahmedzade, DSİ çalışanları, yakın arkadaşım Dr. Aslı BİLGİN, çalışma arkadaşım Araş. Gör. Emre ERCAN ve sevgili aileme teşekkürü borç bilirim.

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET.....	İii
ABSTRACT	V
TEŞEKKÜR	Vii
TABLolar DİZİNİ	Xiii
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	XV
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	XVII
1. GİRİŞ.....	1
2. OPTİMİZASYON VE TEMEL KAVRAMLAR	3
2.1 Karmaşıklık Teorisi	3
2.1.1 Algoritma karmaşıklığı.....	3
2.1.2 Hesaplama karmaşıklığı	4
2.1.3 Problem karmaşıklığı	4
2.2 Optimizasyon Problemlerinin Sınıflandırılması	5
2.3 Çözüm Yöntemlerinin Sınıflandırılması	8
2.3.1 Analitik çözüm yöntemleri	8
2.3.2 Yaklaşık çözümler	9

3. KARINCA KOLONİ OPTİMİZASYONU	19
3.1 Gerçek Karınca Kolonisi Davranışı	19
3.2 Yapay Karıncalar	22
3.3 Mevcut Karınca Koloni Algoritmaları	23
3.3.1 Karınca sistemi	23
3.3.2 Elitist karınca sistemi	25
3.3.3 ANT-Q	25
3.3.4 Karınca koloni sistemi	26
3.3.5 Max-Min karınca sistemi	27
3.3.6 Sıralamaya dayalı karınca sistemi	28
3.3.7 ANTS	28
3.4 KKO Uygulama Alanları	29
4. ŞANTIYE YERLEŞİM PROBLEMİ	33
4.1 Şantiye Yerleşiminin Amaç, Kapsam ve Önemi	33
4.2 Şantiye Yerleşim Probleminde Çözüm Aşamaları	35
4.2.1 Problem tanımı	36
4.2.2 Yer tanımlanması	37
4.2.3 Tesisler arası ilişkilerin belirlenmesi	37
4.2.4 Yerleşimin gösterimi	38
4.3 Şantiye Yerleşimi İle İlgili Yapılmış Çalışmalar	40

5. ŞANTIYE YERLEŞİMİ İÇİN KKO-PA YAKLAŞIMI.....	51
5.1 Çalışmanın Amacı	51
5.2 Algoritmanın Tanıtımı	51
5.2.1 Algoritmanın özellikleri ve yapılan kabuller.....	52
5.2.2 Amaç fonksiyonu	52
5.2.3 Sezgisel bilgi	53
5.2.4 İlk feromon değerlerinin belirlenmesi	54
5.2.5 Aday liste	54
5.2.6 Geçiş kuralı	55
5.2.7 Lokal arama.....	55
5.2.8 Feromon izi güncelleme kuralları.....	56
5.2.9 Bitirme kriteri	56
5.2.10 Parametre Analizi	57
5.3 KKO-PA'nın Test Edilmesi	59
6. BARAJ ŞANTIYESİNDE KKO-PA UYGULAMASI	63
6.1 Uygulama Projesinin Tanıtılması	63
6.2 Gerekli Tesislerin Belirlenmesi	64
6.3 Uzaklık Matrisinin Belirlenmesi.....	65
6.4 Tesisler Arası Akış Miktarının Belirlenmesi	71
6.5 Beydağ Barajı Şantiye Yerleşimi Çözümü	74

7. SONUÇ VE ÖNERİLER	77
KAYNAKLAR DİZİNİ	81
ÖZGEÇMİŞ.....	95

TABLOLAR DİZİNİ

<u>Tablolar</u>	<u>Sayfa</u>
Tablo 3.1 KKO algoritmalarının uygulama alanları.....	30
Tablo 4.2 11 tesisli yerleşime ait permütasyon matrisi	39
Tablo 4.3 11 tesisli yerleşimin grafik gösterimi.....	39
Tablo 4.4 11 tesisli bir yerleşime ait dizi gösterimi	39
Tablo 5.1 Li ve Love'a ait verilerdeki tesisler	59
Tablo 5.2 Li ve Love'da tesisler arası akış ve uzaklıklar	60
Tablo 5.3 Literatürdeki verilerle KKO-PA'nın kıyaslanması	60
Tablo 6.1 Şantiyede gerekli tesisler ve etiketleme	65
Tablo 6.2 Mevcut tesisler arası uzaklık matrisi	68
Tablo 6.3 Mevcut tesisler arası düzeltilmiş uzaklık matrisi.....	69
Tablo 6.4 Alternatif yerleşimleri içeren düzeltilmiş bağlı uzaklık matrisi.....	71
Tablo 6.5 Baraj gövdesi akış miktarları	72
Tablo 6.6 Menba batardosu akış miktarları	73
Tablo 6.7 Mansap batardosu akış miktarları.....	73
Tablo 6.8 Derivasyon tüneli akış miktarları	73
Tablo 6.9 Tesisler arası akış matrisi.....	74
Tablo 6.10 KKO-PA ile mevcut noktalara yerleşim ve amaç fonksiyonu değerleri	75
Tablo 6.11 KKO-PA ile alternatif noktalara yerleşim ve amaç fonksiyonu değerleri.....	75
Tablo 6.12 Mevcut yerleşim ile KKO-PA çözümlerinin kıyaslanması	76

ŞEKİLLER DİZİNİ

<u>Şekil</u>	<u>Sayfa</u>
Şekil 2.1. İki boyutlu uzayda maksimizasyon ve minimizasyon problemi	6
Şekil 2.2. Bir fonksiyonun lokal ve global minimum noktaları	6
Şekil 2.3 En yakın komşuluk yöntemi ile üretilen çözüm	11
Şekil 2.4. 2-değişim komşuluğu sonucu elde edilen çözüm	12
Şekil 3.1 Karıncaların en kısa yolu bulması	20
Şekil 3.2 Çift köprü deneyi.....	22
Şekil 5.1 KKO-PA algoritması akış şeması.....	58
Şekil 6.1 Tesviye eğrili genel vaziyet planı.....	66
Şekil 6.2 Mevcut şantiye yerleşimi ve röper noktaları	67
Şekil 6.3 Mevcut şantiye yerleşimi ve alternatif noktalara ait röper noktaları	70

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

<u>Simgeler</u>	<u>Açıklama</u>
d_i	i yerinden diğer tüm noktalara olan uzaklık,
ds	Döngü sayısı,
f_i	i tesisinden diğer tüm tesislere akış,
k	Karınca,
V_d	Yiyecek kaynağı,
V_s	Karınca yuvası,
β	Sezgisel bilgi önem katsayısı,
α	Feromon bilgi önem katsayısı,
ρ	Feromon buharlaşma katsayısı,
N_i^k	i noktasının uygun boş komşulukları kümesi,
$\tau_{ij}(t)$	(i,j) çiftinin t iterasyonundaki feromon değeri,
$\Delta \tau_{ij}^k$	(i,j) çiftine k karıncası tarafından yapılan feromon eklemesi.

Kısaltmalar

<i>BS</i>	Kolonideki en iyi çözüm,
<i>GB</i>	Global en iyi çözüm,
<i>KKO</i>	Karınca koloni optimizasyonu,
<i>KKO-PA</i>	Karınca koloni optimizasyonu-parametrik analizli,
<i>ks</i>	Karınca sayısı,
<i>SSB</i>	Silindirle sıkıştırılmış beton.

1. GİRİŞ

İşletmeler sahip oldukları kaynaklardan en etkin şekilde faydalanmak ister. Benzer şekilde, inşaat şirketlerinde, mevcut malzeme, makine ve teçhizat, işgücü gibi kaynakların yerleşimin en iyi şekilde düzenlenmesi ve şantiyeyi oluşturan tesisler arasındaki ulaşım gereksiniminin en az maliyetli çözümünün aranması arzulanır. İnşaat sektöründe genellikle ihmal edilen şantiye yerleşimine, deneyim ya da içgüdüye dayanılarak, deneme-yanılma yoluyla ya da inşaat ilerledikçe ihtiyaca ve o anda mevcut boş yerlere göre karar verilir. İyi planlanmış şantiye yerleşimi ile çalışma koşullarının iyileştirilmesi, iş kazalarının önlenmesi ve buna bağlı olarak işgücü, malzeme, makine ve teçhizat ve benzeri kayıpların önüne geçilmesi sağlanabilir. Şantiyede, tesislerin atanması probleminin optimum çözümünün elde edilmesi ile taşıma maliyeti ve süresi önemli ölçüde azalacak, işgücü, makine gücü ve süre planlaması daha etkin hale getirilebilecektir. Şantiye yerleşimi ile ilgili yapılan çalışmalarda amaç, genellikle, inşaat süresince gerekli olan tesis yerlerinin, tesisler arası akışı dikkate alarak, minimum taşıma maliyetine göre belirlemektir. Eşit sayıda tesis ve yer olması durumunda karesel atama problemi olan şantiye yerleşim problemi, birleşik optimizasyon problemleri arasında yer almaktadır.

Pratikte ve teoride önemli yer tutan birleşik optimizasyon problemlerini çözmek için geliştirilen yöntemler arasında, analitik ve yaklaşık yöntemler bulunmaktadır. Analitik çözüm algoritmaları, sonlu büyüklüğe sahip her birleşik optimizasyon problemi için, örneğe bağlı bir zaman içerisinde kesin çözümü garanti eder. Gerçek problemlerde, analitik algoritmalar ile çok uzun zamanda kesin çözümler bulmak yerine kısa zamanda uygun çözümler üretilmesi tercih edilebilir. Bu durumda, en iyi çözüm yerine uygun çözüm üreten yaklaşık çözümler tercih edilerek daha kısa zamanda problem çözülebilmektedir. Yaklaşık çözümler sezgisel ve metasezgisel yöntemler olarak ikiye ayrılmaktadır. Sezgisel algoritmalar iyileştirici ve geliştirici olmak üzere ikiye ayrılmaktadır. Metasezgisel algoritmaların ise birden fazla sınıflandırılması yapılabilmektedir. Bilinen belli başlı metasezgiseller arasında genetik, tabu araştırma, evrimsel hesaplama, ısıl işlem ve karınca koloni algoritmaları sayılabilir.

Karınca Koloni Optimizasyonu (KKO), biyolojik ortamdan esinlenerek oluşturulan ve karıncaların kolektif davranışlarını taklit eden metasezgisel bir yöntemdir. KKO algoritmaları, gerçek karıncaların kullandıkları feromon izlerini, iletişim ve geri bildirim aracı olarak kullanmaktadır. KKO algoritmaları ilk olarak

Dorigo (1992) tarafından önerilmiş ve günümüzde diğer birleşik optimizasyon problemlerinin çözümünde artan bir ilgiyle kullanılmaktadır.

Bu çalışmada amaç, inşaat süresince gerekli olan tesislerin yerlerinin minimum taşıma maliyetine göre belirlenmesidir. Bu doğrultuda, tesisler arası akış miktarları ve yerleştirilebilecekleri noktalar arası uzaklıklar belirlenmekte ve ilgili matrisler oluşturmaktadır. Geliştirilen algoritma ile tesisler uygun yerlere yerleştirilerek, taşıma maliyetinin azaltılması hedeflenmektedir. Algoritma, o ana kadar bulunan en iyi konumlandırmaya göre şantiye yerleşimini belirlemektedir.

Bu çalışma kapsamında, şantiye yerleşim problemi için KKO tabanlı bir algoritma geliştirilmiştir. Çalışmada, ilk olarak optimizasyon ve temel kavramlar üzerinde durularak, optimizasyon problemleri ve çözüm yöntemlerinden sözedilmiştir. Bir sonraki bölümde, KKO, mevcut KKO algoritmaları ve uygulama alanları incelenmiştir. Dördüncü bölümde şantiye yerleşim problemi ele alınarak, amaç, kapsam ve önemi, çözüm aşamaları ile ilgili bilgi verilmiştir. Beşinci bölümde, şantiye yerleşim problemi için geliştirilen Karınca Koloni Optimizasyonu-Parametrik Analizli (KKO-PA) algoritması ayrıntılı olarak açıklanarak, algoritmanın doğruluğu ve başarısını ortaya koymak için literatürdeki örneklerle kıyaslanmıştır. Altıncı bölümde, geliştirilen KKO-PA algoritması bir baraj inşaatı projesi üzerinde uygulanılarak, üretilen sonuçlar mevcut şantiye yerleşimi ile kıyaslanmıştır. Son bölümde, sonuç ve ileride bu konuda yapılabilecek çalışmalara değinilmiştir.

2. OPTİMİZASYON VE TEMEL KAVRAMLAR

Optimizasyon basit olarak bir problemin “en iyi sonucunu” bulmak olarak tanımlanabilir. Bu konudaki ilk çalışmalar İkinci Dünya Savaşı’na kadar uzanır. İngiliz bilim adamları tarafından incelenen kısıtlı savaş malzemesinin en iyi yerleşim problemi, bilinen ilk optimizasyon problemidir. Bu problem sosyoloji, psikoloji ve davranış bilimlerinin de içinde bulunduğu bir takım çalışmasını gerektirir. Buradan anlaşılacağı üzere optimizasyon ve tekniklerinin dağıldığı alanlar çok farklılık gösterebilir. Karar verme, dizayn etme, atama, planlama ve buna benzer üretim ve verimliliğin söz konusu olduğu bütün problemlerde optimizasyon tekniklerinin önemi açıktır.

Bilinen ilk optimizasyon tekniği en hızlı iniş yöntemidir. 1940’larda George Dantzig (1974) tarafından geliştirilen lineer programlama, optimizasyon teknikleri tarihindeki ilk terimdir (Taha, 1997). 1940’ların sonlarına doğru bilgisayarların icadı ile optimizasyon tekniklerinin teorisi ve uygulanma alanları da gelişir. 1950’lerde varyasyon ve diferansiyel hesaplarının matematiksel programlamayla birleştirilerek geliştirilmesi ile optimizasyon matematikçilerin ilgi alanına girer. Daha sonra, optimizasyon teknikleri istatistik, yöneylem araştırması, ekonomi gibi alanlarda artan bir ilgi ile incelenmeye devam edilir.

Müşterilere hizmeti ulaştırmak için minimum maliyet planı oluşturmak, işçilerin çalışacakları yerleri belirlemek, dağıtım yapan bir eleman için en kısa yolu çizmek, üretim hattındaki işleri en iyi şekilde sıralamak gibi gerçek hayatta karşılaşılan problemler optimizasyon problemleri arasındadır. Bu bölümde optimizasyon problemleri ve çözüm yöntemleri incelenecektir.

2.1 Karmaşıklık Teorisi

Optimizasyon problemlerinin çözümünde, uygun algoritmayı seçmeden önce onun karmaşıklığının belirlenmesi gerekir.

2.1.1 Algoritma karmaşıklığı

Optimizasyon problemleri ele alındığında hepsinin çözüm yöntemi ve kullanıldığı algoritmalar farklılık gösterir. Problemlerin algoritmik olarak sınıflandırılması, algoritmanın yürütülmesi için gerekli işlemlerin sayısının temel alınması algoritmik karmaşıklık ölçüsüne bağlıdır. Algoritmik karmaşıklığın fazla olması

nedeniyle analitik çözüme¹ gidilememesi ve dolayısıyla problem çözümünde, sezgisel veya metasezgisel yöntemlere gidilmesi durumu ortaya çıkmaktadır. Algoritmik karmaşıklığın uygulandığı bilgisayar işlemcisinden bağımsız değerlendirilmesi gerekmektedir.

2.1.2 Hesaplama karmaşıklığı

Bir algoritmanın değerlendirilmesinde, çözümü bulma sırasında ne kadar hızlı çalıştığı ve bilgisayarın belleğinde ne kadar yer kullanacağına ilişkin bilgiler önemlidir. Hesap karmaşıklığı, bu sorunların incelendiği, zaman ve alan karmaşıklığı olarak ikiye ayrılabilir. Alan karmaşıklığı, bir problemin çözümü sırasında ne kadar işlemci hafızası gerektiğinin incelenmesini içerir ve veri yapılarının konusudur. Her ne kadar alan karmaşıklığı önemli olsa da, hesaplama için gerekli bellek sığasının ölçülmesine, bilgisayarlarda kapasitenin giderek artması nedeniyle, hesaplama için gerekli zamanı ölçmeden daha az önem verilmektedir.

Bir hesaplamanın zamansal karmaşıklığı, problemin çözümü için gerekli belirli boyuttaki giriş değerleri için harcanan hesaplama adımlarının sayısını veren bir fonksiyondur. Zamansal karmaşıklık denilince, n büyüklüğüne sahip bir girdiye sahip problemin çözümü için, algoritmanın hesaplama yapması gerekli temel işlemlerin maksimum sayısı anlaşılır.

2.1.3 Problem karmaşıklığı

Problemler, çözülemez, karar verilemeyen, polinomsal (P) ve deterministik olmayan polinomsal (NP) problemler olmak üzere dört sınıfta toplanabilir.

Çözülemez problemler sınıfında, çözümü için geliştirilmiş herhangi bir polinom zamanlı algoritması olmayan problemler, karar verilemeyen problemler arasında ise çözümü için geliştirilen hiçbir algoritması olmayan problemler yer alır.

Ayrık optimizasyon problemlerinin (ayrık objelerin optimal olarak düzenlenmesi, gruplandırılması, sıralanması veya seçilmesi) optimal çözümünü elde etmek, gerekli hesaplama işlemleri açısından oldukça zor problemlerdir. Bu yüzden tanımlanması kolay, çözümü zor problemler olarak değerlendirilir. Pratik ve

¹ Bu çalışmada kesin çözümler yerine analitik çözümler denilmektedir.

teorideki bir çok optimizasyon problemi ayrık optimizasyon problemi arasında rastlanan birleşik optimizasyon problemidir. Bu tür problemlere örnek olarak gezgin satıcı problemi, çizelgeleme problemi, ders programlama problemi ve karesel atama problemi gösterilebilir. Genellikle belirli bir matematiksel fonksiyon olarak ifade edilmesinin güç olması nedeniyle, bu problemleri klasik optimizasyon yöntemleri ile çözmek zordur. Bilinen klasik yöntemler ise, sadece küçük boyutlu problemleri çözebilmektedir. Büyük boyutlu optimizasyon problemleri için sezgisel² ve metasezgisel yöntemler kullanılmaktadır.

2.2 Optimizasyon Problemlerinin Sınıflandırılması

Fonksiyonun bir noktasını aramak bakımından kök bulma ile optimizasyonun birbirine benzerdir. Kök bulma işleminde $f(x)=0$ yapan noktalar aranırken optimizasyonda $f'(x)=0$ yapan noktalar aranmaktadır. Optimizasyon, çözüm için izin verilen küme dahilinde, bir fonksiyonu maksimize ya da minimize eden noktaların sistematik bir şekilde aranma işlemidir.

Bir optimizasyon problemindeki ilk temel unsur *amaç fonksiyonudur*. Bazı problemlerde birden fazla amaç fonksiyonu olabilir. Bu tür problemler, çok amaçlı optimizasyon problemleri olarak adlandırılır.

Bir optimizasyon problemi;

$$f(x) : A \rightarrow \mathbb{R}$$

$$d_i(x) \leq a_i \quad i=1,2, \dots, n \quad \text{Denklem 2.1}$$

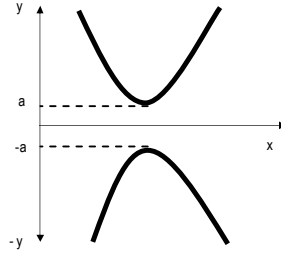
$$e_i(x) = b_i \quad i=1,2,\dots,p \quad \text{Denklem 2.2}$$

şeklinde ifade edilebilir. Burada x , n boyutlu bir tasarım vektörünü, $f(x)$ amaç fonksiyonunu temsil etmektedir. A , $\mathbb{R}^n$ alt kümesi olmak üzere, çözüm aranacak alandır. A kümesi genellikle verilen eşitlik ya da eşitsizlik kısıtlamaları ile belirlenir. Bu gösterimde, $d_i(x)$ eşitsizlikler halinde belirtilebilen kısıtları, $e_i(x)$ eşitlik halinde belirtilebilen kısıtları, a_i ve b_i sabitleri göstermektedir. Buna göre optimizas-

² Bu çalışmada heuristik kelimesinin karşılığı olan bulgusal yerine artık kabul görmüş sezgisel kelimesi kullanılacaktır.

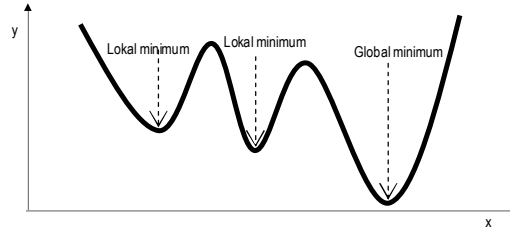
yon probleminin ikinci temel unsuru *kısıtlardır*. A kümesinin elemanlarına aday çözümler ya da uygun çözümler denilir.

Optimum sonuç, minimizasyon problemleri için amaç fonksiyonunu en küçük yapan değerken, maksimizasyon problemleri için en büyük yapan değerdir. Aslında maksimizasyon ve minimizasyon problemlerinin birbirinden farkı yoktur. Optimizasyon problemi $\min f(x) = \max -f(x)$ şeklinde de ifade edilebilir. Şekil 2.1'deki iki boyutlu bir uzayda aynı fonksiyona ait en küçük değerin ve en büyük değerin mutlak değerce aynı oldukları görülmektedir.



Şekil 2.1. İki boyutlu uzayda maksimizasyon ve minimizasyon problemi

Optimizasyon problemlerinde dikkat edilmesi gereken bir diğer nokta, yerel minimum ya da maksimumları optimum sonuç olarak kabul etmemektir. İki değişkene sahip doğrusal olmayan bir amaç fonksiyonu için herhangi bir kısıt olmadığını kabul edilsin (Şekil 2.2).



Şekil 2.2. Bir fonksiyonun lokal ve global minimum noktaları

Görüldüğü üzere verilen fonksiyon için iki adet lokal ve bir adet global minimum nokta vardır. Problemde bütün noktalar arasından global olanı bulmaya odaklanmak gerekmektedir. Lokal minimum noktalardan birini optimum sonuç olarak kabul etmek yanlış çözüm olacağı gibi hesaplama zamanının da uzamasına neden olur.

Optimizasyon problemlerinin sınıflandırılması birden fazla yapılabilir (Chapra and Canale, 2002):

Amaç fonksiyonu $f(x)$ 'in şekline göre;

- $f(x)$ ve kısıtlar doğrusal ise → doğrusal (lineer) programlama problemi,
- $f(x)$ ikinci derece, kısıtlar doğrusal ise → ikinci derece programlama problemi,
- $f(x)$ doğrusal veya ikinci derece değil, kısıtlar da doğrusal değil ise → doğrusal olmayan programlama problemi.

Değişken sayısına göre;

- Tek bağımlı değişken varsa → bir boyutlu
- İki veya daha fazla değişken varsa → çok boyutlu

Problem şekline göre;

- Ayrık objelerin optimal olarak düzenlenmesi, gruplanması, sıraya konulması veya seçilmesi problemi → ayrık optimizasyon problemi
- Tasarım değişkenleri veya parametrelerinin alacağı değerler sürekli değerler ise → *sürekli optimizasyon* problemi

Problemin matematiksel modelinin kurulması-kurulamaması, verilerin deterministik-stokastik olması ve hatta bulanık küme ile ifade edilmesi durumlarında (Nabiyev, 2005);

- Verilerin polinomial tanımı yapılabiliyor ve deterministik → *polinomial (P)* problem
- Problem polinom ile ifade edilemiyorsa veya stokastik-bulanık mantık türünde → *non-polinomial (NP)* problem

Kısıtlar dikkate alınırsa *kısıtlı* optimizasyon, aksi halde *kısıtlı* optimizasyon problemi söz konusudur.³

³ Constraint ve unconstraint kelimeleri literatüre kısıtlı ve kısıtlı olarak geçmiştir (Sankur ve arkadaşları, 1981).

2.3 Çözüm Yöntemlerinin Sınıflandırılması

Bir optimizasyon probleminde amaç “en iyi sonucu” bulmaktır. Amaç fonksiyonu ve kısıtlar çok basit eşitlik ya da eşitsizlikler gibi dursalar bile karmaşık bağıntılar içerebilir. Bu bağıntıların çözümü için matematiksel kavram ve işlemler kullanılması gerekebileceği gibi bu hesaplamalar uzun ve karmaşık da olabilir. Bu bakımdan optimizasyon problemlerinde optimum sonuç bulunması kadar hesaplama zamanının kısa olması da amaçlanmalıdır. Bu yüzden herhangi bir optimizasyon problemi için en uygun yöntem ya da yöntemlerin seçimi çok önemlidir.

Pratikte ve teoride önemli yer tutan birleşik optimizasyon problemleri uzun yıllar boyunca araştırmalara konu olmaktadır. Son 25 yıldır, bu tür problem türlerini çözmek için analitik ve yaklaşık yöntemler kullanılmaktadır. Yaklaşık yöntemler arasında, daha önce kullanılan yöntemlerin üstünlüklerinin birleştirildiği metasezgisel yöntemler de katılmaktadır. Bu bölümde, analitik ve yaklaşık çözüm yöntemlerinden bahsedilecektir.

2.3.1 Analitik çözüm yöntemleri

Analitik çözüm algoritmaları, sonlu büyüklüğe sahip her birleşik optimizasyon problemi için, örneğe bağlı bir zaman içerisinde kesin çözümü garanti eder. Optimizasyon problemlerinin çözümünde kullanılan analitik yöntemler şöyle sınıflandırılabilir (Chapra and Canale, 2002; Lavenberg, K., 1944; Marquardt, D.W., 1963; Mathews, 1992; Walsh, 1979):

■ Kısıtlamasız optimizasyon

● Bir boyutlu kısıtlamasız optimizasyon

- Altın bölme yöntemi
- İlkinci dereceden interpolasyon
- Newton yöntemi

● Çok boyutlu kısıtlamasız optimizasyon

- Doğrudan yöntemler (Direct search)
 - Rasgele arama (Random search)
 - Benzer değişim ve model arama (Univariate and pattern search method)
- Gradyen yöntemler (Gradient search)
 - En dik iniş yöntemi (Steepest descent method)

- Eşlenik gradyen yöntemler (Conjugate gradient methods)
 - Fletcher-Reeves
 - Polak-Ribiere
 - Powell-Beale
 - Derecelendirilmiş eşlenik gradyen
- Newton yöntemi
- Lavenberg-Marquardt yöntemi
- Kısmi Newton/Değişken metrik yöntem (Quasi-Newton method)
 - BFGS (Broyden-Fletcher-Goldfarb-Shanna)
 - DFP (Davidon-Fletcher-Powell)
 - Bir adım sekant (One step secant)

■Kısıtlı optimizasyon

- Amaç fonksiyonu ve kısıtların doğrusal olması
 - Grafik çözüm
 - Simplex yöntemi
- Doğrusal olmayan kısıtlama durumu
 - Dolaylı yaklaşım
 - Değişken dönüşüm yöntemleri (Variable transformation method)
 - Ceza fonksiyonu yöntemleri (Penalty function method)
 - İç ceza yöntemi (Internal penalty function)
 - Dış ceza yöntemi (External penalty function)
 - Doğrudan arama yöntemi
 - Keşfe yönelik yöntemler (Kompleks yöntem)
 - Kısıtlama yaklaştırma yöntemleri (Kesme düzlemi yöntemi)
 - Uygun yön yöntemleri
 - Joutendijk yöntemi
 - Gradyen izdüşümü yöntemi (Gradient projection method)
 - Genelleştirilmiş ve indirgenmiş gradyen yöntem (Reduced gradient method)
 - Etkin küme yöntemi (Active set method)

2.3.2 Yaklaşık çözümler

Gerçek problemlerde, kesin algoritmalar ile çok uzun zamanda kesin çözümler bulmak yerine kısa zamanda uygun çözümler üretilmesi tercih edilebilir. Kesin çözüm yöntemlerinde üstel hesaplama süresine ihtiyaç duyulması, yaklaşık çözümlerin kullanımını arttırmaktadır. En iyi çözüm yerine uygun çözüm tercih

edilerek daha kısa zamanda problem çözülebilmektedir. Yaklaşık çözümler sezgisel ve metasezgisel yöntemler olarak ikiye ayrılmaktadır.

2.3.2.1 Sezgisel çözümler

Ayrık optimizasyon problemlerinde çözüm elde etmek için gerekli hesaplama işlemlerinin karmaşık ve zaman alıcı olduğu söylenebilir. Bu tür problemlerin çözümünde insanlara özgü akıl yürütme, anlam çıkartma, geçmiş deneyimlerden öğrenme gibi düşünme sürecine ihtiyaç duyulur. Bu çalışmaların bilgisayarlar üzerine kurulduğu görülmektedir. İnsanları taklit ederek problem çözecek bilgisayarın, tıpkı bir insan gibi, kısıtlı zaman içinde karar vermesi, karmaşık durumlarda seçim yapması, daha önceki yargı, bilgi ve düşüncelerini değiştirmesi gerekir. Zaman içerisinde, insana özgü bu sezgiselliğin bilgisayarlara aktarıldığı ayrı bir araştırma alanı oluşur ve sezgisel algoritmalar ortaya çıkar. Sezgisel algoritmalar kesin çözüm garantisi etmemelerine rağmen, yaklaşık bir çözüm sağlayabilir. Bu algoritmalara gerek duyulmasının sebeplerini Karaboğa (2004) şöyle özetler:

- Optimizasyon problemi, kesin çözüm bulma işlemine uygun yapıda olmayabilir.
- Çözüm arayan için, sezgisel yaklaşımlar daha kolay anlaşılır olabilir.
- Bu algoritmalar, öğrenme amaçlı ve kesin çözüm bulma işleminin bir parçası olarak kullanılabilir.

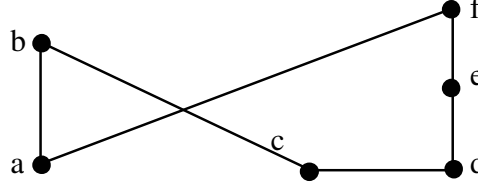
Sezgisel algoritmalar geliştirici ve iyileştirici algoritmalar olmak üzere ikiye ayrılır.

Geliştirici algoritmalar

Geliştirici algoritmalar sıfırdan çözüm üretmeye başlar. Çözüm, adım adım ve geriye dönüş olmadan oluşturulur. Her adımda, çözüme eklenecek elemanlar rasgele ya da genellikle belirli bir kurala bağlı olarak seçilir. Tam bir çözüm elde edilinceye kadar çözüm elemanları eklenmeye devam edilir. Geliştirici algoritmalarda, çözümün uygunluğunun kıyaslanması ve algoritmanın sonlandırılması için bitirme kriteri tanımlanması gerekmektedir.

Geliştirici algoritmalara örnek olarak, gezgin satıcı probleminin çözümünde kullanılan en yakın komşuluk yöntemi gösterilebilir. Problemden, şehirler çözüm elemanları olarak kabul edilir. Rasgele seçilen ilk şehirden sonra, her adımda, ka-

lan şehirler arasından en yakın şehir eklenerek çözüm oluşturulur. Şekil 2.3’de gösterilen örnekte, çözüme a şehrinden başlayan algoritma sırasıyla b, c, d, e ve f şehirlerini seçerek çözümü tamamlar (Dorigo and Stützle, 2004).

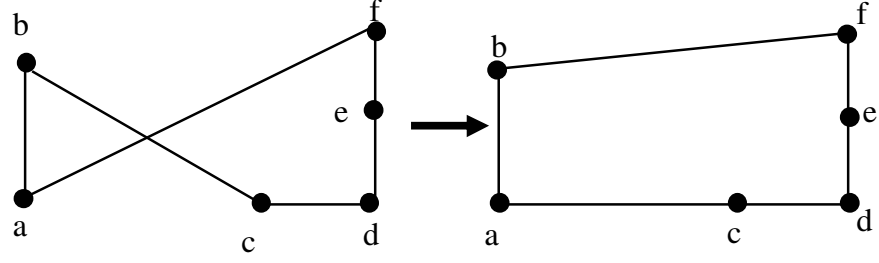


Şekil 2.3 En yakın komşuluk yöntemi ile üretilen çözüm

Her ne kadar geliştirici algoritmalar hızlı çözüm üretse de, çözüm kalitesi bakımından iyileştirici yöntemler daha üstündür.

İyileştirici algoritmalar

İyileştirici algoritmalar, yerel arama algoritmalarına benzer. Algoritmalar başlangıç çözümüne ihtiyaç duyar ve eldeki bu ilk çözümü yerel değişiklikler yaparak iyileştirmeye çalışır. Yerel değişiklikler yapılırken o anki çözümün komşuluğundaki çözüm ile mevcut çözüm yer değiştirilerek yapılır. Komşuluk yapısı, her $s \in S$ için $N(s) \subset S$ olmak üzere $N: S \rightarrow 2^S$ komşuluğu atayan bir fonksiyondur. $N(s)$ aynı zamanda s 'nin komşuluğu olarak da adlandırılır. Komşuluk yapısı, olası bütün komşulukları değil, çözüme katılabilecek komşulukları göstermektedir. Probleme özgü olan komşuluk yapısını seçmek, yerel algoritmaların performansı için çok önemlidir. Birleşik optimizasyon problemleri için, çoğunlukla, k-değişim komşuluk yapısı tercih edilmektedir. s aday çözümünün k-değişim komşuluğu, s ile s' aday çözümünün k kadar çözüm elemanının yer değiştirmesi sonucu oluşturacak aday çözümler kümesini gösterir. Gezgin satıcı probleminde 2- değişim komşuluğunu düşünölsün. Geliştirici algoritma ile ulaşılan çözüm, başlangıç çözümü olarak alınsın. Bu çözümde olası bütün ikili değiştirmeler düşünöldükten sonra, sadece (b,c) ve (a,f) ikili bağlantıları kaldırılıp yerlerine (a,c) ve (b,f) bağlantılarının kurulduğunu düşünölsün, çözüm Şekil 2.4.'deki gibi olacaktır (Dorigo and Stützle, 2004).



Şekil 2.4. 2-değişim komşuluğu sonucu elde edilen çözüm

Yukarıdaki çözüm oluşturulurken aday çözümler arasından hangi çiftlerin seçileceğinin belirlenmesi de iyileştirici algoritmanın performansını etkiler. Bunu belirlemek için *iteratif gelişim* kullanımı tercih edilir. *En iyi iteratif gelişim*de amaç fonksiyonunu aday çözümler içinde istenilen sonuca en çok yakınlığa kavuşturan komşuluk değişimi seçilirken, *ilk iteratif gelişim*de amaç fonksiyonunda istenilen doğrultuda değişimi ilk yapan komşuluk seçilir ve algoritma sona erer. İteratif gelişim algoritmaları, maksimizasyon problemleri için tırmanma (hill climbing), minimizasyon problemleri için iniş (descent) yöntemi olarak tanımlanır.

İyileştirici algoritmalar, her zaman global minimum ya da maksimum noktayı bulmayı garanti etmez. Bu algoritmaların en büyük dezavantajı, genellikle yerel optimumlara takılıp sonlanmadır.

2.3.2.2 Metasezgiseller

Problemin analitik ve sezgisel yöntemlerle çözülmesinin söz konusu olmadığı durumlarda metasezgisel (metaheuristik) yöntemler kullanılır. Metaheuristik iki Yunan kelimeden oluşup, “meta” kelimesi “ötesinde, bir üst düzeyde” ve “heuristik” kelimesi de “bulmak” anlamındadır. Bu terim literatüre yerleşmeden önce “modern heuristik” daha yaygın kullanılmaktaydı⁴.

Metasezgisel algoritmalar, arama alanı araştırılması (exploration) ile devamlılığını (exploitation) birleştirerek çözüm arar. Bu algoritmalarda, arama alanının etkin bir biçimde taranmasının sağlanması ve bazı yasaklı bölgelerin tanımlanabilmesi ile arama sürecinde strateji oluşturulabilir. Bu yüzden algoritmaları oluşturan teknikler, basit arama yöntemlerinden karmaşık öğrenme süreçlerine kadar

⁴ Bu çalışmada heuristik kelimesi karşılığı olarak sezgisel, metaheuristik kelimesi karşılığı olarak metasezgisel kelimesi benimsenip kullanılmaktadır.

değişkenlik gösterir. Yine de çoğu metasezgisel algoritma probleme bağlı algoritmadır. Yöntemlerden biri, bir problem türü için çok iyi sonuçlar verirken, bir diğeri için uygun olmayabilir. Bu sebeple, son çalışmalar daha genel uygulama alanı olan algoritmalar üzerinde yoğunlaşmaktadır.

Metasezgiseller için birden fazla sınıflandırma yapmak mümkündür. En önemli özelliklerine göre sınıflandırma aşağıdaki gibi yapılabilir (Blum and Roli, 2003).

- Doğadan esinlenilen-esinlenilmeyen yöntemler;
 - Doğadan esinlenilen→ genetik algoritmalar, karınca algoritmaları,
 - Doğadan esinlenilmeyen→ Yasak arama ve ardaşık yerel arama.
- Tek nokta-nüfus tabanlı arama yöntemleri;
 - Tek nokta arama→ ısıt işlem, tabu araştırma, ardaşık yerel arama,
 - Nüfus tabanlı arama→evrimsel algoritmalar, karınca algoritmaları
- Dinamik-statik amaç fonksiyonu
- Tek-çok komşuluk yapıları
- Hafıza kullanan-hafıza kullanmayan yöntemler

Bu bölümde belli başlı metasezgisellerden sözedilecektir.

Isıl işlem algoritması

İstatistiksel mekanik için kullanılan Metropolis algoritmasından esinlenilir. İlk olarak Kirkpatrick ve arkadaşları (1983) tarafından sunulur. Optimizasyon problemi çözümü için metallerin ısıt işlemi örnek alınır. Isıt işlem, bir katının tüm moleküllerinin sıvı faza geçeceği belirli bir maksimum sıcaklığa kadar ısıtılması ve daha sonra sıcaklığın azaltılması işlemini anlatır. Soğuma işlemi uygun şekilde yapılırsa, kristal yapı çok düzenli olurken sıcaklığın aniden düşürülmesi durumunda yapıda düzensizlikler meydana gelir. Sıcaklık sıfır derece olmadıkça yukarı doğru hareketler (tekrar ısıtma) mümkündür. Sıcaklık sıfır olduktan sonra geri dönüşüm olanaksızdır. Bu yüzden, sistemin düzenli bir yapıda olması için, sıcaklık belli seviyelerde adım adım düşürülür. Bu seviyelerde kristallerin dengeye ulaşması için belli bir süre beklenir.

Optimizasyon problemi ile ısıtıl işlem arasında şöyle bir bağlantı vardır. Katının durumları olası çözümlere, seviyelerin enerjileriye amaç fonksiyonu değerlerine karşılık gelir. Algoritma rasgele bir başlangıç çözümü ve T sıcaklığı ile başlar. Her iterasyonda çözüm rasgele oluşturulur ve fonksiyon değerine göre o anki en iyi çözüm ile kıyaslanır. Temel düşünce yerel optimumdan kurtulmak için, o ana kadar elde edilen çözümlere ulaşma olasılığını yokuş hareketleri ile sağlamaktır. T sıcaklığı arama süresince azaltılır. Böylece, aramanın başında yüksek olan yokuş hareketi olasılığı algoritmanın sonlarına doğru azalır.

Algoritmada dikkat edilmesi gereken noktalar başlangıç çözümünün belirlenmesi için bir metot belirlenmesi, komşuluk üretim mekanizmasının tanımlanması, T başlangıç sıcaklığı için uygun bir değer belirlenmesi, soğutma oranı ve sıcaklık değiştirme kuralları oluşturulması, her sıcaklık seviyesindeki iterasyon sayısına karar verilmesi ve durdurma kriterinin belirlenmesidir.

Tabu araştırma algoritması

Tabu araştırma yönteminde, önceki çözümlerin bellekte tutulması yoluyla az hesaplama yaparak en iyi çözüme ulaşma amaçlanır. İlk olarak Glover (1989, 1990) tarafından sunulur. Algoritmanın dayandığı temel fikir esnek bir hafızanın kullanılmasıdır. Çözüm boyunca karşılaşılan durumlar kayıt altında tutulur. Böylece daha önceden araştırılan çözümlerin yeniden incelenmesi engellenir. Buna tabu denir (Sağıroğlu ve diğerleri, 2003). Tabu listesi aynı zamanda aramayı sınırlandırdığı için yerel optimumdan kurtulmayı sağlar ve global çözümü daha hızlı bulur.

Algoritmanın işleyişinde öncelikle bir başlangıç çözümü seçilir. Bu çözümün komşulukları bir komşuluk yapısıyla seçilir. Bu komşuluklar içinde, tabu listesinde olmayan veya tabu listesinde olsa bile tabu olma kriterlerini yikan ve değerlendirme fonksiyonunu en iyi yapan komşuluk, yeni çözüm olarak kabul edilir. Yeni çözüme göre tabu listesi yenilenir. O ana kadar olan en iyi çözüm bir hafızada saklanır ve algoritmayı durdurma kriterine göre çözüm sonlandırılır.

Algoritmada, başlangıç çözümü rasgele ya da bir algoritmaya bağlı yapılabilir. Daha sonraki aşama olan çözüm kümesi oluşturulmasında ise en yaygın yöntem bit değişimi ve komşulukların ters dizilimidir (Sağıroğlu ve diğerleri, 2003). Çözüm kümesi 1 ve 0'lardan oluşan bir vektör ile ifade edilir. Yeni çözüm kümesi oluşturulurken seçilen bir değişkenin 0 olan değeri 1'e veya 1 olan değeri 0'a çev-

rilebilir. Fonksiyon optimizasyonu ile ilgili problemlerde vektördeki 0 ve 1 değerleri yerini onlu sayı düzenine bırakır.

Tabu listesinin oluşturulması için yasaklama stratejisi oluşturulur. Tabu listesi, belirli hareketleri sınırlandırmak ve böylece yeni bölgelerin araştırılmasını sağlamaktır. Bu nedenle, tabu listesinde daha önceden denemiş bütün çözümler ve bu çözümü oluşturan hareketler saklanır. Bütün bunlar için büyük bir hafıza ve hesaplama gerekeceği için liste büyüklüğünü kontrol eden stratejilere ihtiyaç vardır. Tabu listesi için en sık kullanılan FIFO (First In First Out) ilk giren ilk çıkar yöntemidir. Liste dolduğunda yeni çözümler en eski çözüm silinerek kaydedilir. Bu yöntemden başka, dinamik tabu listesi, reaktif tabu listesi, sıralama ve tekrarlama tabanlı tabu listesi de kullanılabilir (Kaplan, 2001; Pham ve Karaboğa, 2000; Glover and Laguna. 1995).

Tabu listesindeki bir çözümün daha iyi sonuç sağlaması ya da tüm aday çözümlerin tabu listesinde olması durumunda bazı çözümleri tabu listesinden çıkarılması gerekebilir. Bu durumlar için aspirasyon kriterleri kullanılabilir. Aspirasyon kriterleri tabu listesinden uygun çözümlerin çıkarılmasını sağlar. Yerel ya da global bazlı düşünülebilir (Sağıroğlu ve diğerleri, 2003). Global bazlıda, eğer çözüm bulunan en iyi değerse, çözüm tabu listesinden çıkarılır. Yerel bazlıda, arama uzayı bölgelere ayrılır, bölge bazında en iyi sonucu veren çözüm tabu listesinde ise, o çözüm listeden çıkartılır.

Kısa dönem hafızada daha önce çözülen bilgiler saklanır ve bunlara dönüş engellenir. Her yeni iterasyonda yenilenir. Uzun dönem hafızada, ise en iyi çözümlerin listesi tutulur. Daha ileriki adımlarda bu çözümlere yeniden dönülerek bu bölgelerde daha detaylı bir arama yapılmasını sağlar.

Algoritmanın durma kriterleri olarak belli bir iterasyon sayısı ya da bulunan en iyi çözümün belli bir süre değişmemesi kullanılabilir. Bunun dışında optimumu bilinen bir problemde, sonuca ulaşılması da bir bitirme kriteridir.

Genetik algoritmalar

Genetik algoritma yöntemi, Darwin'in "en iyi olan yaşar" prensibine dayalı olarak biyolojik sistemlerin gelişim sürecini modellemektedir. Yöntem, 1970'li yıllarda Michigan Üniversitesinde öğretim üyeliği yapan John Holland, çalışma arkadaşları ve öğrencileri tarafından geliştirilir. Daha sonra konuyla ilgili araştır-

malar hızla artar (Holland, 1975; Goldberg, 1989; Davis, 1991). Genetik algoritma, rasgele araştırma yöntemlerindendir. Canlılardaki tabii seçme (selection) yoluyla olan genetik gelişimi örnek alır. Algoritma, araştırma uzayındaki çözümlerin bazılarının oluşturduğu bir başlangıç çözümü ile başlar. Her adımda, bireyler, tabii seçme ve tekrar üreme yoluyla geliştirilir. Böylece, problemin her aşamasında en iyiye doğru gidiş sağlanır. Genetik algoritmada dikkat edilmesi gereken önemli noktalar, probleme göre tasarlanan bir amaç (uygunluk) fonksiyonu belirlenmesi ve karar değişkenlerinin uygun bir fonksiyon ile kodlanmasıdır.

Yapısı dolayısıyla genetik algoritmalar optimum çözümü çok zor ya da imkansız olan karmaşık problemlerin çözümünde kullanılır. Genel yapısı çok basit olan genetik algoritmalar, çok geniş bir kullanım alanına sahiptir. Bunlardan bazıları şöyledir (Mitchell, 1996; Kahraman ve Özdağlar'dan, 2004); mühendislik problemlerinde optimizasyon amaçlı, bilgisayar programlarında yapay zeka çalışmaları ve otomatik programlama, makine öğrenmesi, robotların hareket tarzı, ekonomik modellerin geliştirilmesi, sosyal sistemlerin analizi, bağışıklık sistemleri, ekoloji, topluluk genetiği, bilgisayar işlemci devrelerinin tasarımı.

Genetik algoritmaların aşamalarına bakılacak olursa bunlardan ilki problemin olası çözümlerinin kodlandığı başlangıç topluluğunun oluşturulmasıdır. Topluluktaki birey sayısı için sabit bir değer yoktur. Bu sayı genel olarak 100-300 arasında değişmekte ve işlemlerin karmaşıklığı ile yapılacak aramanın derinliği birey sayısının belirlenmesinde etkili olmaktadır. Bu aşamadan sonra topluluk rasgele oluşturulur. Bireyler, probleme bağlı olarak karar değişkenlerinin şifrelenmediği n adet kromozom içermektedir. Bu şifreleme işlemi ikili kodlama, permütasyon kodlama, değer kodlama veya ağaç kodlama yöntemlerinden biri seçilerek yapılır.

Genetik algoritmada ikinci aşama, topluluktaki her kromozom için uygunluk değerlerinin bulunmasıdır. Bu işlem uygunluk (amaç) fonksiyonu yardımı ile yapılır. Bu aşama bir anlamda her kromozomun ne kadar iyi olduğunun saptanmasını sağladığı için genetik algoritmanın kilit noktasını oluşturmaktadır. Bu fonksiyonun hassas ve verimli olması algoritmanın başarısı ile doğrudan ilgilidir.

Bir sonraki aşama bireylerin uygunluk değerlerine göre seçilmesi ve seçilen bu bireylerden yeni bireyler elde edilmesi işlemidir. Seçim işleminde, turnuva, rulet tekerleği veya sabit durum seçimi gibi yöntemlerden problemin yapısına uygun olan kullanılır. Yeni bireyler oluşturmak için çaprazlama yöntemi kullanılır. Bu

yöntemde, uygunluk değeri iyi olan bireyler eşleştirilerek bu bireylerin bir ya da birden fazla biti karşılıklı değiştirilerek yeni bireyler oluşturulur.

Algoritmada sonraki işlem mutasyondur. Bu işlem, mutasyon olma olasılığına göre seçilen herhangi bir bireyin kromozomlarındaki bir bitin değiştirilmesi ile olur. Sadece seçilen birey değiştirilmiş olur. Mutasyon daha önceden incelenmemiş çözümlerin bulunmasını sağlamaktadır. Bunun yanında, yerel çözümlere takılmayı engellemesi ve daha önceden topluluktan atılan iyi çözümlerin yeniden üretilmesini sağlaması açısından da önemlidir.

Sabit büyüklükte bir topluluk oluşturmak için eski kromozomların topluluktan atılması gerekmektedir. Bu işlemden önce mevcut topluluktaki uygunluk değeri en iyi olan bireyin aynen yeni topluluk havuzuna aktarılması çözüm açısından çok faydalı olacaktır. Bu doğal olmayan işleme elitizm denilmektedir. Yeni oluşan bireylerin bir havuza alınması ve eski bireylerin (ebeveynler) öldürülerek havuzdan atılması ile yeni bir topluluk oluşturulmuş olur.

Yeni topluluk içindeki kromozomların uygunluk değerleri yeniden hesaplanır ve topluluğun başarısı bulunur. Topluluktaki en iyi bireyin temsil ettiği değer bitirme kriterinde belirtilen sonucu veriyorsa algoritma sona erdirilir. Aksi halde, geri dönülerek yeni bir iterasyona başlanır.

Bağışıklık algoritması

Biyolojik sistemler, problemleri çözmek için geliştirilen yeni yaklaşımlara esin kaynağı olmaktadır. Bağışıklık sisteminin temel özellikleri ve çalışma prensipleri taklit edilerek oluşturulan yapay bağışıklık algoritmasına ilgi sürmektedir (Farmer et al, 1986). Yapay bağışıklık sistemini anlayabilmek için öncelikle bağışıklık sistemini tanımak gerekir. Sistemin ana görevi, vücutta kötü çalışan hücreleri (örneğin kanser ve tümör hücreleri) ve hastalığa yol açan molekülleri (virüs ve bakteri) gözaltında tutmaktır. Bağışıklık sisteminin tanıdığı elemanlara antijen adı verilir. Vücudumuza ait, zarar vermeyen elemanlara self antijen, diğer hastalıklara neden olan elemanlara nonself antijen denilir. Bağışıklık sistemi bu iki tip antijeni ayırt etme sürecinden geçirir. Ayırt etmeyi sağlayan, bağışıklık hücreleri üzerindeki algılayıcılardır. Algılayıcıların farklı olmasından dolayı bağışıklık hücreleri B-hücreleri ve T-hücreleri olmak üzere ikiye ayrılır. B-hücreleri serbest antijenleri tanıyabilirken, T-hücreleri başka hücreler yardımı ile tanıyabilir. Bütün B-hücreleri bağışıklık ağı olarak bilinen yapıyı oluşturur. Bu ağ, B-hücreleri oluşturu-

rur ve bu hücrelere ihtiyaç duyulmama anına kadar bu hücreleri korur. Bağışıklık sistemindeki farklılaşma, en az uyarılmış B-hücrelerinden % 5'inin günlük olarak ölmesi ve bunların yerine yeni üretilen eşit sayıda B-hücresinin ağı dahil edilmesi ile olur. Yeni üretilen B-hücrelerinin mevcut hücrelere benzer olması gerekir aksi halde ölürlür.

Bağışıklık sistemine dayanarak yaratılan yapay bağışıklık ağında her B-hücresi olası bir çözümü temsil eder. Algoritmanın ilk aşamasında B-hücrelerinden rasgele bir topluluk oluşturulur. Bir hücrenin uyarım seviyesi hücrenin hem antijene hem de ağıdaki diğer hücreler benzerliğine bağlıdır. Buna dayanarak iki alt popülasyon oluşturulacaktır. Topluluktaki her hücreye ait bir uygunluk değeri hesaplanır ve sıralama yapılır. En yüksek uygunluk değerine sahip hücre antijen olarak kabul edilir. Algoritmanın bir sonraki aşamasında topluluktaki bütün hücrelerin antijene benzerliği hesaplanır. Antijene en çok benzeyen hücreler arasından seçme operatörü kullanılarak bir alt popülasyon oluşturulur. İlk oluşturulan popülasyondaki hücreler tek-nokta mutasyonu ile somatik mutasyona uğratılır. Bu işlem sonunda antijene benzerliği artan hücreler yaşamaya devam eder, benzemeyenler ise ölür. İkinci alt popülasyon birinci alt popülasyona dahil edilmeyen hücrelerin arasından ağıdaki diğer hücrelere olan benzerliği hesap edilerek oluşturulur. Düşük seviyede uyarılmış hücreler popülasyondan çıkarılır ve yerlerine popülasyondaki hücrelere benzerliği belli bir eşik seviyesini geçen yeni hücreler getirilir. Belirlenmiş bir durdurma kriteri sağlanana kadar iterasyona devam edilir.

3. KARINCA KOLONİ OPTİMİZASYONU

Son zamanlarda, biyolojik yapılardan esinlenerek oluşturulan sistemlerin optimizasyon problemleri çözümünde kullanılması ilgi çekmeye başlar. Doğada tek başına sınırlı yeteneğe sahip bireyler, topluluk halinde belirli iş paylaşımı, iletişimi ve yardımlaşma ile daha üstün bir yapı oluşturmaktadır. Bu yüzden, topluluk halinde yaşayan hayvanların problem çözme özellikleri, yeni yaklaşımlar üretmek için kullanılmaya başlanır. Karıncaların kolektif davranışlarını taklit eden karınca koloni optimizasyonu (KKO) bunlardan biridir.

Son zamanlarda ilgi çeken KKO, yapay zeka perspektifinden bakılınca küme zeka tabanlı bir yöntemdir. Küme zekasında amaç, karınca, arı gibi topluluk halinde yaşayan böceklerin hareketlerinden esinlenerek, akıllı sistemler kurmaktır. Bu yöneme örnek olarak, eşekarısı kolonileri davranışları örnek alınarak geliştirilen dinamik görev dağıtımı gösterilebilir (Campos et al., 2000). Yöneylem araştırması perspektifinden bakılınca, KKO, metasezgisel yöntemdir. Bu yöntemlerden daha önceki bölümde ayrıntılı sözedilmektedir.

KKO, ilk olarak, Dorigo (1992) tarafından doktora tezinde sunulur. Algoritma gerçek karınca kolonilerinden esinlenir. Karıncalar topluluk halinde yaşar. Amaç, bireylerin tek başlarına değil topluluk halinde sağ kalmayı başarmalarıdır. Algoritmaya ilham kaynağı olan, yiyecek aranırken izlenen yöntem ve yuva ile yiyecek kaynağı arasındaki en kısa yolun bulmasıdır. İlk uygulama gezgin satıcı probleminin test problemi olarak kullanılmasıyla yapılır (Dorigo et al., 1991a, 1991b, 1996; Coloni et al., 1991, 1992).

3.1 Gerçek Karınca Kolonisi Davranışı

KKO algoritmasının mantığını anlamak için öncelikle gerçek karınca özellik ve davranışlarının incelenmesi gerekir. Karıncalar, tam olarak görme yeteneğine sahip olmamalarına rağmen, yiyecek kaynağı ile yuvaları arasındaki en kısa yolu bulabilmektedir. Bunu, yiyecek ararken geçtiği yollara değişik miktar ve yoğunlukta bıraktığı feromon⁵ ile sağlar. Bu koku, yuvaya dönüş yolunu bulmak ve arkadan gelen karıncalara yolu tarif etmek için kullanılır. KKO algoritması için de benzer şekilde problemin yapısına uygun olarak feromon değerleri kullanılır.

⁵ Feromon, karıncaların salgıladığı, kendi aralarında haberleşme aracı olarak kullandıkları kimyasal bir maddedir. Karıncalar, geçtikleri yere feromon bırakma özelliğine sahiptir.

Feromon maddesinin karıncalar arasında iletişim aracı olarak kullanıldığı, Arjantin türü *Iridomyrmex Humilis* karıncalarının incelenmesi ile doğrulanır (Goss et al., 1989).

Algoritmayı açıklamak için Şekil 3.1'deki araştırma uzayı ele alınsın.



Şekil 3.1 Karıncaların en kısa yolu bulması

Yiyecek aranan alan $G=(V, E)$ şeklinde gösterilsin. Burada V , v_s yuva ve v_d yiyecek olmak üzere iki noktayı belirtmektedir. E ise yuva ve yiyecek arasındaki bağlantıları göstermektedir. Şekildeki örnekte yuvadan yiyecek kaynağına iki yol bulunmakta, bunlar e_1 ve e_2 olarak adlandırılmaktadır. e_1 yolunun uzunluğu l_1 , e_2 yolunun uzunluğu l_2 olsun. Bu yollar üzerinde bırakılan feromon değeri ise τ_i ile gösterilsin. Çözüm arayan k karıncası v_s noktasından çıktıktan sonra v_d noktasına ulaşmak için, e_1 ya da e_2 yolundan hangisini seçeceğine aşağıdaki geçiş olasılığı kuralına göre karar verir.

$$p_i = \frac{\tau_i}{\tau_1 + \tau_2} \quad i = 1, 2 \quad \text{Denklem 3.1}$$

Formülden de görüldüğü üzere $\tau_1 > \tau_2$ olması durumunda e_1 yolunun seçilme olasılığının daha fazla olduğu görülmektedir. Karınca geri dönüş yolunda yola feromon bırakarak seçtiği yolun feromon değerini değiştirmektedir. Yolun yeni feromon değeri;

$$\tau_i \leftarrow \tau_i + \frac{Q}{l_i} \quad \text{Denklem 3.2}$$

olarak bulunur. Burada Q sabit bir değer ve l_i seçilen yolun uzunluğudur. Yol uzunluğunun kısa olması feromon değerinin daha fazla artmasına ve bir sonraki seçme aşamasında seçilme olasılığının artmasına yol açacaktır. Feromon değerinin sürekli artmasını önlemek ve daha önceki kötü seçimlerin etkisinin azalması için feromon değeri her adımda biraz buharlaşmaktadır. Buharlaşma oranı ise;

$$\tau_i \leftarrow (1 - \rho) \times \tau_i \quad i = 1, 2 \quad \text{Denklem 3.3}$$

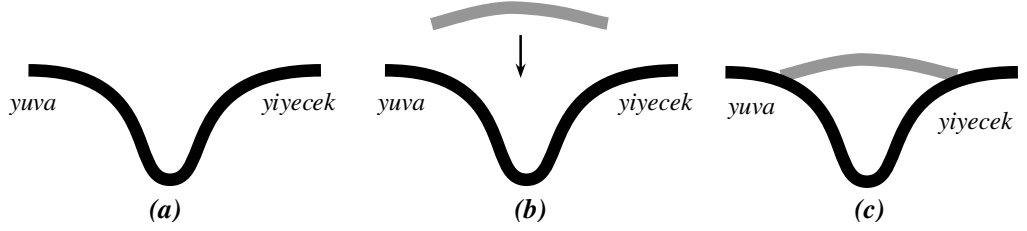
formülüyle belirlenir. $\rho \in (0, 1]$ olmak üzere feromon buharlaşmasını dengelemektedir. Sonuç olarak, karıncalar geçtikleri yolun izlenme olasılığını arttırarak turlarını tamamlar.

Deneubourg ve arkadaşları (1990) feromon maddesinin yuva ile yiyecek kaynağı arasındaki en kısa yolun belirlenmesinde kullanılışını çift köprü deneyi ile ispatlar (Dorigo and Stützle, 2004). Deneyler, l_l uzun, l_s kısa yol uzunluğu olmak üzere, $r = l_l/l_s$ oranı değiştirilerek yapılır.

İlk deney, iki yol uzunluğu eşit olacak şekilde $r = 1$ düzenlenir. İlk etapta her iki yolda da feromon izi bulunmaz. Buna bağlı olarak, karıncalar ilk seçimlerini rasgele yapar. Bu aşamada bir yolun daha fazla karınca tarafından seçilmesi, o yolda daha fazla feromon maddesi birikmesine yol açar. Bu durum yolun seçilme olasılığını giderek arttırır ve belli bir zaman sonunda bütün karıncalar aynı yolu kullanmaya başlar.

İkinci deneyde, $r = 2$ olacak şekilde yolların uzunluğu değiştirilir. Karıncaların bırakıldıkları anda yollarda feromon değeri yoktur. İlk seçimleri rassal olur. Kısa yolu tercih eden karıncalar, yiyecek kaynağına daha çabuk ulaşır. Geri dönüş yolu için seçim yapacak olan karıncalar, geldikleri kısa yol üzerinde bıraktıkları feromon maddesini koklayarak geri dönüş yolu olarak aynı yolu tercih eder. Hem gidiş hem de dönüş sırasında feromon bırakılan kısa yolda, uzun yola göre daha fazla feromon maddesi birikir. Böylece kısa bir zaman sonunda bütün karıncalar kısa yolu tercih etmeye başlar.

Koloninin davranışlarını incelemek için deney değiştirilir, yuvadan yiyecek kaynağına tek bir yol oluşturulur (Şekil 3.2a), bütün karıncalar bu yolu kullanmaya başlar. Yarım saat sonra yuva ile yiyecek kaynağı arasına alternatif olarak daha kısa bir yol eklenir (Şekil 3.2b). Karıncalar mevcut yolda feromon değeri birikmiş olduğu için daha uzun olan ilk yolu kullanmaya devam eder (Şekil 3.2c). Doğada feromon buharlaşması yavaş olduğundan karıncalar kullandıkları yolu unutmaz ve yeni yolları keşfedemez. Bu durum, feromon değerinin, seçimde ne denli etkili olduğunu gösterir.



Şekil 3.2 Çift köprü deneyi

3.2 Yapay Karıncalar

Karıncaların çift köprü deneylerinde çözüm alanını tarayarak en kısa yolu bulabildikleri açıkça görülmektedir. Feromon buharlaşmasının yavaş olması yeni eklenen yolların araştırılmasını engellemekte, karıncalar sürekli aynı yolu yeğlemektedir. Bu nedenle, yapay karıncalar⁶ modellenirken çözüm uzayı tamamen taranıp en kısa yolun bulunması amaçlanmalı, yapay karıncalara, çözüm üretme ve en uygununu bulmada, gerçek karıncaların sahip olmadığı bazı özellikler eklenerek algoritmanın etkinliği artırılmalıdır. Bu özellikler şu şekilde özetlenebilir;

- Karıncalar, $G=(V, E)$ uzayında çözüm arar. V uzay elemanlarını, E ise bu elemanlar arasındaki bağlantıyı temsil etmektedir. $\Omega(t)$ problem kısıtları olmak üzere, amaç fonksiyonunu minimum yapan çözüm uygun çözüm olur.
- Karıncaların, gerçek karıncalardan farklı olarak, hafızaları vardır. Karıncalar, bu özellik sayesinde uygun çözüm üretirken, daha önceden geçtiği noktaları hatırlar ve aynı zamanda $\Omega(t)$ problem kısıtlarını sağlayabilir. Çözümü ürettikten sonra sonucunu değerlendirebilir ve bu çözüme ilişkin bilgiyi bir sonraki karıncaya aktarabilir.
- Karıncalar çözüm üretmeleri için belli bir noktaya atanabilir. Buna karşın, gerçek karıncalar, yiyecek ve yuvaları arasındaki en kısa yolu bulmaya bu oldukları noktadan başlar.
- Karıncalar, ilerlenecek bir sonraki noktaya geçiş kuralına göre karar verir. Buna göre, önce ilerlenebilecek uygun noktalar belirlenir. Bu noktalar arasından karıncanın hafızasındaki bilgiler ile örtüşen ve aynı zamanda problem kısıtlarını da sağlayan nokta, ilerlenecek bir sonraki nokta olarak belir-

⁶ Bu çalışmada yapay karınca yerine kısaca karınca denilecektir.

lenir. Gerçek karıncalar adım adım bitişik bölgelere yani bulundukları noktanın komşusu olan bir noktaya ilerler.

- Karıncalar çözümü belli bir bitirme kriteri sağlandığında durdurabilir ve ürettikleri çözümün kalitesine bağlı olarak belli miktarda feromon bilgisini güncelleyebilir.

Bütün bu bilgilerin ışığı altında, herbir karıncanın çözüm üretmeye uygun olduğu fakat bir koloni içinde birbirleri ile haberleşerek ve ortak bir bilgi havzasını kullanarak daha iyi çözümlere ulaşacakları söylenebilir.

3.3 Mevcut Karınca Koloni Algoritmaları

Gerçek karınca kolonilerini örnek alan algoritma, ilk kez Dorigo (1992) tarafından doktora tezinde olarak sunulur ve kısaca *Karınca Sistemi* denir. Algoritma, feromon bilgisi ve probleme özgü sezgisel bilgiyi kullanmaktadır. Bu özellikleri ile uygun çözümler üretilmiş ve sistem geliştirilmeye başlanmıştır. Geliştirilen bazı önemli algoritmalar aşağıdaki gibi sıralanabilir;

- Karınca Sistemi
- Elitist Karınca Sistemi
- Ant-Q
- Karınca Koloni Sistemi
- Max-Min Karınca Sistemi
- Sıralamaya Dayalı Karınca Sistemi
- ANTS

3.3.1 Karınca sistemi

İlk olarak üç algoritma üzerinde yoğunlaşılır, bunlar, karınca-çevrim (ant-cycle), karınca-yoğunluk (ant-quantity) ve karınca-miktar (ant-quantity) algoritmalarıdır (Dorigo et al., 1991a; Coloni et al., 1991; Dorigo, 1992). Karınca-yoğunluk ve karınca-miktar algoritmalarında feromon güncellemesi karıncanın herbir yer değiştirmesi sonucunda yapılırken, karınca-çevrim algoritmasında karıncaların bir turu tamamlamaları beklenir ve feromon güncellemesi en iyi çözüme göre yapılır. Karınca-çevrim algoritması diğer ikisine göre daha iyi sonuç verdi-

ğinden daha sonraki çalışmalarda sadece bu algoritma üzerine yoğunlaşılır ve bu algoritma kısaca *Karınca Sistemi* olarak adlandırılır.

Karınca sistemi, gezgin satıcı probleminin çözümü için kullanılmasının yanında karesel atama problemi için kullanılan ilk sistemdir. Çözüm, bir tur oluşturulması ve feromon güncellenmesi olmak üzere iki aşamadan oluşur. Sezgisel bilgi şehirler arası uzaklığa bağlı olarak belirlenir. d_i yerinden diğer tüm noktalara olan uzaklığı, f_i ise i tesisinden diğer tüm tesislere akışı göstermek üzere, her (i, j) çiftine ait $E = f_i \cdot d_i^T$ matrisi oluşturulur. Matrisin elemanları $e_{ij} = f_i \times d_j$ olmak üzere i tesisinin j yerine atanması için kullanılacak $\eta_{ij} = 1/e_{ij}$ sezgisel bilgisi elde edilir. d değerinin küçük olması o noktanın merkezi bir yerde olmasını, f değerinin büyük olması ise o tesisin öneminin fazla olduğunu göstermektedir.

Karınca, her adımda, i tesisini j boş yerine aşağıdaki rasgele-oran kuralına göre atar:

$$p_{ij}^k(t) = \frac{[\tau_{ij}(t)]^\alpha [\eta_{ij}]^\beta}{\sum_{l \in N_i^k} [[\tau_{il}(t)]^\alpha [\eta_{il}]^\beta]}, \quad \text{eger } j \in N_i^k \quad \text{Denklem 3.4}$$

Formülde, $\tau_{ij}(t)$ t iterasyonundaki feromon, η_{ij} ise sezgisel bilgi değerini gösterir. α ve β ise sırasıyla feromon ve sezgisel bilginin çözüme katkısını belirleyen katsayılarıdır. N_i^k ise i noktasının uygun boş komşuluklarının gösterildiği kümedir. Bu adım bütün atamalar yapıldıktan sonra devam eder. Bütün tesisler atandıktan sonra feromon güncellemesi, bütün (i, j) çiftleri için, aşağıdaki formüle göre yapılır.

$$\tau_{ij}(t+1) \leftarrow (1 - \rho)\tau_{ij}(t) \quad \text{Denklem 3.5}$$

Feromon güncellemesi için kullanılan, ρ feromon buharlaşma katsayısını gösterir. ρ , feromon bilgisinin aşırı büyümesini engeller ve aynı zamanda daha önceden yapılmış kötü seçimlerin etkisini de yok eder. Değeri 0 ile 1 arasında değişir. k karıncası turunu tamamladıktan sonra, oluşturduğu çözümündeki her (i, j) çiftine $\Delta\tau_{ij}^k$ kadar feromon katkısı yapar. Çözümde yer alan (i, j) çiftlerine $1/C^k$ kadar feromon katkısı yapılır. C^k gezgin satıcı problemi için bir turun toplam uzunluğunu gösterir. Çözümde yer almayan (i, j) çiftlerine feromon katkısı yapılmaz. Bu durumda $(t+1)$. iterasyonda (i, j) çiftinin yeni feromon bilgisi aşağıdaki gibi olur:

$$\tau_{ij}(t+1) \leftarrow (1-\rho)\tau_{ij}(t) + \sum_{k=1}^m \Delta\tau_{ij}^k \quad \text{Denklem 3.6}$$

Algoritma, belirlenen bitirme kriterine ulaşıncaya kadar devam eder.

3.3.2 Elitist karınca sistemi

Karınca sistemindeki ilk iyileştirme elitist (seçkin) stratejinin oluşturulmasıdır (Dorigo, 1992; Dorigo et al., 1991a, 1996). Strateji, o ana kadar bulunmuş en iyi çözümün feromon katkısının daha fazla olması ilkesine dayanır. T^{bs} , o ana kadar bulunan en iyi tur ve C^{bs} o turun uzunluğunu göstermek üzere feromon güncellenmesi kuralı şu şekilde değişir.

$$\tau_{ij}(t+1) \leftarrow (1-\rho)\tau_{ij}(t) + \sum_{k=1}^m \Delta\tau_{ij}^k + e\Delta\tau_{ij}^{bs} \quad \text{Denklem 3.7}$$

Formüldeki e parametresi bulunan en iyi çözümün çözüme katkı ağırlığını belirleyen katsayıdır. $\Delta\tau_{ij}^{bs}$ ise T^{bs} turundaki (i,j) çiftlerine yapılacak feromon katkısını gösterir ve e/C^{bs} olarak hesaplanır. Uygun e parametresinin seçiminin önemli olduğu ve elitist karınca sisteminin karınca sistemine oranla daha az iterasyonda daha iyi sonuçlar elde ettiği görülür (Dorigo, 1992; Dorigo et al., 1991a, 1996).

3.3.3 ANT-Q

Ant-Q algoritması, destekleyici/takviyeli öğrenmenin özel bir türü olan Q-öğrenme algoritması ile karınca sisteminin birleştirilmesinden oluşur (Gambardella and Dorigo, 1995). Ant-Q algoritmasında, her (i,j) çifti için $AQ(i,j)$ Ant-Q-değeri belirlenir. Bu değer, i yerinden sonra j yerine gitmenin ne kadar yararlı olacağını gösteren bilgidir. Bir sonraki atanacak aday belirlenirken uygulanacak kural, karınca sistemindekine benzer şekilde, sezgisel bilgi ve AQ-öğrenme değerine bağlıdır. Bu bilgilerin çözüme katkısını belirleyen ağırlık katsayıları belirlendikten sonra AQ-değerlerinin güncellenmesi şu şekilde yapılır:

$$AQ_{ij}(t+1) \leftarrow (1-\alpha)AQ_{ij}(t) + \alpha \left[\Delta AQ_{ij} + \gamma \max_{z \in J_k(j)} AQ(j,k) \right] \quad \text{Denklem 3.8}$$

Formülde, α ve γ sırası ile öğrenme ve azaltma katsayılarıdır. Algoritmanın birleşik optimizasyon problemlerinin çözümünde etkili olduğu görülür (Gambardella and Dorigo, 1995).

3.3.4 Karınca koloni sistemi

Karınca koloni sistemi, karınca sisteminden geliştirilir (Gambardella and Dorigo, 1996; Dorigo and Gambardella, 1997a, 1997b; Stützle and Dorigo, 1999; Dorigo et al., 1999). Sistemde üç önemli fark ön plana çıkmaktadır. Bunlardan ilki, karınca koloni sisteminin karınca sistemine göre daha girişken geçiş kuralı kullanmasıdır. İkinci fark, feromon eklenmesinin sadece global en iyi çözüme yapılmasıdır. Üçüncü olarak, diğer alternatif yolların araştırılabilmesi için, tamamlanan turlarda bulunan (i,j) yollarından bir miktar feromon buharlaşması yapılmasıdır.

Karınca koloni sisteminde i noktasında bulunan k karıncası ilerleyeceği bir sonraki j noktasını aşağıdaki kurala göre belirler:

$$j = \begin{cases} \arg \max_{l \in N_i^k} \{ \tau_{il} [\eta_{il}]^\beta \} & \text{eger } q \leq q_0; \\ J, & \text{diğer} \end{cases} \quad \text{Denklem 3.9}$$

N_i^k i şehrindeki karıncanın seçebileceği şehirleri gösteren küme, q $[0,1]$ aralığında düzgün dağılan rasgele bir sayı ve q_0 devamlılığın önemini gösteren parametredir ($0 \leq q_0 \leq 1$). J ise rasgele-oran kuralında verilen olasılık dağılımına göre seçilen rasgele bir değişkendir. q ve q_0 araştırma ve devamlılığın dengesini sağlar.

Global feromon güncellemesinde, her iterasyonda, yalnızca en iyi çözümü elde eden karıncanın feromon eklemesine izin verilir. Feromon güncellemesi;

$$\tau_{ij} \leftarrow (1 - \rho) \tau_{ij} + \rho \Delta \tau_{ij}^{bs}, \quad \forall (i, j) \in T^{bs} \quad \text{Denklem 3.10}$$

formülüne göre yapılır. T^{bs} bulunan en iyi tur, C^{bs} bu turun uzunluğu olmak üzere $\Delta \tau_{ij}^{bs} = 1 / C^{bs}$ dir.

Yerel feromon güncellemesi, k karıncasının her (i,j) yolundan geçmesinin ardından o yolun feromon değerinin tur tamamlanmadan güncellenmesi ilkesine dayanır.

$$\tau_{ij} \leftarrow (1 - \xi) \tau_{ij} + \xi \tau_0 \quad \text{Denklem 3.11}$$

Formülde ξ ve τ_0 sırasıyla feromon buharlaşması ve ilk feromon değerlerini gösteren parametrelerdir. Dorigo ve Stützle (2004) gezgin satıcı problemi üzerinde yaptıkları çalışmada, en uygun değerlerin ξ için 0.1 ve τ_0 için $1/nC^{mn}$ olduğunu belirler. Burada n şehir sayısını, C^{mn} ise en yakın komşu turun uzunluğunu göstermektedir. Yerel güncelleme ile her geçilen (i,j) yolunun feromon değerinin anında buharlaştırılması ve böylece bir sonraki karıncanın o yolu tercih etme olasılığını hemen azaltarak araştırmayı kuvvetlendirmesidir. Bu aynı zamanda karınca koloni sistemini önceki algoritmalarından ayıran bir özellik olan karıncaların paralel çözüm üretmelerini vurgulamaktadır.

3.3.5 Max-Min karınca sistemi

Max-Min karınca sistemi, dört ana değişiklik sonucunda geliştirilmiştir (Stützle and Hoos, 1997, 2000; Stützle, 1999). İlk çalışmada, sadece iterasyondaki en iyi çözümü ya da global en iyi çözümü üreten karıncanın feromon güncellemesi yapmasına izin verilir. Bu strateji, oluşturulan ilk çözümlerde fazla feromon birikimine yol açması ve bundan dolayı algoritmanın durağanlaşması sonucu iyi sonuçlar üretemez. Bu dezavantaj, ikinci bir değişiklik ile giderilmek istenir ve feromon değerlerinin $[\tau_{min}, \tau_{max}]$ arasında kalmasını sağlayan MMAS algoritması geliştirilir. Sistemde, üçüncü olarak, ilk feromon değerlerinin, daha fazla araştırmaya olanak sağlayacak, τ_{max} üst feromon limitine eşitlenmesi önerilir. Buharlaşma oranının küçük bir değer alındığı stratejide, ilk turlardaki araştırma oranı arttırılır. Son olarak, algoritma durağanlaştığında veya belli sayıda iterasyonda gelişme olmadığında, feromon değerlerinin yeniden ataması yapılır. Her iterasyonda sadece bir karıncanın feromon güncellemesi yapmasına izin verilir. Güncelleme, iterasyondaki en iyi çözüme ya da global en iyi çözüme göre yapılabilir. Global en iyi çözüme göre güncelleme kuralı şu şekildedir:

$$\tau_{ij}(t+1) \leftarrow (1-\rho)\tau_{ij}(t) + \Delta\tau_{ij}^{bs} \quad \text{Denklem 3.12}$$

C^{bs} global en iyi çözüm değeri olmak üzere, $\Delta\tau_{ij}^{bs} = 1/C^{bs}$ dir. İterasyondaki en iyi çözüme göre güncelleme kuralı da benzer şekilde belirtilir:

$$\tau_{ij}(t+1) \leftarrow (1-\rho)\tau_{ij}(t) + \Delta\tau_{ij}^{ib} \quad \text{Denklem 3.13}$$

C^{ib} iterasyondaki en iyi çözüm değeri olmak üzere, $\Delta\tau_{ij}^{ib} = 1/C^{ib}$ dir.

Feromon güncellemesi için iterasyondaki en iyi çözümün seçilmesi, ilk çözümlere ait feromon izlerinin aşırı artmasına ve böylece araştırma olasılığının azalmasına neden olur. Global en iyinin seçilmesi ise, araştırmanın T^{bs} çözümü etrafında yoğunlaşmasına ve algoritmanın daha erken durağanlaşmasına neden olur. Yeni çözümler oluşturulması ve araştırmanın sürdürülmesi arasındaki dengeyi sağlayan ise $[\tau_{min}, \tau_{max}]$ feromon izi limitleridir.

3.3.6 Sıralamaya dayalı karınca sistemi

Sıralamaya dayalı karınca sisteminde, karıncalar tarafından üretilen çözümler kalitelerine göre sıralanır (Bullnheimer et al., 1999b). Her iterasyonda karıncaların feromon katkısı sıralamada bulunduğu r sırasına göre ağırlığı artırılır. $(w-I)$. karıncanın feromon güncellemesi yaptığı algoritmada, o ana kadar bulunan en iyi çözümün w ağırlığında feromon katkısı yapmasına izin verilir. Feromon güncellemesi kuralı aşağıdaki gibidir:

$$\tau_{ij}(t+1) \leftarrow (1-\rho)\tau_{ij}(t) + \sum_{r=1}^{w-1} (w-r)\Delta\tau_{ij}^r + w\Delta\tau_{ij}^{bs} \quad \text{Denklem 3.14}$$

Formülde, C bulunan çözüm olmak üzere, $\Delta\tau_{ij}^r = I/C^r$ ve $\Delta\tau_{ij}^{bs} = I/C^{bs}$ olarak hesaplanır. Sıralamaya dayalı karınca sisteminin, elitist karınca sistemine göre az, karınca sistemine göre ise oldukça üstün sonuçlar elde ettiği söylenir.

3.3.7 ANTS

Karınca sisteminden geliştirilen ANTS algoritmasında iki önemli fark göze çarpar (Maniezzo, 1999). Bunlardan ilki, atanacak noktanın belirlenmesinde kullanılan geçiş olasılığı kuralındaki değişikliklerdir. ANTS algoritmasında, i tesisinin j boş yerine atanması aşağıdaki geçiş kuralına göre yapılır:

$$p_{ij}^k(t) = \frac{\alpha\tau_{ij}(t) + (1-\alpha)\eta_{ij}}{\sum_{l \in N_j^k} \alpha\tau_{il}(t) + (1-\alpha)\eta_{il}} \quad \text{Denklem 3.15}$$

Bu formülde β katsayısının yok edildiği, böylece, üstel fonksiyonlar olmadığı için hesaplama süresinin azaldığı görülür.

ANTS algoritmasındaki ikinci fark, alt ve üst limitler kullanımıdır. Her aşamada amaç fonksiyonu değeri hesaplanır. Eğer elde edilen değer, o ana kadar

elde edilen en iyi çözümü aşıyorsa, tur tamamlanmadan terk edilir. Bu uygulama ile hesaplama süresi oldukça azalır. ANTS algoritmasında, feromon güncellemesi aşağıdaki kurala göre yapılır:

$$\tau_{ij}(t+1) \leftarrow \tau_{ij}(t) + \sum_{k=1}^m \Delta \tau_{ij}^k \quad \text{Denklem 3.16}$$

Formülde, feromon buharlaşmasının yapılmadığı görülmektedir. $\Delta \tau_{ij}^k$ değeri k karıncasının ürettiği çözümdeki her (i,j) çifti için eklenecek feromon miktarını gösterir ve değeri

$$\vartheta \left(1 - \frac{C^k - LB}{L_{avg} - LB} \right) \quad \text{Denklem 3.17}$$

ile hesaplanır. Formülde, ϑ feromon miktarı parametresi, LB alt sınır, C^k k karıncasının ürettiği çözümün tur uzunluğu, L_{avg} o ana kadar üretilen çözümlerin ortalama tur uzunluğunu gösterir. Karesel atama problemine uygulanan algoritmanın iyi sonuçlar ürettiği görülür.

3.4 KKO Uygulama Alanları

Probleme özgü veri ile feromon bilgisinin birlikte kullanımının özellikle birleşik optimizasyon problemlerinin çözümünde etkili olması, KKO algoritmalarının kullanım alanını genişletir. İlk uygulama gezgin satıcı probleminin test problemi olarak kullanılmasıyla yapılır (Dorigo et al., 1991a, 1991b, 1996; Colorni et al., 1991, 1992). Geliştirilen algoritmalar rotalama, çizelgeleme, alt küme, makine öğrenme ve atama problemleri gibi problemlerin çözümünde sıkça kullanılır. Tablo 3.1 'de yapılan çalışmalar uygulama alanlarına göre görülmektedir.

Tablo 3.1 KKO algoritmalarının uygulama alanları

Problem Türü	Yazarlar	Yayın Yılı
Rotalama	Dorigo ve arkadaşları	1991a, 1991b, 1996
	Dorigo	1992
	Gambardella ve Dorigo	1995
	Dorigo ve Gambardella	1997a, 1997b
	Stützle ve Hoos	1997, 2000
	Bullnheimer ve arkadaşları	1999a, 1999b
	Gambardella ve Dorigo	1997, 2000
	Randall ve Lewis	2002
	Bell ve McMullen	2004
	Hsiao ve arkadaşları	2004
	Mazzeo ve Loiseau	2004
	Tsai ve arkadaşları	2004
	Dunker ve arkadaşları	2005
	Luo ve arkadaşları	2006
	Kuan ve arkadaşları	2006
	Eshghi ve Kazemi	2006
	Pour ve Nosraty	2006
	Baykasoglu ve arkadaşları	2006
	Cheng ve Mao	2007
	Ellabib ve arkadaşları	2007
	Wang ve Shen	2007
	Zhang ve arkadaşları	2008
	Zhang ve Tang	2009
	Uğur ve Aydın	2009
	Wu ve arkadaşları	2009
Altküme	Blum ve Blesa	2003
	Reimann ve Laumanns	2006
	Tseng ve arkadaşları	2008
Ağ rotalaması	Schoonderwoerd	1996
	Di Caro ve Dorigo	1997, 1998
	Heusse ve arkadaşları	1998
	Van der Put	1998
	Fournier ve Pierre	2005
	Shyu ve arkadaşları	2006
	Wang ve arkadaşları	2009
	Watcharasitthiwat ve Wardkein	2009
	Kadono ve arkadaşları	2010

Tablo 3.1 KKO algoritmalarının uygulama alanları (devamı)

Problem Türü	Yazarlar	Yayın Yılı
Çizelgeleme	Colorni ve arkadaşları	1994
	Pfahringner	1996
	Bauer ve arkadaşları	2000
	Merkle ve Middendorf	2003
	Gagné ve arkadaşları	2002
	Merkle ve arkadaşları	2002
	Liao ve Juan	2007
	Rossi ve Dini	2007
	Yagmahan ve Yenisey	2008
	Chang ve arkadaşları	2009
	Christodoulou	2009
	Marimuthu ve arkadaşları	2009
	Yagmahan ve Yenisey	2009
	Maniezzo ve arkadaşları	1994
	Stützle	1997
Atama	Maniezzo ve Colorni	1999
	Maniezzo	1999
	Stützle ve Hoos	2000
	Costa ve Hertz	1997
	Lourenço ve Serra	1998, 2002
	Maniezzo ve Carbonaro	2000
	Corry ve Kozan	2004
	Chan ve Swarnkar	2006
	Qi	2007
	Li ve Rong	2009
	Sabuncuoglu ve arkadaşları	2009
	Rossi ve Boschi	2009
	Casillas ve arkadaşları	2000
	De Campos ve arkadaşları	2002
	Parpinelli ve arkadaşları	2002
Makine öğrenmesi	Ji ve arkadaşları	2009
	Yang ve Wu	2009

4. ŞANTIYE YERLEŞİM PROBLEMİ

İşletmeler sahip oldukları kaynaklardan en etkin şekilde faydalanmak ister. Bu amaçla mevcut malzeme, makine ve teçhizat, işgücü gibi kaynakların yerleşimin en iyi şekilde düzenlenmesi, şantiyeyi oluşturan tesisler arasındaki ulaşım gereksiminin en az maliyetli çözümünün aranması arzulanır. Şantiye yerleşimi, inşaat süresince gerekli marangozhane, taş ocağı, beton santrali, yatakhane, yemekhane, depo, şantiye binası ve benzeri geçici tesis yerlerinin, şekil ve büyüklüklerine uygun olarak belirlenmesi olarak tanımlanabilir.

İnşaat sektöründe genellikle ihmal edilen şantiye yerleşimine, deneyim ya da içgüdüye dayanılarak, deneme-yanılma yoluyla ya da inşaat ilerledikçe ihtiyaca ve o anda mevcut boş yerlere göre karar verilir. İyi planlanmış şantiye yerleşimi ile çalışma koşullarının iyileştirilmesi, iş kazalarının önlenmesi ve buna bağlı olarak işgücü, malzeme, makine ve teçhizat ve benzeri kayıpların önüne geçilmesi sağlanabilir. Bütün bu faktörler dikkate alındığında, şantiye yerleşiminin, işgücü, makine veya malzeme planlaması ile ilişkili ve önemli bir planlama problemi olduğu görülmektedir.

4.1 Şantiye Yerleşiminin Amaç, Kapsam ve Önemi

İnşaat sektöründe şantiye yerleşimi tesis yerleşim problemi olarak kabul edilip çözülür ve tesis yerleştirmede olduğu gibi, öngörülen kapasite ve kalite gereklerini en ekonomik biçimde karşılayarak üretim veya hizmet sistemi geliştirmek amaçlanır. İnşaat sektöründe, şantiye alanının sınırlı olması nedeniyle yerleşiminin inşaat maliyeti ve tamamlanma süresi üzerinde önemli etkileri vardır. Özellikle büyük şantiyelerde tesisler arası taşıma maliyeti ve zaman kayıpları çok büyük olur. Alanın sınırlı olduğu küçük şantiyelerde ise iyi bir şantiye yerleşimi ile boş yer sıkıntısı çözülür. Yerleştirme genellikle şantiye sınırları içinde olmakla birlikte kimi durumlarda depo ve benzeri tesisler şantiye dışında olabilir, aynı zamanda bazı tesislerin yerleri zorunlu olarak bir yere sabitlenebilir. Bunun yanında, bir şantiye yerleşiminde tesislerin yerleri inşaat süresince değişmezken, bir diğerinde değişebilir ya da bir zaman periyodunda kullanılan tesis bir diğer zaman periyodunda kullanılmaz. Bu gibi etkenlerin yanında, daha sonra ortaya çıkacak nedenlere göre de yeniden düzenleme gerekebilir. Bu etkenleri şu şekilde sıralamak mümkündür (Su ve Aslan, 1997):

- Projedeki değişiklikler,
- Maliyet düşürme çabaları,
- Malzeme taşımada aksaklıklar gözlenmesi,
- Depolarda oluşan yığılmalar,
- Hasar ve kayıp oranlarında artış,
- Çalışma koşullarının iyileştirilmesi,
- Teknolojik yenilikler,
- Makine ve teçhizatın eskimesi ya da kullanım dışı kalması,
- Yüksek kaza oranı.

Bu etkenlerden bir ya da birkaçına bağlı olarak yerleşimde ufak değişiklikler yapılması mümkün olsa da şantiye yerleşiminin planlama sürecinde tasarlanması gerekir. Şantiye yerleşiminde amaç, genellikle, tesisler arası ilişkilere bağlı olan maliyetleri minimuma indirmektir. Yapılacak yerleşimin aynı zamanda malzeme ve personel hareketini en aza indirmesi, hareketleri etkili biçimde kontrol edecek şekilde olması ve böylece üretim sürecini kolaylaştırması beklenir. Çalışanlar ve çalışma alanını verimli kullanmak, malzeme yükleme, boşaltma ve taşıma sürelerini en aza indirmek ve böylece gereksiz zaman kayıplarını önlemek ve ileride olabilecek değişimlere karşı yerleşimin esnek olması da amaçlar arasındadır. Bunun yanında, sabit yatırımların en alt düzeyde tutulması ya da yeniden düzenleme giderlerinin ortadan kalkması da dikkate alınır. Tesis yerleştirmesi yapılırken dikkat edilmesi gereken hususları Su ve Aslan (1997) şu şekilde sıralar:

- Malzeme en kısa yoldan taşınmalı, taşıma olabildiğince doğrusal yapılmalıdır.
- Malzeme hareketleri tasarlanırken geriye dönüşler en aza indirilmelidir.
- Tesis binası, malzeme hareketlerini en aza indirecek şekilde tasarlanmalıdır.
- Mevcut binadan en ekonomik şekilde yararlanılmalıdır.
- Yapılan planlar esnek olmalı, olası gelişmeler önceden tahmin edilmeli, planlar buna göre hazırlanmalıdır.

Bu amaçların tümünün aynı ölçüde gerçekleştirilmesi çok zordur. Her sektör kendi yapısına uygun olan amaçlara yönelik yerleşim yapmalıdır.

4.2 Şantiye Yerleşim Probleminde Çözüm Aşamaları

Şantiye yerleşim problemini çözmek için sistematik bir yaklaşıma ihtiyaç vardır. Bu aşamalar sırasıyla, problemin tanımlanması ve incelenmesi, alternatif çözümlerin bulunması, seçeneklerin değerlendirilmesi ve ayrıntılı yerleşim planının oluşturulmasıdır (Su ve Aslan, 1997).

Şantiye yerleşimine genellikle inşaatın başlangıç aşamasında ihtiyaç duyulur. Bunun yanında daha önceki bölümde sözedilen projede meydana gelen değişiklikler, malzeme akışındaki aksamalar ya da iş kazalarındaki artış gibi nedenlerle belli bir aşamadan sonra yeni bir yerleşime gereksinim duyulabilir. Problemin tanımlanması aşamasında, sorunun çıkış şekli ve nedenleri araştırılır. Mevcut koşullar veri olarak, arzu edilen sonuçlar çıktı olarak kabul edilir. Tanımı yapılan problemin özellikleri ve probleme ait kısıtların incelenmesi de bu aşamada yapılır.

Şantiye şefi ya da yöneticilerin deneme-yanılma, deneyim ya da sezgileriyle karar verdikleri şantiye yerleşiminde, doğru karar vermek için alternatiflere ihtiyaç duyulur. Alternatif çözümlerin araştırılması aşamasında, karar vermek için, iş süreci ile ilgili bilgiler, kanunlarla getirilmiş kısıtlar, malzeme ve ekipmanla ilgili veriler, gerekli tesisler ve bu tesislerin şekil ve büyüklükleri ile şantiyede bu tesislerin yerleştirilebilecekleri yerlere ait bilgiler gereklidir. Tesisler arası yakınlık derecesi ve boş yerler arasındaki uzaklıklar da alternatif çözümler üretilmesi için bilinmesi gerekenler arasındadır.

Alternatif çözümler arasında en doğru yerleşime karar vermek için alternatiflerin kıyaslanması gerekir. Kıyaslamanın yapılabilmesi için belli kriterlere ve bir amaç fonksiyonuna ihtiyaç vardır. Amaç fonksiyonu, sadece karşılaştırma yapılabilecek kriterlerden farklı olarak, ölçülebilir olmalıdır. Şantiye yerleşiminde, daha çok, malzeme taşıma maliyetlerini en aza indirmek amaçlanır. Malzemenin yanında personelin gidiş-geliş uzaklığının en aza indirilmesi de amaç fonksiyonu olarak kabul edilebilir.

Alternatiflerin kıyaslanması sonucu yerleşime karar verilir ve düzenlemeye ait rapor ile ayrıntılı plan hazırlanarak süreç tamamlanır.

İşyeri düzenleme aşamalarına ilişkin bir yaklaşım da Tompkins ve arkadaşları (1996) tarafından önerilir. Buna göre, ilk olarak, tesis amaçlarının (düzenlemeye ilişkin) tanımlanması yapılmakta ve sonrasında ana faaliyetlerin belirlenme-

si, yan faaliyetlerin belirlenmesi, faaliyetlere ilişkin alanların saptanması, faaliyetler arası ilişkilerin belirlenmesi, alternatif düzenleme tasarımlarının geliştirilmesi, alternatiflerin değerlendirilmesi ve seçilen alternatiflerin değerlendirilmesi ile süreç tamamlanmaktadır.

4.2.1 Problem tanımı

Şantiye yerleşim problemi, teoride ve pratikte önemli bir yer tutmaktadır. Bu amacı gerçekleştirmek için;

- Şantiyede gerekli geçici tesislerin belirlenmesi,
- Bu tesislerin şekil ve büyüklüklerine karar verilmesi,
- Tesislerin yerleştirilmesi (genellikle şantiye sınırları içerisinde)

gerekir. Tavakkoli-Moghaddin ve Shayan (1998) yerleşim problemlerini, sabit yatırım ve akış maliyetlerinin en küçüklenmeye çalışıldığı bir atama işi olarak tanımlar. Yerleşim yapılırken, mevcut malzeme, makine, teçhizat, işgücü gibi kaynakların aralarındaki akış miktarları (malzeme taşınması, personel gidiş-geliş sıklığı vb.) ile birbirlerine olan uzaklıklarına bağlı olan taşıma maliyetini en aza indirmek amaçlanır.

Uzun süreli inşaatlarda kimi zaman tesis yerlerinin değiştirilmesi gerekir. Bu durumda, tesislerin doğru zaman dilimlerinde doğru yerlere yerleştirilerek bunlarla ilgili maliyetleri minimuma indirmek amaçlanır. Bu duruma büyük baraj inşaatlarında ya da karayolu inşaatlarında rastlanır. Bu açıdan yerleşim problemi ikiye ayrılır. **Statik tesis yerleşim problemleri**, çeşitli yerleşim bölgelerine farklı tesislerin atanması ile ilgili toplam akış maliyetini en aza indirger (Rosenblatt, 1986). Eğer belli zaman periyotlarında tesislerin yerlerinin değiştirilmesi gerekiyorsa, bu maliyetlere yeniden düzenleme maliyeti de eklenir⁷. **Dinamik tesis yerleştirme problemi**, akış maliyetine ek olarak yeniden yerleşim maliyetini de en küçüklemeyi amaçlar.

⁷ Yeniden düzenleme maliyeti yeni tesisin açılması ve eskinin kapatılması giderlerini içerir.

4.2.2 Yer tanımlanması

Bütün yerleştirme problemlerinde yerleşim yapılacak sınırlı bir yer ve boyutları belirli tesisler bulunur. Bu yüzden yer tanımlanması yerleştirme problemlerinin önemli bir kısmını oluşturur. Yer üç farklı şekilde tanımlanabilir (Liggett, 2000):

- Ayrık obje olarak,
- Alan olarak,
- Alan ve şekil olarak.

Yer tanımlanma şekli hem problemin formüle edilmesini hem de çözüm yöntemini etkiler.

Yerin ayrık obje olarak tanımlanması her bir tesisin sadece bir yere atandığı durumlar için uygundur. Tesislerin boyut ve şekilleri önemli değildir. Bu tip problemlere örnek olarak taşınabilir tesislerinin şantiyeye yerleştirilmesi ya da çalışanların mevcut ofislere dağıtılması gösterilebilir.

Tesislerin boyut veya şekillerine bağlı olarak bazı yerlere yerleştirilmesi mümkün değilse, yerin alan olarak tanımlanması gerekir. Birden fazla çalışanın aynı ofise dağıtılabilmesi ya da istiflenecek malzemelerin yerine karar verilmesi gerektiği durumlarda yer, alan olarak tanımlanır.

Yerin en zor tanımlanma şekli ise hem alan hem de şekil olarak tanımlanmasının gerektiği durumlardır. Tesis, planda, bir poligon halinde gösterilir. Poligon, gerekli alanı sağlamak koşulu ile her şekli alabilir. Yer tanımlaması problemin önemli bir kısmını oluşturur.

4.2.3 Tesisler arası ilişkilerin belirlenmesi

Tesislerin yerleştirilmesi tesisler arası iş akışı sıklığı, personel ilişkisi derecesi, aynı ekipman kullanımı, aynı alanın kullanımı, aynı kayıtların kullanımı ve bilgi akışına bağlıdır. Akışlar nicel ya da nitel olarak ifade edilebilir. Tesisler arası yoğun malzeme, personel ya da bilgi akışı olması durumunda nicel, buna karşın, daha küçük bir hacimde yüksek düzeyde iletişim veya görsellik olması halinde nitel ölçütler kullanılır (Su ve Aslan, 1997).

4.2.3.1 Nicel ilişkiler

Tesisler arası sayısal olarak ölçülebilir bir akış olması durumunda nicel bir ilişki söz konusudur. Yerleşimi yapılacak n adet tesis belirlendikten sonra tesisler arası akışı gösteren $n \times n$ boyutlu kare matris oluşturulur. Matrisin satır ve sütunları belirlenen tesisleri gösterir. Satır ve sütunların kesiştikleri yerlere o tesisler arasındaki akış miktarı **ortak bir ölçüt cinsinden** yazılır. Oluşturulan bu matrise akış matrisi denilir (Tablo 4.1).

Tablo 4.1 Tesisler arası akış matrisi

	1	2	3	4
1	0	12	7	10
2	6	0	10	1
3	3	10	0	4
4	0	14	11	0

Matris hazırlanırken belli bir zaman periyoduna ait sayısal ölçüler esas alınır (bir günlük, bir aylık vb.). Tablo 4.1’de 1, 2, 3 ve 4 tesisleri arasındaki akış miktarları görülmektedir. Bu akış matrisine göre, tanımlanmış zaman periyodu içinde, 1 tesisinden 2 tesisine akış 12 birim iken 2 tesisinden 1 tesisine akış 6 birimdir. Akış matrisleri simetrik olmak zorunda değildir.

4.2.3.2 Nitel ilişkiler

Tesisler arası nitel ilişkiler yakınlık ilişkisi sembollerine göre ifade edilir. Yerleştirilmesi yapılacak n adet tesis belirlendikten sonra tesisler arasında yakınlık ilişkisini belirleyecek sembollere karar verilir. “mutlaka gerekli, özellikle gerekli, önemli, normal, önemsiz ya da istenmez” ifadelerine karşılık gelen semboller ve yakınlık ilişkisinin belirlenmesi için gerekli ölçütler belirlenir. Bunlara göre tesisler arası nitel ilişkiler belirlenir.

4.2.4 Yerleşimin gösterimi

Amaç fonksiyonu ve kısıtlara göre üretilen alternatif yerleştirmeler permütasyon matrisi, grafik veya dizi şeklinde gösterilebilir. Permütasyon matrisinin satır ve sütunlarında sırasıyla tesis ve yerler bulunur. Her satır ve her sütun-

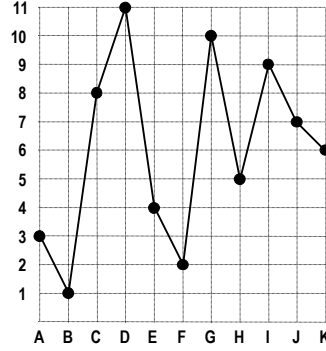
da birer adet “1” değeri bulunur ve bu “1” değeri o satırdaki tesisinin o sütundaki yere atandığını ya da tam tersi o sütundaki yerin o tesis için ayrıldığını belirtir. Örneğin, Tablo 4.2 ’de görülen permütasyon matrisine göre 1 tesisi B yerine, 2 tesisi F yerine atanmış demektir.

Tablo 4.2 11 tesisli yerleşime ait permütasyon matrisi

		Yer										
		A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
Tesis	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	2	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0
	3	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	4	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
	5	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0
	6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
	7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0
	8	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
	9	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
	10	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0
	11	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0

Grafik şeklinde gösterimde x eksenı yerleri, y eksenı ise tesisleri göstermektedir. Yukarıdaki yerleştirmenin grafik gösterimi Tablo 4.3 ’de görölmektedir.

Tablo 4.3 11 tesisli yerleşimin grafik gösterimi



Aynı yerleşimin dizi şeklinde gösterimi ise Tablo 4.4’de görölmektedir.

Tablo 4.4 11 tesisli bir yerleşime ait dizi gösterimi

Tesis	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Yer	B	F	A	E	H	K	J	C	I	G	D

4.3 Şantiye Yerleşimi İle İlgili Yapılmış Çalışmalar

İnşaatın üretim zamanı ve maliyetini önemli ölçüde etkilemesine rağmen, şantiye yerleşimi, tanımının ve çözümünün zor olması nedeniyle yeterince ilgi çekmez. Genellikle ihmal edilen şantiye yerleşimine, deneyim, deneme-yanılma, sezgiye dayanılarak ya da inşaat ilerledikçe ihtiyaca ve o anda mevcut boş yerlere göre karar verilir. Sektörün karmaşık ve özel yapısı nedeniyle problemin tanımlanmasının zor oluşu, şantiye yerleşimi için çözüm önerisi sunmayı daha da zorlaştırır. Yapılan ilk çalışmalar bir çözüm önerisi sunmaktan çok rehber niteliği taşıyor ve yerleşim yapılırken dikkat edilmesi gereken noktaları aktarır (*Tommelein et al., 1991'den; Dressel, 1963; Chandler, 1978; Parsons and Pachuta, 1980; Popescu, 1980; Neil, 1980, 1982; Rad and James, 1983; Handa and Lang, 1987, 1988, 1989*). Bu bilgiler yerleşimi yapacak kişi için gerekli ancak yeterli değildir çünkü yerleştirilecek tesis sayısına göre yerleştirme alternatifleri eksponansiyel olarak artar. n adet tesis ve n adet yerleştirilecek yer olması durumunda $n!$ adet seçenek oluşur. Örneğin, sadece 6 adet tesisin olduğu bir şantiyede 720 farklı yerleşim yapılabilir. Bu nedenle yerleşim için alternatifler üretecek programlara ihtiyaç duyulur.

Şantiye yerleşimine yönelik ilk çalışmalar, servis yolu, kule vinç ya da beton santrali gibi tek bir yerleşime yöneliktir (Tommelein et al., 1991'den; Gates and Scarpa, 1978; Maher and Stark, 1981; Rodriguez-Ramos, 1982; Rodriguez-Ramos and Francis, 1983; Stark and Mayer, 1983). Kusiak ve Heragu (1987), şantiye yerleşimini matematiksel olarak ifade etmek için ayrıntılı bir çalışma yapar. Bu gelişmeye bağlı olarak artan analitik çözüm önerileri sonuç vermekte, buna karşın, sadece az sayıda veri için uygun olduğundan gerçek proje ihtiyaçlarına karşılık verememektedir (Christofides and Benavent, 1989). Bir sonraki aşamada, çok sayıda veri için sezgisel yöntemler geliştirilmeye başlanır.

Sezgisel yöntemler, geliştirici ve iyileştirici olmak üzere ikiye ayrılır (*Moore, 1980*). **İyileştirici metotlar**, belirli bir başlangıç yerleşiminde ikili yer değiştirmeler yaparak daha iyi çözüme ulaşmaya çalışır. Bu yöntemlerde yerel optimumlara takılma olasılığı vardır. Bu duruma karşı, istenilen amaç fonksiyonu değerini belli bir oranda düşürmek veya bazı kısıtları pasif hale getirmek gibi yöntemler kullanılsa da, iyileştirme yöntemleri hiçbir zaman en iyi çözümü garanti etmez. *Muther (1961), Armour ve Buffa (1963), Buffa ve arkadaşları (1964), Vollman ve Buffa (1966)* iyileştirme yöntemlerini çalışmalarında kullanmaktadır (*Tommelein et al., 1991*). **Geliştirici yöntemlerde** ise yerleşimi yapılacak tesisler

belli bir sıraya göre ele alınır, o tesise uygun yer belirlenir ve daha sonra diğer bir tesisin yerleştirilmesine geçilir. Bütün tesisler yerleştirilene kadar bu süreç devam eder. Tesislerin yerleştirilmesi, genellikle, tesislerin boyutları esas alınarak büyüktен küçüğe doğru yapılır. Lee ve Moore (1967), Seehof ve Evans (1967), Rodriguez-Ramos (1982) geliştirici yöntemler üzerine çalışmalar yapar (Tommelein et al., 1991). Yöneylem araştırması metotları arasında sayılabilecek bu yöntemlerin, çok fazla matematiksel teknik, formül ve kısıt tanımlamaları gerektirmesi kullanımı zorlaştırır. Bu nedenle, şantiye yerleşim probleminin çözümü için metasezgisel yöntemlerin de kullanım olasılıkları araştırılmaya başlanır.

Tommelein ve arkadaşları (1991) çalışmalarında, şantiye şefinin yerleşim yaparken attığı adımları ve yerleşimle ilgili dikkat ettiği hususları inceler ve böylece insan düşüncesi ve kavraması üzerine bilgiler elde eder. Sonraki aşama olarak, bilgisayarın hesaplama ve veri saklama kapasitelerini inceleyen yazarlar, problem çözümünde insan davranışlarını taklit eden ve aynı zamanda bilgisayarın hesap yapma üstünlüğünü kullanan bir sistem geliştirir. Her iki tarafın üstün niteliklerini taşıyan sistemin, daha iyi yerleşim seçenekleri sunduğu görülür.

Tommelein ve arkadaşları (1992a) bir diğer çalışmalarında, yapay zeka tekniklerinin şantiye yerleşiminde kullanımını inceler ve bu tekniklerin bilgisayar kapasitesi ile uygulamadaki bilgiler arasındaki boşluğu kapatarak daha iyi çözümler üretebileceğini söyler. Çok sayıda veri için de kullanılabilen yapay zeka uygulamalarının, şantiye yerleşimi probleminin çözümünde kullanımı hızla artmaya başlar.

Tommelein ve arkadaşları (1992b) bir başka çalışmalarında, SightPlan adını verdikleri bir program geliştirir. Sistem, şantiye yerleşimine ait bilgileri bilgi tabanlı bir sistemde saklar. Yerleştirilecek tesisleri iki boyutlu olarak tarif eden sistem, şantiye yerleşiminde şantiye şefinin yerleşimde izlediği adımları taklit ederek çözüme ulaşır. Örnek iki şantiye üzerinde yapılan çalışmalar, geliştirilen sistemin diğer şantiye yerleşimleri için de kullanılabilir olduğunu gösterir.

Problem çözümü için, *Tommelein ve arkadaşları (1992a, 1992b)* insan algılaması ile bilgisayar kapasitesini birleştirirken, *Yeh (1995)* SitePlan adını verdiği, şebeke ve ısıl işlem algoritmasını birleştirdiği melez bir sistem önerir. Problem verileri olarak, kurulacak tesisler arasındaki akış, boş yer komşulukları ve tesislerin mevcut boş yerlere kurulma maliyetleri kullanılır. Problem çözümünde etkili olan faktörler incelenerek, özellikle ısıl işlem algoritmasındaki başlangıç sıcaklığı,

olasılık katsayıları ile ceza katsayısının çözüm kalitesini etkilediği sonucuna varılır. Yaklaşımın en önemli kısıtları, yer ve tesis sayısının eşit sayıda olmaması durumunda yapay tesis tanımına gereksinim duyulması ve yerleştirilecek tesislerin şekillerinin belirli olmasının gerekliliğidir.

Önerilen yöntemlerde, tesis şekil ve büyüklüklerinin genellikle ihmal edildiği ve her boş tanımlanan yere her tesisin sığabileceği kabulünün yapıldığı görülmür. Tesis şekil ve büyüklüklerinin eşit olmadığı durumlar için, *Tate ve Smith (1995)* genetik algoritma kullanılan bir yöntem önerir. Yöntemde, tesis şekillerinin belirlenmesi için ceza fonksiyonu kullanılır ve gerekli kısıtlar tanımlanır. Yerleşim yapılacak alan karelej yapılarak bölünür ve böylece tesis şekillerine göre yerleşim mümkün olur.

Cheng ve Connor (1996) tarafından geliştirilen ArcSite, coğrafi bilgi sistemi ve veri tabanı kullanan otomatik şantiye yerleşim sistemidir. Şantiye şefi ve yöneticilerinin yerleşim için kullandıkları bilgi ve prosedürleri veri tabanına aktaran sistem, bu bilgileri kendi içinde düzenler, yerleşimde etkili değişkenlere karar verir ve amaç fonksiyonunu belirler. En son aşamada, coğrafi bilgi sistemi kullanılarak şantiye yerleşimi yapılır. Şantiye yerleşiminin güncellenmesinin kolay olması, kullanıcıya uygun arayüz sağlanması ve bütün tesisler arasındaki akışların dikkate alması sistemin avantajlarıdır. Buna karşın, sistem, en fazla 25 tesise kadar çözüm yapabilmekte ve yapı makinelerinin yerleşimini dikkate almamaktadır.

İnsan algılayışının taklit edildiği melez sistemler yanında yapay zeka uygulamaları da şantiye yerleşim probleminin çözümünde sıkça kullanılmaya başlanır. *Li ve Love (1998)* eşit sayıda tesis ve yer tanımlanmış bir şantiye yerleşimini karesel atama problemi olarak formüle eder ve genetik algoritma kullanarak çözüme ulaşır. Çalışmada, genetik algoritmalarındaki popülasyon sayısı, çaprazlama ve mutasyonun çözüme etkisi incelenir.

Tesis yerleşim problemine atama problemi olarak yaklaşan bir diğer çalışma *Chiang ve Chiang (1998)* tarafından yapılır. Çalışmada, tabu arama, olasılık tabu arama, ısıtma işlem algoritması ve melez tabu arama olmak üzere dört yöntem kullanılır. Yöntemler belli bir hesaplama süresi içinde ürettikleri çözüm kalitesine göre değerlendirilir. Tabu arama ve ısıtma işlem algoritmasının üstünlüklerini kullanan melez sistemin daha iyi sonuçlar ürettiği gözlenir.

Kochhar ve arkadaşları (1998) yaptıkları çalışmada, eşit alana sahip olmayan tesislerin çözümü için HOPE (Heuristically Operated Placement Evolution) tekniğini önerir. Yaklaşımında, diğer yöntemlerde ihtiyaç duyulan ilk yerleşime gerek yoktur. Genetik algoritma kullanılan yöntemde, başlangıç çözümü algoritma tarafından rasgele üretilir ve tesisler arası akış maliyetinin kullanıcılar tarafından değiştirilmesine izin verilir. Tesis şekillerinin ve büyüklüklerinin farklı olması ile bazı tesislerin yerinin sabit tarif edilmesine de olanak sağlayan teknik, yerleşim için iyi çözümler sunar.

Tesis şekillerinin tam belli olmaması durumu için bir başka yaklaşım, **Hegazy ve Elbeltagi (1999)** tarafından önerilir. Problem çözümünde üç önemli nokta dikkat çeker. Bunlardan ilki, programın her türlü boş alan tarifini yapabilecek şekilde tasarlanmasıdır. Şantiye alanında karelaj yapılı ve bu sayede tesisler şekillerine göre yatay ve düşey birimlere yerleştirilerek tanımlanabilir. İkinci önemli nokta ise tesislerin birbirleriyle yakınlık derecelerinin kullanıcı tarafından belirlenmesine izin verilmesidir. En son olarak da genetik algoritma kullanılarak çözüme ulaşılır. EvoSite adı verilen programın problemin çözümüne en önemli katkısı, boş alanların kare ya da dikdörtgen gibi belirli bir şekilde tanımlanması gerekliliğini ortadan kaldırmasıdır. Buna karşın, tekniğin, çözüme ulaşmak için harcadığı zaman uzayabilir.

Zouein ve Tommelein (1999) yaptıkları çalışmada, dinamik yerleşim problemi için bir çözüm üretir. Yaklaşımında, her kaynak için kısıtları sağlayan yerleşim seçenekleri belirlendikten sonra kurulum ve taşıma maliyetlerini minimum yapan yerleştirme, lineer programlama kullanılarak belirlenir. Yaklaşım, belirlenmiş global amaca ulaşmada yetersiz olsa da, yerleşim alternatifleri sunma açısından yardımcı olmaktadır.

Li ve Love (2000) yaptıkları çalışmada, eşit büyüklüğe sahip olmayan tesisler için genetik algoritma ile bir çözüm üretir. Çalışmada, geliştirilmiş mutasyon ve çaprazlama kullanılır. Popülasyon büyüklüğünün çözüme etkisinin de incelendiği çalışmada, belirli tesislerin belirli yerlere atanması ya da belirli tesislerin belirli yerlere sabitlenmesi kısıtlar yardımıyla tanımlanır. **Yeh (1995)**'in örneği alınarak yapılan sayısal çalışmada, algoritmanın iyi çözümler ürettiği görülmektedir.

Elbeltagi ve Herzagy (2001) şantiye yerleşimi için bir melez sistem geliştirir. Yöntemde, bilgi tabanlı sistem şantiyede gerekli tesisleri ve bu tesislerin büyüklüklerini belirlemeye yarayacak bilgiyi depolar ve kullanır. Sistemde, ayrıca,

tesis yakınlık derecelerinin iş akışı, güvenlik derecesi ve kullanıcı tercihinine göre belirlemeye yarayacak bulanık mantık sistemi de bulunur. Genetik algoritma ile yazılan program, gerçek problem verileri için, kısa sürede çözüme ulaşır.

Elbeltagi ve arkadaşları (2001) tesis tanımlanması için bilgi tabanlı bir sistemin bulunduğu, yakınlık derecelerindeki belirsizliğin bulanık mantık yardımı ile giderildiği, şekillerinin gösteriminin esnek olduğu ve optimum yerleşimin genetik algoritma ile arandığı bir model kurar. Modelin en önemli üstünlüğü, yerleştirme seçeneklerinin araştırılması sırasında iş programına bağlı olarak gerekli tesislerin belirlenebilmesidir. Gerçek problem verileri ile yapılan çalışma, modelin iyi sonuçlar ürettiğini göstermektedir.

Tesis yerleşiminin iş programına göre yapılması için bir diğer yaklaşım da **Zouein ve Tommelein (2001)** tarafından geliştirilir. İş kalemlerine göre ihtiyaç duyulacak tesisler için kaynaklar dikkate alınarak alternatif yerler belirlenir. Modeldeki sezgisel iyileştirme algoritması ile uygun yer olmaması durumunda, iş programının değiştirilmesi sağlanır. Zaman-yer dengelemesinin yapıldığı modelin iyi çözümler ürettiği bir uygulama ile kanıtlanır.

Şantiye yerleşimi kadar belli bir yapı makinesi ya da depo yerinin belirlenmesi de araştırmacıların dikkatini çekmektedir. Kule kren ve malzeme yerlerinin belirlenmesinin amaçlandığı bir yaklaşım **Tam ve arkadaşları (2001)** tarafından önerilir. Genetik algoritma kullanılan model, malzeme, kule kren ve talep yerlerinin koordinatlarının 3 boyutlu tarif edilmesine olanak sağlamaktadır. Önerilen algoritma ile yapılan yerleşim, ilk yerleşime kıyasla, kule krenin çalışma zamanını %18 oranında azaltmaktadır.

Prefabrik elemanların depo edileceği yeri belirlemek için **Cheung ve arkadaşları (2002)** genetik algoritma kullandıkları bir model önerir. Amaç fonksiyonu olarak belirli günlük üretim ihtiyacı için taşıma zamanının en aza indirilmesi alınır. Önerilen model ile kaynaklar arası taşıma süresinde, ilk yerleşime göre, %18.45 oranında iyileştirme sağlanır.

Tesis şekillerinin belirli olmasına karşın büyüklüklerinin farklı olması da çözüm yönteminde değişiklikleri gerektirmektedir. **Zouein ve arkadaşlarının (2002)** yaptığı çalışmada şantiye yerleşimi problemi, tesislerin büyüklükleri yanında yakınlık dereceleri ve iki boyutlu geometrik kısıtları da dikkate alınarak ele alınır. Genetik algoritma ile geliştirilen modelde, rasgele üretilen başlangıç çözü-

münün iyileştirilerek kullanılması ve kötü kromozomların hafızada saklanması ile yerel optimumlara takılma engellenir. Algoritma, örnek problemlerde kısa sürede optimum sonuca ulaşır.

Şantiye alanı ve tesis şekillerinin tanımlanması için koordinat sisteminin kullanılmasını öneren *Mawdesley ve arkadaşları (2002)* genetik algoritma ile probleme bir başka yaklaşım getirir. Şantiye alanı ve tesisler koordinat takımı üzerinde tanımlanır. Tesisler arasındaki uzaklık, oluşturulan koordinat sistemi ve koordinatlara dayanılarak, Manhattan veya Öklid yöntemlerinden birine göre belirlenir. Tesislerin üst üste gelmemesini kısıtlarla sağlayan yaklaşım, çaprazlama ve mutasyon operatörlerini kullanılarak çözümlere kısa zamanda ve az nesille ulaşır.

Zhang ve arkadaşları (2002) şantiye yerleşimi simülasyonu için melez bir sistem geliştirir. Yaklaşımda, şantiye yönetimi için bir bilgi modeli oluşturulup yapay sinir ağları ile çözüm elde edilir. Model, gerçek problem verileri ile denenir ve şantiye yöneticileri için kullanışlı ve pratik olduğu görülür.

Şantiye yerleşimi problemi, belirsizlik ve varyasyonlar içermesi nedeniyle çok amaçlı bir problem olarak da tanımlanabilir. *Thomas ve arkadaşları (2002)*, bulanık mantık ile bu belirsizlikleri ele alarak hem şantiye yöneticisinin deneyimlerini hem de bilgisayarın problem çözme yeteneğini birleştirecek bir model önerir. Yöneticilerin sistematik bir yaklaşım ile karar vermelerini sağlayan modelin iyi çözümler ürettiği örnek veriler üzerinde görülür.

İnşaat işlerinde yüzlerce işlem olması nedeni ile zamana bağlı olarak gerekli olacak tesislerin ve büyüklüklerinin belirlenmesi zordur. *Akıncı ve arkadaşları (2002)* yaptıkları çalışmada, benzer işlemleri örnek alarak gerekli tesisler ve bu tesislerin alanlarını belirler. Planlamada zamanı dikkate alınarak 4-boyutlu üretim modeli oluşturulur. Yöntem, dizayn ve inşaat bilgilerinin daha etkin kullanılmasını sağlamakta ve kullanıcının veri girişini azaltmaktadır.

Mawdesley ve Al-Jibouri (2003) genetik algoritma kullandıkları modellerinde, çaprazlama ve mutasyonun çözüme etkisini inceler ve değerlendirir. *Yeh (1995)*'in örneği, dört çaprazlama ve dört mutasyon operatörü kullanılarak çözülmüş ve mutasyon uygulanmamasının sonuç açısından daha iyi olacağı görülmüştür. Mutasyon operatörünün algoritmanın yerel optimumlara takılmasını engellediği düşünüldüğünden sonuç şaşırtıcı bulunur.

Genetik algoritmanın kullanıldığı bir çalışma **Tam ve Tong (2003)** tarafından yapılır. Kule vincin hareket zamanı ve maliyetini minimum yapacak yerin belirlendiği çalışmada, vincin lineer olmayan hareketi yapay sinir ağları ile modellenir.

Şantiye alanı ve tesislerin büyüklüklerinin koordinat takımı ile tanımlandığı bir çalışma **Osman ve arkadaşları (2003)** tarafından yapılır. Modelde, şantiye alanı ve geometrik problem kısıtlarının tanımlanması için matematiksel formüller yerine CAD kullanılır. Yaklaşımda toplam taşıma uzaklığının minimize edilmesi için genetik algoritma kullanılır. CAD kullanılarak geliştirilen melez sistemin, kullanıcılar için, pratik olduğu görülür.

Şantiye yerleşiminin CAD ile yapıldığı bir başka çalışma da **Sadeghpour ve arkadaşları (2004)** tarafından yapılır. Modelde dört önemli özellikten ilki, uzmanların şantiye yerleşimi ile ilgili bilgi ve deneyiminin modele aktarıldığı bir veri setinin bulunmasıdır. Veri seti geribildirimlerle beslenmekte ve güncellenebilmektedir. Bunun yanında, modelde, daha önceki projelere ait bilgilerin kullanılmasını sağlayacak kütüphaneler bulunmakta, şantiye alanı geometrik olarak analiz edilmekte ve şantiye yerleşimini yapacak kişiye kullanma kriterlerine göre seçim yapabilme şansı tanınmaktadır. Model, iki örnek üzerinde denenir ve kısıtları sağlama yönünden başarılı olur.

Soltani ve Fernando (2004) şantiye yerleşiminde şantiye yollarını çalışma konusu yapar. Amaç olarak insan ve araç hareketlerinde taşıma maliyetinin en aza indirilmesi kabul edilir. Model, maliyet, şantiye güvenliği ve yolların görünübilirliği faktörlerini bulanık mantık ile birleştirmekte ve tanımlanan önceliklere göre yerleşimi yapabilmektedir.

Şantiye yerleşiminde güvenlik ve üretimi ele alan bir çalışma da **Elbeltagi ve arkadaşları (2004)** tarafından yapılır. Modelde, şantiye güvenliği faktörleri ele alınır ve güvensiz koşullar belirlenir. Bunun için, şantiye güvenliği ile ilgili geçici tesisler tanımlanır ve şantiye etrafında güvenlik sınırları belirlenir. Son olarak, tesisler arası yakınlık dereceleri dikkate alınarak optimum yerleşim yapılır. Modelin uygulanabilirliği bir örnek üzerinde gösterilir.

Lam ve arkadaşları (2005) yaptıkları çalışmada şantiye yerleşiminde dört faktörü dikkate alır; iş akışı, personel akışı, güvenlik ve çevre, kişisel tercihler. Tüm bu verilerin değerlendirilmesi ve sonuç olarak tesisler arası yakınlık derece-

sinin bulunabilmesi için bulanık mantık ve entropi teknikleri kullanılır. Toplam taşıma uzaklığının en aza indirilmesi amaçlanır ve çözüm için genetik algoritma kullanılır. Modelin uygun çözüm üretmekte olduğu görülür.

Şantiye yerleşiminde birden fazla faktörün ele alındığı bir başka çalışma da *Ma ve arkadaşları (2005)* tarafından yapılır. 4D-ISPS yönteminde, 4 boyutlu CAD kullanılır. İş programı, 3 boyutlu modeller, kaynaklar ve şantiye alanının entegre edildiği yöntem, bir örnek üzerinde kullanılır.

Yapılan çalışmalarda birden çok faktörün dikkate alındığı görülmektedir ancak bu faktörler için ayrı amaç fonksiyonlarının tanımlandığı çalışma *El-Rayes ve Khalafallah (2005)* tarafından yapılır. Amaç fonksiyonu, şantiye güvenliğinin maksimum, toplam taşıma mesafesinin minimum olması olarak tanımlanır. Model, değişkenler ve amaç fonksiyonunun tanımlanması, kısıtların belirlenmesi ve sağlanması ile genetik algoritma ile çözüm üretilmesi olarak üç aşamadan oluşur ve bir örnek üzerinde uygulanır.

Sadeghpour ve arkadaşları (2006) şantiye yerleşiminde CAD'i daha etkin kullanmak üzere bir model önerir. Yöntem, şantiye alanının tanımlanması ve şantiye alanı yerleşimi olmak üzere iki aşamada çözüm üretir. Model, veritabanı, proje ve yerleşim kontrol modülünden oluşmakta ve yerleşim yaparken kullanıcının kendi bilgisini de kullanmasına izin vermektedir. Örnek üzerinde uygulanan sistemin kısa sürede uygun çözüm ürettiği görülür.

Dinamik şantiye yerleşim probleminin çözümünde KKO'nu kullanan *Gharaie ve arkadaşları (2006a)* personel, malzeme akışı ve yeniden düzenleme maliyetini en aza indirmeyi hedefler. Çalışmada eşit büyüklükte sekiz adet tesisin yerleşimi KKO'na göre yapılır. Geliştirilen algoritma, literatürdeki bir örnek üzerinde uygulanır ve mevcut çözüme göre daha uygun sonuçlar üretir.

Gharaie ve arkadaşları (2006b) yaptıkları bir diğer çalışmada, dinamik şantiye yerleşiminde KKO'yu kullanır. Proje süresince zaman dilimleri oluşturularak, her bir zaman diliminde gerekli tesis ve kaynaklar belirlenir. Model, tesislerin yer kısıtları ve yeniden düzenlenme maliyetlerini de dikkate alır. Literatürdeki bir örnek üzerinde uygulanan yöntemin daha uygun çözümler ürettiği görülür.

Dinamik şantiye yerleşim probleminde KKO'nun kullanıldığı bir başka çalışma da *McKendall ve Shang (2006)* tarafından yapılır. Modelde, karınca sistemi

ve ısıtma işlem algoritmasının kullanıldığı melez sistemler geliştirilir. Amaç fonksiyonu, stok ve yeniden düzenlenme maliyetlerinin en aza indirilmesi olarak tanımlanmaktadır. Geliştirilen sistemler iki veri seti üzerinde denenip kıyaslanır. Modellerin uygun çözümler ürettiği görülür.

Şantiye yerleşim probleminin çözümü için *Lam ve arkadaşları (2007)* da KKO'nu kullanır. Tesisler arasındaki yakınlık derecelerinin bulunmasında iş ve bilgi akışı, güvenlik, çevre ve kişisel tercihler göz önünde bulundurulur. Şantiye çalışanları arasında uygulanan anketin sonuçları, bulanık mantık ve entropi tekniklerinin kullanımı ile yakınlık derecelerinin belirlenmesinde kullanılır. Geliştirilen modelin orta büyüklükte şantiyeler için optimum yerleşimi sağladığı görülür.

Jang ve arkadaşları (2007) katlar bazında malzeme yerleşimini de şantiye yerleşim problemi olarak ele alır. Şantiye alanında yatay uzaklıklar söz konusu iken katlar arası malzeme yerleşiminde hem yatay hem de düşey taşıma mesafeleri hesaba katılmaktadır. Genetik algoritma ile kodlanan model, uygulandığı örnek projede, stoklama uzaklıklarında %14 azalma sağlar.

Lu ve arkadaşları (2007) STROBOSCOPE adını verdikleri modellerinde, dinamik şantiye yerleşim problemi ile simülasyon metotlarını birlikte kullanır. Çalışmada, aktivite noktaları arasında işlem-haritalama uygulanır. Şantiyedeki kaynak ve iş akışı, kaynak kısıtları ve teknoloji desteği ile ortaya konulur. Yöntem, simülasyon metotları ile pratikte kullanıma uygun hale getirilir.

Sanad ve arkadaşları (2008) şantiye yerleşiminde çevre ve güvenlik faktörlerinin ele alındığı bir çalışma yapar. Yöntem, genetik algoritma ile kodlanır ve gerçek bir proje üzerinde test edilir. Bu uygulamada, ilk olarak, şantiye alanında karelej yapılır ve güvenlikle ilgili sınırlar çizilir. Tesisler arası uzaklıklar varolan yollar üzerinden ölçülerek elde edilir ve son olarak yakınlık derecelerinin belirlenmesinde bulanık mantık kullanılır. Modelin uygun çözümler ürettiği görülür.

Easa ve Hossain (2008) yaptıkları çalışmada şantiye alanını ikiye böler; önceden varolan tesislerin bulunduğu uygun olmayan bölge ve yerleşim yapılabilecek uygun bölge. Uygun bölgede fiziksel ve işlevsel kısıtlarına göre tesisler yerleştirilir. Bu aşamada yerler arası uzaklıklar Öklid veya Manhattan uzaklıkları dikkate alınarak hesaplanır. Önerilen yöntemin kolay kullanımı olduğu ve uygun çözümler ürettiği görülür.

Zhou ve arkadaşları (2009) tünel inşaatı şantiyesinde yerleşim problemini ele alır ve bu şantiye türüne özgü kısıtları kullanır. Çalışmada simülasyon yöntemleri ve genetik algoritma birlikte kullanılır. şantiye alanı poligon, tesisler ise dikdörtgen olarak tanımlanır. Model, gerçek bir proje üzerinde test edilir ve geçerliliği görülür.

El-Rayes ve Said (2009), dinamik şantiye yerleşimi için, işletim, organizasyon ve güvenliğe ait kısıtların dikkate alındığı, yaklaşık dinamik programlama modeli geliştir. Çalışmada, mevcut ve ileride olması gereken şantiye yerleşimlerine ait maliyetlerinin minimize edilmesi amaçlanmaktadır. Mevcut maliyetler, daha önce yapılan seçimlere ait bilginin depolandığı durum vektörüne bağlı katkı fonksiyonuyla hesaplanırken, ileride oluşacak maliyetler regresyon faktörleri kullanılarak tahmin edilmektedir.

5. ŞANTIYE YERLEŞİMİ İÇİN KKO-PA YAKLAŞIMI

KKO algoritmasında çözüm genellikle iki adımda yapılır. Karınca, çözümü, feromon ve sezgisel bilgiye dayanarak ve kısıtları sağlayacak şekilde oluşturur. İlk olarak ataması yapılacak tesis seçilir, daha sonra atamanın yapılacağı yer belirlenir. Her iki adımda da feromon ve/veya sezgisel bilgi kullanılabilir. Bu bilgiler, birinci adımda, atama sırası belirlenmesinde kullanılırken, ikinci adımda i tesisinin j yerine atanmasının ne kadar istenilir bir durum olduğunu gösterir. Özellikle uygun atama sırasının belirlenmesi algoritmanın performansını etkilemektedir. Atama sırası oluşturulabileceği gibi her iterasyonda rasgele bir sıralamaya göre de atama yapılabilir. Algoritmanın performansını etkileyen bir diğer nokta ise yerel arama yapılmasıdır. 2-değişim komşuluğu yerel aramanın çoğunlukla tercih edilmesinin yanında, son zamanlarda, tabu arama, ısıtma işlem algoritması, genetik algoritma, evrimsel hesaplamalar, Hırslı Rasgele Adaptif Arama Yordamı (GRASP) gibi yöntemler kullanılarak melez sistemler de oluşturulmaktadır.

Bu bölümde, çalışmanın amacı açıklanacak, şantiye yerleşim problemi için geliştirilen Karınca Koloni Optimizasyonu-Parametrik Analizli (KKO-PA) algoritması tanıtılacak ve deneysel çalışmalar ile algoritmanın performansı kontrol edilecektir.

5.1 Çalışmanın Amacı

Çalışmanın amacı, inşaat süresince gerekli olan tesis yerlerinin, tesisler arası akışı dikkate alarak, minimum taşıma maliyetine göre belirlemektir. KKO algoritmasında, tesisler arası akış ve yerleştirilebilecekleri noktalar arası uzaklıklar, akış ve uzaklık matrisleri ile belirtilir. Her bir karınca, sırasıyla bir tesisi uygun yere yerleştirerek, amaç fonksiyonunu azaltmayı hedefler. Algoritma, o ana kadar bulunan en iyi konumlandırmayı hatırlayarak en az maliyetli yerleşimi belirler.

5.2 Algoritmanın Tanıtımı

KKO algoritmaları birleşik optimizasyon problemlerinin çözümünde kullanılabilir. Bu algoritmalar karınca sisteminden başlayıp melez sistemlere kadar uzanmaktadır. Aşağıda, çalışma kapsamında şantiye yerleşimi probleminin çözümü için geliştirilen KKO-PA algoritması tanıtılmaktadır.

5.2.1 Algoritmanın özellikleri ve yapılan kabuller

Metasezgisel yöntemlerin problemlere çözüm üretebilmesi için, probleme özgü amaç fonksiyonu ve kısıtların belirlenmesi gerekir. Bunun yanında, çözüme ulaşmak için, bazı kabuller yapılması kaçınılmazdır. Geliştirilen algoritmanın özellikleri ve probleme özgü yapılan kabuller şöyledir;

- Tesis ve atanacak yer sayısının eşit olması zorunluluğu yoktur. Bu özelliği ile karesel atama problemi için çözüm sağlayabilen algoritmalara göre üstündür.
- Tesis şekillerinden bağımsızdır ve tesislerin şekli ile ilgili varsayımlar yapılmaz. Tesisler kare, dikdörtgen ya da herhangi bir şekilde bulunabilmekte, algoritma yerleştirmeyi bu kısıttan bağımsız olarak yapmaktadır.
- Tesisler için gerekli alan tanımlamasına gerek duyulmaz. Bunun yanında eğer bazı tesisler için daha fazla alana gereksinim duyuluyorsa, bu tesislerin atanamayacakları noktaları tanımlayabilme özelliğine sahiptir.
- İnşaat sırasında birbiriyle etkileşimde olan, şantiye içi ve dışındaki her türlü nokta tesis olarak kabul edilebilir. Buna örnek olarak, inşa edilecek yapı, şantiye dışında gösterilen taş ocağı veya şantiye giriş-çıkışı gösterilebilir.
- Şantiye güvenliği ya da yasalar gereği uyulması gereken kısıtlara göre yerleri belirli ya da değiştirilemeyecek tesislerin sabitlenmesine izin verir.
- Bazı tesisler için sadece belli uygun yer alternatifleri arasından seçim yapabilir.
- Tesisler arasındaki uzaklık hesabında yolun fiziksel özellikleri dikkate alınır.
- İki tesis arasında birden fazla yol olması durumunda en kısa olanı alınır.
- Problem için en uygun parametre değerlerini, tanımlanan aralıklar arasında kendi belirleyerek çözüme ulaşır.
- Algoritma QBASIC dili ile programlanmıştır.

5.2.2 Amaç fonksiyonu

Statik ve dinamik yerleşim problemleri, her ne kadar farklı şantiye tipleri gibi görünse de, eşit sayıda tesis ve yer olması durumunda, atama probleminin özel bir türü olan karesel atama problemidir. Amaç fonksiyonu, verilen n adet tesisi n adet boş yere tesisler arasındaki akışı ve uzaklığı minimum yapacak şekilde yerleştirmek olarak belirlenir.

$$C = \min_{\phi \in S(n)} \sum_{i=1}^n \sum_{x=1}^n \sum_{j=1}^n \delta_{xi} f_{xi} d_{ij} \quad \text{Denklem 5.1}$$

$$\sum_{x=1}^n \delta_{xi} = 1, \quad (i = 1, 2, \dots, n) \quad \text{Denklem 5.2}$$

$$\delta_{xi} \in \{0, 1\}, \quad (x, i = 1, 2, \dots, n)$$

Formülde;

n : tesis sayısı,

$S(n)$: aday çözümler kümesi,

ϕ : aday çözümler kümesinin bir elemanı,

d_{ij} : i ve j yerleri arasındaki uzaklık,

f_{ij} : i ve j tesisleri arasındaki akış,

δ_{xi} : permütasyon matrisi değişkenini gösterir.

d_{ij} değerleri $n \times n$ boyutlu $D=[d_{ij}]$ uzaklık matrisinde ve f_{ij} değerleri $n \times n$ boyutlu $F=[f_{ij}]$ akış matrisinde bulunur. δ_{xi} bir tesisin bir yere ve tam tersi bir yerin sadece bir tesise tahsis edilmesini sağlayan kısıttır.

Tesislerin ilk kurulma maliyeti biliniyorsa ya da belli bir zaman sonra yerlerinin değişmesi gerekiyorsa, amaç fonksiyonuna tesislerin sökölme, taşınma ve yeniden kurulma maliyetleri de eklenir. Bu durumda amaç fonksiyonu şu şekilde düzenlenir:

$$C = \min_{\phi \in S(n)} \sum_{i=1}^n \sum_{x=1}^n \delta_{xi} C_{xi} + \sum_{i=1}^n \sum_{x=1}^n \sum_{j=1}^n \delta_{xi} f_{xi} d_{ij} \quad \text{Denklem 5.3}$$

Formüle eklenen C_{xi} , x tesisinin i yerine atanması durumundaki düzenleme maliyetini gösterir.

5.2.3 Sezgisel bilgi

Karıncaların çözüm oluşturabilmesinde sezgisel bilginin önemi büyüktür. Bu sayede probleme özel bilginin kullanımı mümkün olur. Sezgisel bilgi, probleme göre, statik veya dinamik durumda bulunur. Statik problemlerde, sezgisel bilgi

başlangıçta bir kez hesaplanır ve algoritmanın tüm aşamalarında sabit kalır. Dinamik problemlerde, sezgisel bilgi, o ana kadar oluşturulan çözümlere bağlı olup aşama aşama tekrar hesaplanılarak kullanılır. Bu durum, yüksek hesaplama maliyetine neden olsa da sezgisel bilginin kesin olarak bulunmasını sağlar (Stützle and Dorigo, 2003).

Bu çalışmada, sezgisel bilgi statik halde ve uzaklığa bağlı alınmaktadır ve her (i,j) tesis ve yer çifti için,

$$\eta_{ij}=1/e_{ij} \quad \text{Denklem 5.4}$$

olarak kabul edilir. Bu formülde,

$$e_{ij}= f_i \times d_j \quad \text{Denklem 5.5}$$

olarak hesaplanır. f_i , i tesisinden diğer tesislere olan toplam akış/yakınlık derecesini, d_j ise j noktasından diğer noktalara toplam uzaklığı gösterir.

5.2.4 İlk feromon değerlerinin belirlenmesi

İlk feromon değerleri, literatürde genellikle “çok küçük bir değer” olarak tanımlanmakta ve bu uygulama ile probleme özgü bir veri olma özelliğinden çıkarılmaktadır. Bu şekilde tanımlanan değer, sezgisel bilgiyle oranı düşünülmemekte, bu oranların çok farklı olması durumunda sonucu nasıl etkileyeceği konusunda bir açıklama bulunmamaktadır.

Önerilen algoritmada, bu duruma karşı, ilk feromon değerlerinin belirlenmesinde sadece sezgisel bilgiye dayalı bir başlangıç çözümü üretilmekte, bu çözüm sonrasında elde edilen amaç fonksiyonu değerine göre ilk feromon değerleri belirlenmektedir. Böylece sezgisel bilgi ve ilk feromon değerlerinin birbirleri ile çok orantısız olması engellenmektedir.

5.2.5 Aday liste

Karıncalar çözüm üretirken öncelikle hangi tesisin atanacağına karar vermek durumundadır. Bir sonraki aşamada hangi tesisin atanacağını gösteren listeye aday liste denilir. Aday liste, genellikle, akış değerlerine göre küçükten büyüğe ya da tam tersi şeklinde sıralanarak oluşturulmaktadır. Yapılan çalışmalar sonucu küçük boyutlu problemlerde, aday listenin hep aynı olmasının çözüm üretmede sı-

kıntı yaratmakta olduğu gör÷lmektedir. Algoritma, ilk iterasyonlardan itibaren, bazı feromon değerlerinin sürekli artmasına da bağlı olarak, farklı çözümler üretmemektedir.

Çalışmada geliştirilen algoritmada, ilk feromon değerlerinin belirlenmesi için sezgisel bilgiye dayalı çözüm yapılması sırasında yukarıdaki mantığa göre hareket edilmektedir. Aday liste, akış değerleri küçükten büyüğe ve tam tersi olacak şekilde düzenlenmektedir. Sonuçlar, akışların büyükten küçüğe doğru sıralanması ile oluşturulan aday listenin daha iyi sonuçlar ürettiğini göstermektedir. Algoritmada, sezgisel ve feromon bilgilerine dayalı çözüm üretilmesi sırasında, aday listenin rasgele oluşturulması benimsenmektedir. Böylece, üretilen çözümlerin ilk iterasyonlarda yerel optimumlara takılma olasılığı engellenmektedir.

5.2.6 Geçiş kuralı

Karınca, bir sonraki atayacağı tesisi aday listedeki sıraya göre belirlerken bu tesisi nereye atayacağına geçiş kuralına göre karar verir. Hem sezgisel hem de feromon bilgisine dayarılan bu aşama hem devamlılık hem de araştırmayı içerir.

Çalışmada, sanki-rasgele-oran (pseudorandom-proportional) kuralı benimsenmektedir. Karınca, her adımda, i tesisini j boş yerine aşağıdaki geçiş olasılığı kuralına göre atar:

$$p_{ij}^k(t) = \frac{[\tau_{ij}(t)]^\alpha [\eta_{ij}]^\beta}{\sum_{l \in N_i^k} [[\tau_{il}(t)]^\alpha [\eta_{il}]^\beta]} \quad \text{Denklem 5.6}$$

Formülde, $\tau_{ij}(t)$ t iterasyonundaki feromon, η_{ij} ise sezgisel bilgi değerini gösterir. α ve β ise sırasıyla feromon ve sezgisel bilginin çözüme katkısını belirleyen katsayılardır. N_i^k ise i noktasının uygun boş komşuluklarının gösterildiğı kümedir. Bu adım bütün atamalar yapıłana kadar devam eder.

5.2.7 Lokal arama

Çalışma kapsamında 2-değişim komşuluğu lokal araması benimsenmiştir. Buna göre, oluşturulan çözüm içerisinde olası ikili değiştirmeler yapılarak amaç fonksiyonu değeri yeniden hesaplanır. İyileşme sağlanıyorsa değişikliğe devam edilir.

5.2.8 Feromon izi güncelleme kuralları

Algoritma, kolonideki her bir karıncanın çözüm üretmesinden sonra elde edilen en iyi sonuca göre feromon güncellemesi yapar. Güncelleme iki aşamadan oluşur. İlk aşamada, feromon buharlaşması yapılır. İkinci aşamada ise, kolonideki karıncalar tarafından üretilen en iyi çözüme göre feromon artışı yapılır. Buna göre, feromon güncellemesi aşağıdaki formüle göre yapılır:

$$\tau_{ij}(t+1) \leftarrow (1-\rho)\tau_{ij}(t) + \sum_{k=1}^m \Delta\tau_{ij}^k \quad \text{Denklem 5.7}$$

Formülde, $0 \leq \rho < 1$ olacak şekilde buharlaşma katsayısını göstermekte ve önceki çözümlerin etkisini azaltıp aşırı feromon birikimini engellemektedir. $\Delta\tau_{ij}^k$ ise k karıncasının (i,j) çiftine feromon katkısını göstermektedir. Feromon artışı şu şekilde yapılmaktadır:

$$\Delta\tau_{ij}^k = \begin{cases} Q/C^k & \text{eger } (i,j) \in \text{en iyi çözüm} \\ 0 & \text{diğer} \end{cases} \quad \text{Denklem 5.8}$$

C^k bulunan çözümün amaç fonksiyonu değerini göstermektedir. Eğer (i,j) çifti bulunan en iyi çözüme ait değilse o düğüm çiftinde feromon artışı yapılmaz. Q değeri literatürde genellikle 1 alınmakla beraber, bu çalışmada kapsamında Q , buharlaşma katsayısı ρ değeri alınarak, eklenen ve buharlaşan feromon miktarlarının orantısız olması engellenmektedir. Böylece feromon ve sezgisel bilgi dengesinin korunması sağlanır.

5.2.9 Bitirme kriteri

Bitirme (durdurma) kriteri belirlenirken yaygın olarak kullanılan üç yöntem vardır. Bunlardan ilki, maksimum iterasyon sayısı tanımlanmasıdır. Algoritma tanımlanan iterasyon sayısına ulaştığında, o ana kadar elde edilen en iyi sonuç çözüm olur. İkinci yöntem, belli bir amaç fonksiyonu değeri tanımlanmasıdır. Belirlenen değere ilk kez ulaştığında algoritma durdurulur. Üçüncü yöntemde, belli sayıda iterasyonda amaç fonksiyonu değeri değişmezse algoritma sonlanır.

Tez kapsamında yapılan deneysel çalışmalarda üç yöntemin sonuçlar üzerindeki etkisi incelenmiş ve maksimum iterasyon sayısı tanımlanması durumunun optimum sonuçlar ürettiği görülmüştür.

5.2.10 Parametre Analizi

Metasezgisel yöntemlerde probleme özgü uygun parametre değerlerinin belirlenmesi çözüm performansı açısından önemlidir. Daha önce yapılmış olan çalışmalarda, literatürde önerilen ya da analiz sonucu elde edilen parametre değerleri kullanılır. Analizde, her bir parametre için uygun değerler kümesi tanımlanması ve yapılan denemelerle amaç fonksiyonunu minimum yapan değer in saptanması gerekir. Bu süreçte, uygun değerler kümesi ve parametrelerin birbiri ile etkileşimlerinin belirlenmesi zordur. Parametre sayısı arttıkça oluşabilecek kombinasyonlar denenemeyecek kadar çok olur. Literatürde α , β , ρ ve ks parametrelerine belirli değerler atanarak optimum çözüm arandığı görülmektedir.

Bu çalışmada, söz konusu değişkenlerin hangi değerleri için en iyi çözüme ulaşabileceği konusunda bir sonuca varmanın mümkün olmadığı belirlenmiştir. Bu parametrelere alt ve üst sınırlar ile değişim aralıkları (adım) belirlenerek olası tüm durumlar taranmıştır. Bu değerler aşağıda görülmektedir.

$$\alpha \in \{0, 0.05, 0.1, \dots, 4.90, 4.95, 5\}$$

$$\beta \in \{0, 0.05, 0.1, \dots, 4.90, 4.95, 5\}$$

$$\rho \in \{0, 0.05, 0.1, \dots, 0.80, 0.85, 0.9\}$$

$$ks \in \{1, 2, 3, \dots, 18, 19, 20\}$$

Karınca Koloni Optimizasyonu-Parametrik Analizli (KKO-PA) adı verilen algoritma ve akış şeması (Şekil 5.1) şöyledir;

1. İlk feromon değerlerinin belirlenmesi için gerekli başlangıç parametre değerlerini (ks , α , β , ρ , Q , bitirme kriteri) belirle ve amaç fonksiyonunu tanımla.
2. Sezgisel bilgi matrisinin oluşturulması için her (i,j) için f_i i tesisinden toplam akış/yakınlık derecesi, d_j j noktasından diğer noktalara toplam uzaklık olmak üzere $e_{ij} = f_i \times d_j$ hesapla. Buna göre, i tesisini j noktasına sezgisel atanma istenilirliği ise $\eta_{ij} = 1/e_{ij}$ ile belirle.
3. Atama sırasını, tesisler arası akış/yakınlık derecesi büyükten küçüğe doğru olacak şekilde belirle. Sezgisel bilgiye dayalı çözüm oluştur. Amaç fonksiyonu değerine göre τ_0 belirle.
4. Parametreler (ks , α , β , ρ) için alt ve üst limitleri ile adım aralıkları belirle.
5. Amaç fonksiyonunu sıfırla.
6. Tesis atanma sırasını rasgele belirle.

7. Her k karıncası için sezgisel ve feromon bilgiyi kullanarak çözüm üret. Tesislerin atanacağı noktaları aşağıdaki olasılık kuralına göre belirle.

$$p_{ij}^k(t) = \frac{[\tau_{ij}(t)]^\alpha [\eta_{ij}]^\beta}{\sum_{l \in N_i^k} [[\tau_{il}(t)]^\alpha [\eta_{il}]^\beta]}$$

8. Bütün tesisler atandıktan sonra amaç fonksiyonu değerini belirle.

9. Lokal arama ile amaç fonksiyonu iyileştirilebilir mi kontrol et.

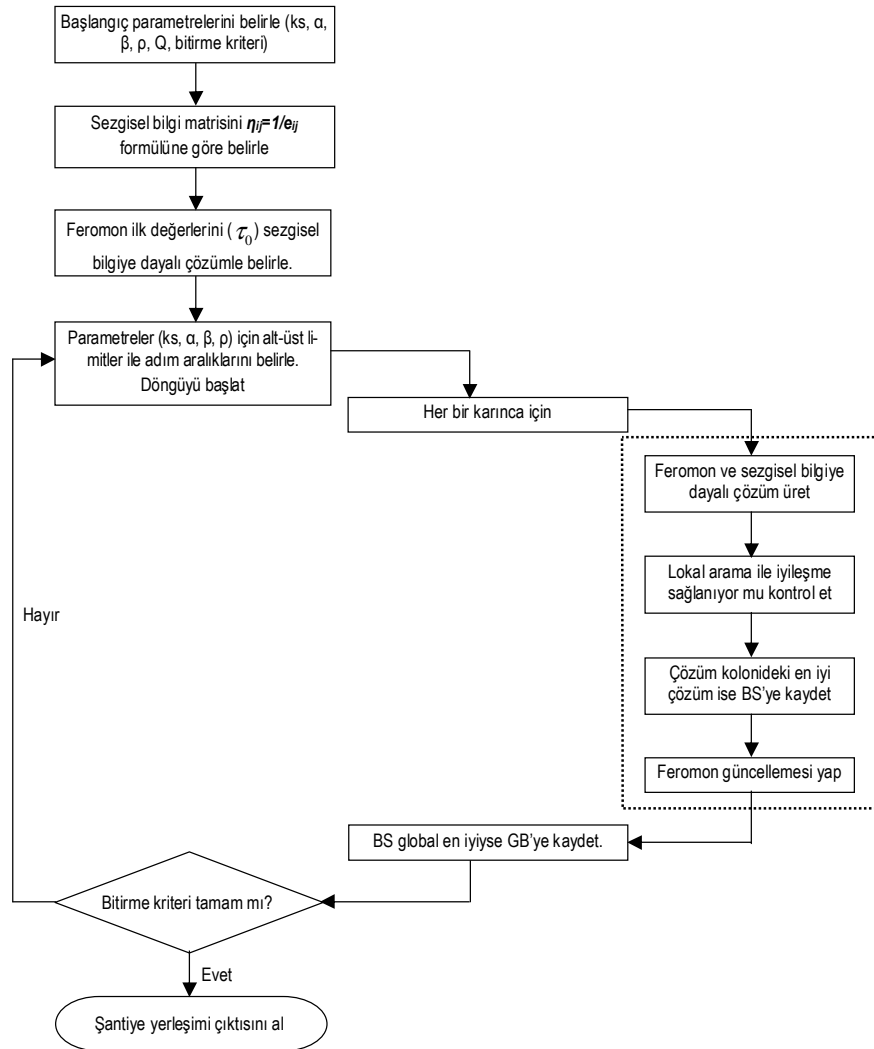
10. Amaç fonksiyonu değeri kolonideki en iyi çözüm ise BS'ye kaydet.

11. Kolonideki her k karıncası çözüm ürettikten sonra feromon güncellemesini aşağıdaki kurala göre yap.

$$\tau_{ij}(t+1) = (1-\rho)\tau_{ij}(t) + \sum_{k=1}^m \Delta\tau_{ij}^k$$

12. BS global en iyi ise çözüm değerini ve parametreleri GB'ye kaydet.

13. Bitirme kriteri sağlanıyorsa dur yoksa 4.'e dön.



Şekil 5.1 KKO-PA algoritması akış şeması

5.3 KKO-PA'nın Test Edilmesi

KKO-PA algoritmasının doğruluğu, uygun çözüm üretmesi ve çözüm kalitesini test etmek üzere, literatürde yer alan veri setlerinden yararlanılmış ve sonuçların mevcut algoritmalara göre daha üstün olduğu görülmüştür. Algoritmada, α ve β ; 0-5 değerleri arasında 0.05 adım aralığıyla, ρ ; 0-0.95 değerleri arasında 0.05 adım aralığıyla, k_s ; 1-20 aralığında 1 adım aralığı ile arttırılır. Buna göre her bir parametrenin analizi için kullanılan değerler şu şekildedir:

$$\alpha \in \{0, 0.05, 0.1, \dots, 5\}$$

$$\beta \in \{0, 0.05, 0.1, \dots, 5\}$$

$$\rho \in \{0, 0.05, 0.1, \dots, 0.95\}$$

$$k_s \in \{1, 2, 3, \dots, 20\}$$

Bu tanımlara uygun olarak, Li ve Love (1998) tarafından yapılan yayındaki veriler kullanılarak algoritma test edilmiştir. İlgili yayında, 11 adet tesisin 11 yere atanacağı düşünülmüştür. Bu tesisler şu şekildedir;

Tablo 5.1 Li ve Love'a ait verilerdeki tesisler

Index	Şantiye Tesisleri
1	Şantiye ofisi
2	Kalıp işleri yeri
3	İşçi yatakhane
4	Depo 1
5	Depo 2
6	Marangozhane
7	Demir işleri yeri
8	Şantiye çıkışı
9	Elektrik, su vb. işler control odası
10	Beton tesisi
11	Ardiye

Tesisler arası günlük gidiş geliş sayısı ve atanabilecek uygun yerler arası uzaklıklar şöyledir;

Tablo 5.2 Li ve Love'da tesisler arası akış ve uzaklıklar

F=	0	5	2	2	1	1	4	1	2	9	1
	5	0	2	5	1	2	7	8	2	3	8
	2	2	0	7	4	4	9	4	5	6	5
	2	5	7	0	8	7	8	1	8	5	1
	1	1	4	8	0	3	4	1	3	3	6
	1	2	4	7	3	0	5	8	4	7	5
	4	7	9	8	4	5	0	7	6	3	2
	1	8	4	1	1	8	7	0	9	4	8
	2	2	5	8	3	4	6	9	0	5	3
	9	3	6	5	3	7	3	4	5	0	5
	1	8	5	1	6	5	2	8	3	5	0
	0	15	25	33	40	42	47	55	35	30	20
D=	15	0	10	18	25	27	32	42	50	45	35
	25	10	0	8	15	17	22	32	52	55	45
	33	18	8	0	7	9	14	24	44	49	53
	40	25	15	7	0	2	7	17	37	42	52
	42	27	17	9	2	0	5	15	35	40	50
	47	32	22	14	7	5	0	10	30	35	40
	55	42	32	24	17	15	10	0	20	25	35
	35	50	52	44	37	35	30	20	0	5	15
	30	45	55	49	42	40	35	25	5	0	10
	20	35	45	53	52	50	40	35	15	10	0

Verilen uzaklık ve gidiş geliş sayılarının kullanıldığı üç farklı çalışma incelenmiştir. Bu çalışmalar, Gharaie ve arkadaşları (2006a) ile Li ve Love (1998; 2000) tarafından yapılmış ve sırasıyla D1, D2 ve D3 ile gösterilmiştir.

D1 çalışmasında problem verileri için hiçbir kısıt tanımlanmamıştır. D2 ile gösterilen çalışmada, şantiye çıkışı ve ana çıkışın (tesis 8 ve 11) yerlerinin, sırası ile 1 ve 10 yerlerinde sabitlendiği düşünülmüştür. D3 çalışmasında, tesislerin boyutlarının da yerleşimde göz önünde bulundurulması gerektiğini belirtilmiş ve D2 çalışmasında yerleri sabit kabul edilen tesislerin yanında ayrıca, şantiye ofisi, işçi yatakhane ve beton tesisinin (sırasıyla tesis 1, 3 ve 10) 7 ve 8 yerlerine yerleştirilemeyecek kadar büyük olduğu da varsayılmıştır. İlgili yayında elde edilen sonuçlar ile önerilen algoritmalarından elde edilen sonuçlar Tablo 5.3'de görülmektedir.

Tablo 5.3 Literatürdeki verilerle KKO-PA'nın kıyaslanması

Tesis		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	Amaç fonksiyonu değeri
Gharaie ve ark. (2006a)	D1	8	6	9	7	4	3	5	10	1	11	2	12.546
KKO-PA		1	10	4	5	3	8	6	9	7	2	11	12.150
Li ve Love (1998)	D2	11	5	8	7	2	9	3	1	6	4	10	15.090
KKO-PA		9	11	6	5	8	2	4	1	3	7	10	12.578
Li ve Love (2000)	D3	11	5	9	7	2	8	3	1	6	4	10	15.160
KKO-PA		11	9	6	5	8	3	7	1	4	2	10	12.606

Sonuçlar değerlendirildiğinde, geliştirilen algoritmanın, literatürdeki mevcut algoritmalara göre daha iyi sonuçlar üretmiştir. Yapılan çözümlerde, D1, D2 ve D3 durumlarında amaç fonksiyonu değerlerinin sırasıyla % 3.2, % 16.6, %16.8 oranında azaldığı görülmüştür. Kısıtlar arttıkça amaç fonksiyonunun değeri de artmıştır. D2 ve D3 durumlarında azalmanın daha büyük olması, kısıtlar altında KKO-PA'nın diğer algoritmalara göre daha iyi sonuç ürettiğini göstermektedir.

Algoritmada uygun çözümler, D1 durumu için $\alpha=0.4$; $\beta=3$; $\rho=0.8$; $ks=20$; D2 durumu için $\alpha=0$; $\beta=0$; $\rho=0.35$, $ks=1$; D3 durumu için $\alpha=0$, $\beta=0$, $\rho=0.6$, $ks=1$ parametre değerleri kullanılarak elde edilmiştir. Yapılan çalışmada, kullanılan parametre değerleri arasında anlamlı bir ilişki bulunamamıştır. Metasezgisel yöntemlerin probleme özgü olması ve dolayısıyla parametrelerin de probleme göre belirlenmesi gerekliliği bu örneklerden anlaşılmaktadır.

D1, D2, D3, durumları için KKO-PA ile çözüm, 225 MB RAM'e sahip bilgisayarda, sırasıyla; bir saat yirmibeş dakika iki saniye; bir saat beş dakika otuzaltı saniye ve otuzbeş dakika kırksekiz saniyede elde edilmiştir. KKO-PA'nın, alt ve üst sınırlar arasında değişim aralığına bağlı olarak, tam bir tarama yaptığı ve dolayısıyla ürettiği çözüm sayısı fazla olması nedeniyle bu süreler uzun olmaktadır. Buna bağlı olarak, KKO-PA algoritmasında döngü sayısının bir olarak kullanılması, uygun çözümün bulunması için yeterlidir.

6. BARAJ ŞANTIYESİNDE KKO-PA UYGULAMASI

Çalışma kapsamında geliştirilen KKO-PA algoritması, Devlet Su İşleri Barajlar ve HES Daire Başkanlığı tarafından ihaleye çıkartılan ve Özaltın İnşaat Ticaret ve Sanayi AŞ.'ye yaptırılan Beydağ Barajı inşaatı şantiye yerleşimine uygulanmaktadır. Küçükmenderes nehri Beydağ yöresindeki barajın, 19650 ha'lık tarım alanını sulaması amaçlanmaktadır.

6.1 Uygulama Projesinin Tanıtılması

Barajlarda, suyu tutmak için yapılan bir gövde, inşaat sırasında akarsudaki suyu inşaatın dışına aktarmak için bir derivasyon tüneli, depolanan suyu mansaba vanalar vasıtasıyla kontrollü olarak veren bir dipsavak ve inşaat bittikten sonra gelen fazla suyun atılması için yapılan bir dolusavak bulunur. Bu yapılar inşaatın yapıldığı arazinin yapısına bağlı olarak farklı şekillerde olabilir. Baraj gövdesinin altındaki sıyırma kazısı ve gövdenin sağlam zemine oturtulabilmesi için yapılan sıyırma kazısı sırasında, inşaat alanına menba tarafından gelen suyun çalışmayı engellememesi için menba batardosu ve benzer şekilde mansap tarafından gelen suyun engellemesi için gerekiyorsa mansap batardosu inşa edilir. Beydağ barajında gövde tipi, silindire sıkıştırılmış beton (SSB), dolusavak tipi ise serbest akışlı ve basamaklıdır. Barajda, menba ve mansap batardosu mevcuttur. Derivasyon tüneli daha sonra dipsavak olarak kullanılmaktadır.

Beydağ Barajı şantiye şefi yardımcısının (Horzum, 2009) verdiği bilgiye göre inşaatı ilk olarak derivasyon tüneli kazıları yapıp çıkan malzeme depoya nakledildi. Derivasyon tünelindeki püskürtme beton ve kaplama betonları imalatı tamamlandıktan sonra menba batardosu sıyırma kazısına başlandı. Menba batardosunun tamamlanmasından sonra, akarsu, derivasyon tüneline verilerek su inşaat alanından uzaklaştırıldı. Daha sonra gövde ve mansap batardosu kazısına başlandı. Çıkan kazı depo ve stok sahasına nakledildi (şantiyede daha sonra kullanılacak malzeme stok sahasında, kullanılmayacak malzeme depoda saklandı). Beton santrali ve prefabrike üretim imalat işlemlerine (kazı, yaklaşım yolları, gerekli tesislerin kurulması, makine yerleştirilmesi,...) gövde kazısı yapılırken başlandı ve tamamlandı. Mansap batardosu dolgularının tamamlanmasından sonra baraj gövdesi SSB dökümlerine ve önyüzü panel kaplama işlerine başlandı. Baraj gövdesi talveg seviyesi olan +176.00m. kotunu geçtikten sonra gövde ile sıyırma kazısı şevi arasında kalan ve geri dolgu olarak adlandırılan bölgeler stok sahası ve kum-çakıl ocağından temin edilen malzemeler ile dolduruldu. Menba batardosu

geri dolgusu, temel kazısından çıkan ve stok sahasında depolanmış olan malzeme ile yapılırken, mansap geri dolgusunda ise hem baraj gövde sıyırma kazısından hem de kum-çakıl ocağından çıkartılmış malzeme kullanıldı.

Baraj inşaatında dökülen SSB miktarı 2,311,000 m³, normal beton miktarı 225,890 m³'dür. Normal betonlar barajın önyüz panel arkasında, yamaçlarda ve mansap kısmında 1m genişliğinde kullanıldı. Baraj gövdesinde kullanılan SSB, 40 ton kapasiteli manevra kabiliyeti ve kapasitesi yüksek kaya kamyonlarıyla taşındı. Dar alanlarda malzeme, damperli kamyonlarla taşındı ve şantiyede taşıma için yeterli araç bulunduğu belirtildi.

6.2 Gerekli Tesislerin Belirlenmesi

Şantiyede ve projede yapılan incelemeler sonucunda Beydağ Barajı şantiyesinde gerekli olan tesislerin iki gruba ayrılmasına karar verildi. İnşa edilecek yapılar ve yerleri belirli tesisler, sabit tesisler olarak tanımlandı. Bu tesisler;

- Baraj gövdesi,
- Menba batardosu,
- Mansap batardosu,
- Derivasyon tüneli,
- Kum-çakıl ocağı,
- Kaya ocağıdır.

Yerleri sabit olmayan ve değiştirilebilecek geçici tesisler şunlardır:

- Depo,
- Stok sahası,
- Konvansiyonel elektrik ve beton santrali,
- SSB beton santrali,
- Prefabrike eleman üretim yeri.

Belirlenen tesislerin algoritma kullanımına uygun hale getirilebilmesi için etiketleme yapıldı ve genel vaziyet planına işlendi. Geliştirilen KKO-PA'nın çö-

zümü ile mevcut şantiye yerleşimi arasında kıyaslama yapabilmek için işaretleme yapılırken mevcut şantiye yerleşimi göz önünde bulunduruldu (Tablo 6.1).

Tablo 6.1 Şantiyede gerekli tesisler ve etiketleme

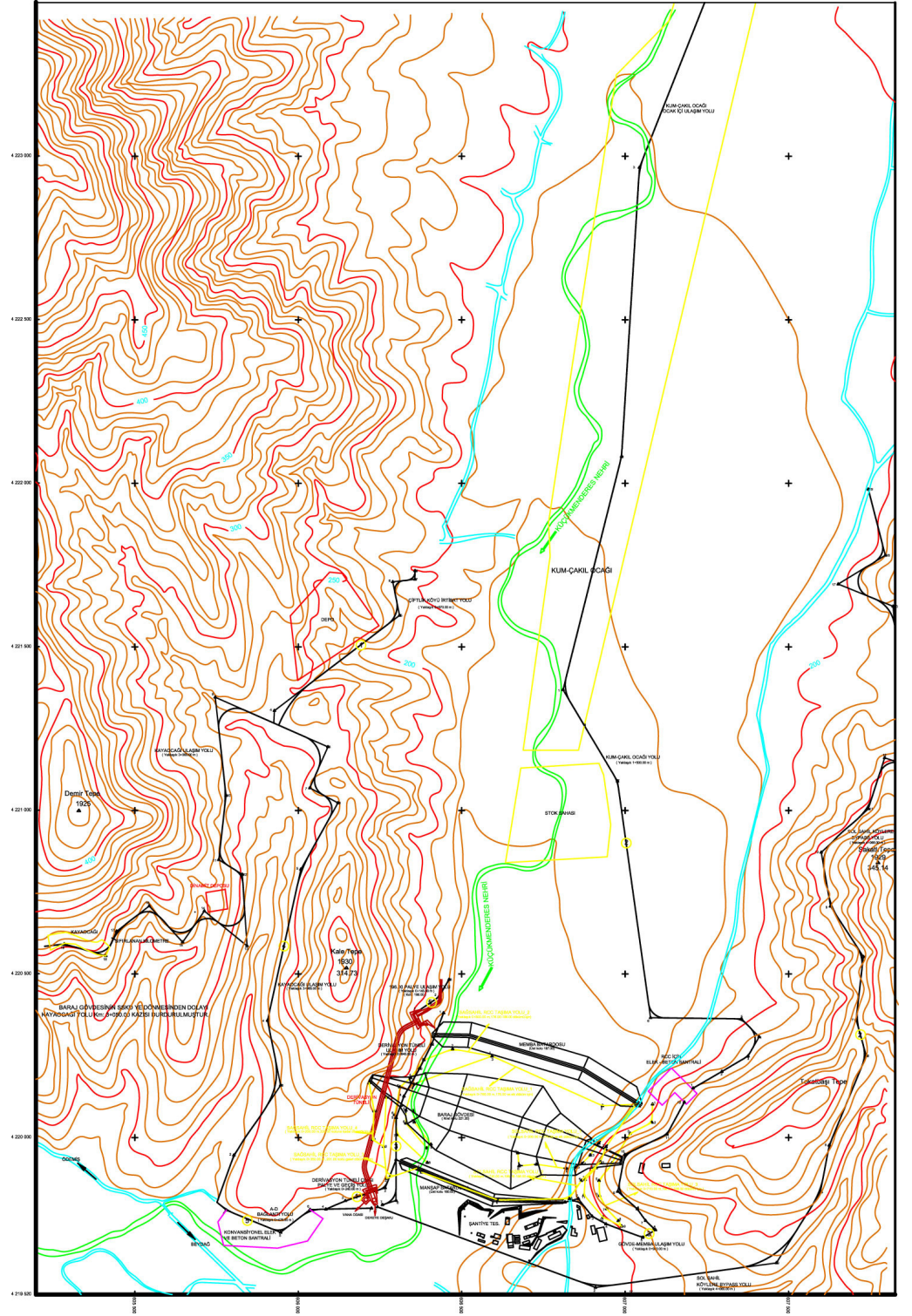
Index	Şantiye Tesisleri
1	Baraj gövdesi
2	Menba batardosu
3	Mansap batardosu
4	Derivasyon tüneli
5	Kum-çakıl ocağı
6	Kaya ocağı
7	Depo
8	Stok sahası
9	Konvansiyonel elektrik ve beton santrali
10	SSB beton santrali
11	Prefabrike eleman üretim yeri

Her şantiyede gerekli olan ve yerinin belirlenmesi gereken şantiye ofisi, yemekhane, tuvalet vb. tesisler ise birbirine çok yakın mesafede ve inşa edilecek yapıya yakın en uygun yere kurulması ve bu tesisler için akış miktarının diğer tesislerdeki gibi malzeme akışı değil insan akışı olması nedeniyle bu çalışma kapsamındaki geçici tesis kapsamına alınmadı.

Seçilen baraj şantiyesinde yer kısıtı olmaması nedeniyle, tesis şekil, büyüklük ve gerekli minimum alan ile ilgili parametreler çalışmaya dahil edilmedi.

6.3 Uzaklık Matrisinin Belirlenmesi

Yerleşim yapılabilecek noktalar arasındaki uzaklıkların belirlenmesi için tesviye eğrili genel yerleşim planı kullanıldı (Şekil 6.1). Tesis yerleri arasındaki taşıma uzaklıklarının belirlenmesi için tesviye eğrili genel yerleşim planında yapılan çalışmada, firmanın yapmış olduğu şantiye yolları aynen alındı. Bunun yanında, mevcut köy yollarının bir kısmının da ulaşım için kullanılabileceği görüldü. İki nokta arasında birden fazla yol olması durumunda, uzaklık olarak, en kısa olanı alındı.



Şekil 6.1 Tesviye eğrili genel vaziyet planı

Özellikle sabit tesislerin çok geniş alana yayılması ve birden fazla noktadan tesise giriş yapılma olasılığı nedeniyle uzaklıkların hesabında, baraj gövdesi,

Tablo 6.2 Mevcut tesisler arası uzaklık matrisi

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	0	735	695	805	2310	4095	3240	1835	1005	785	710
2	735	0	920	1030	1655	4320	3465	1160	1230	565	980
3	695	920	0	450	1985	3810	2955	1815	720	1180	495
4	805	1030	450	0	2040	3700	2845	1680	610	1955	805
5	2310	1655	1985	2040	0	5385	4530	465	2295	1525	1955
D= 6	4095	4320	3810	3700	5385	0	1735	4920	3090	4255	3895
7	3240	3465	2955	2845	4530	1735	0	4065	2235	3400	3040
8	1835	1160	720	610	465	4920	4065	0	1830	1435	2600
9	1005	1230	720	610	2295	3090	2235	1830	0	1165	805
10	785	565	1180	1955	1525	4255	3400	1435	1165	0	1165
11	710	980	495	805	1955	3895	3040	2600	805	1165	0

Tablo 6.2'deki uzaklık matrisinde yol eğimlerinin dikkate alınmadığı görülmektedir. Oysa Genel Teknik Şartname (Bayındırlık ve İskan Bakanlığı, 1985a) uyarınca malzeme taşımalarında yalnız taşınacak yerler arasındaki uzaklık alınmayıp yolun eğimi, kaplamalı olup olmaması, kaplamanın türü, taşımanın yapıldığı mevsimin iklim şartları, mıntıkanın ticari aktivitesinin yoğun olup olmadığı gibi parametrelere bağlı olarak (taşıma formülü ve A katsayısı) hesaplandığı bilinmektedir. Bu çalışmada, yalnızca, taşıma yolunun eğimleri göz önüne alınarak uygulamaya bir ölçüde yaklaşılmaya çalışıldı. Çalışma kapsamında yol eğimlerini dikkate almak için, iki yerleşim yeri arasındaki yol uzunluğu eğim yukarı yerlerde yol eğimi yüzdesi kadar arttırıldı, inişlerde ise doğrusal uzunluk değiştirilmeden kabul edildi. Yolun geçtiği A ve B noktaları arasındaki yükseklik farkı H (m) ve uzunluk L (m) olmak üzere yol eğimi aşağıdaki formül ile hesaplandı.

$$S_m = \frac{H}{L} \times 100 \quad \text{Denklem 6.1}$$

Tesviye eğrili genel vaziyet planı 1/5000 ölçekli ve her tesviye eğrisi arasındaki yükseklik farkı 10m.'dir. Arazinin oldukça eğimli olmasından dolayı yol eğimi hesaplanırken çok ayrıntılı bir hesaba gerek duyulmayıp, genel olarak, yol eğiminin yukarı ya da aşağı yönde değiştiği noktalar dikkate alındı.

Baraj gövdesi, menba ve mansap batardoları, derivasyon tünelinin yerleri sabit ve sırasıyla 1, 2, 3 ve 4 noktalarıdır. Bu tesislerin kotlarının inşaat sırasında sürekli değişeceği göz önünde bulundurularak yol uzunluğu bu noktalar için eğimden bağımsız düşünüldü. Diğer noktalar için aşağıdaki hesaplamalar yapılarak eğim hesaba katıldı.

Örneğin 10 ve 11 yerleri arasında hesap yapılsın. 10 yeri +220, 11 yeri +190 kotunda ve aralarındaki uzaklık 1165m.dir. Buna göre;

10-11 arası;

$$L(m)=1165 \text{ (negatif eğim)}$$

11-10 arası;

$$H=220-190=30 \text{ m}$$

$$L = L(1 + \frac{H}{L})$$

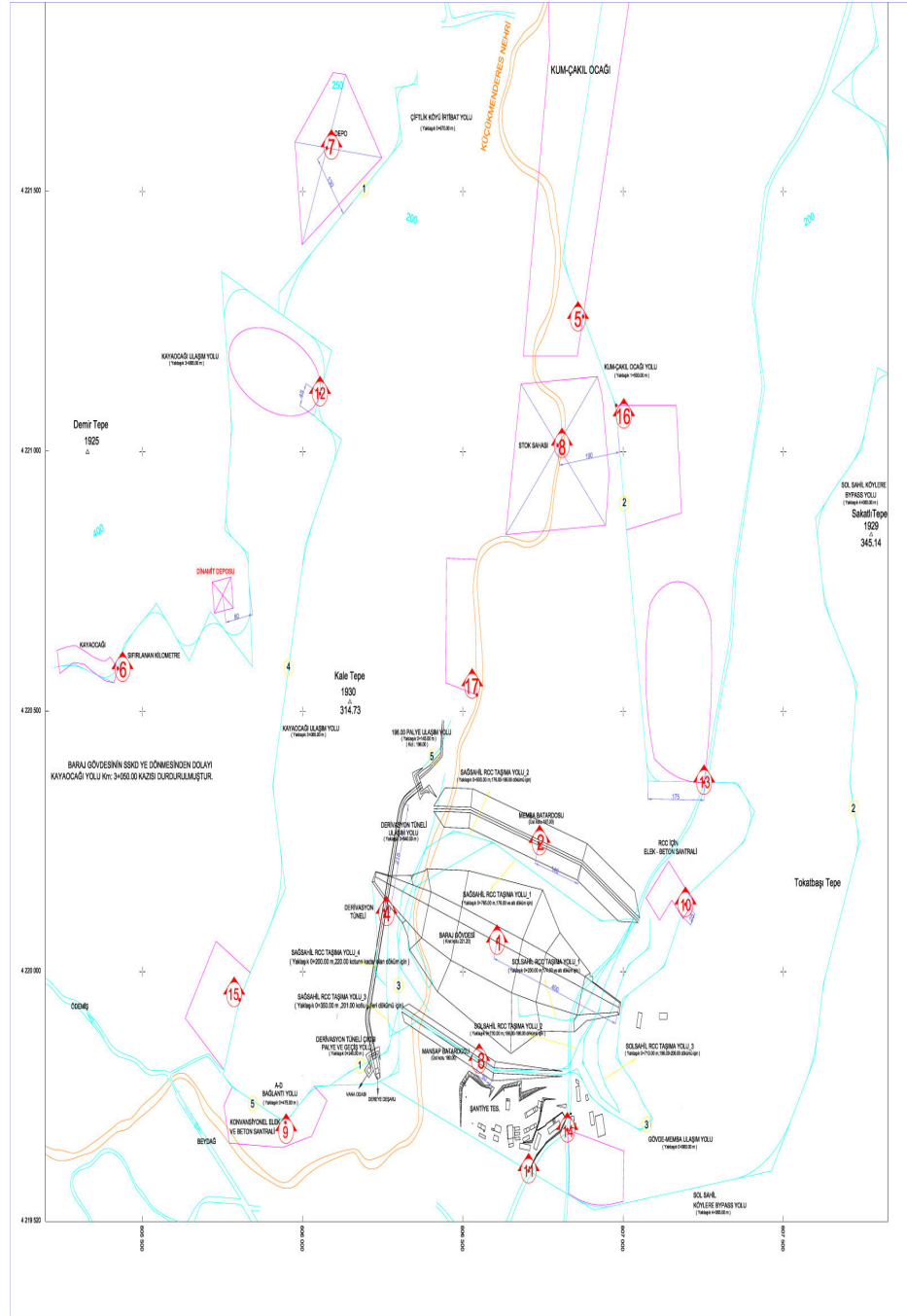
$$L=1165 (1+30/1165)=1195 \text{ m}$$

Bu düzeltmelerden sonra uzaklık matrisi yeniden düzenlendi (Tablo 6.3);

Tablo 6.3 Mevcut tesisler arası düzeltilmiş uzaklık matrisi

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	0	735	695	805	2310	4095	3240	1835	1005	785	710
2	735	0	920	1030	1655	4320	3465	1160	1230	565	980
3	695	920	0	450	1985	3810	2955	1815	720	1180	495
4	805	1030	450	0	2040	3700	2845	1680	610	1955	805
5	2310	1655	1985	2040	0	5920	5025	465	2730	1565	1965
6	4095	4320	3810	3700	5810	0	1735	4920	3090	4285	3895
7	3240	3465	2955	2845	4955	1775	0	4065	2235	3430	3040
8	1835	1160	720	610	465	5030	4135	0	1840	1475	2640
9	1005	1230	720	610	2720	3190	2295	1830	0	1195	805
10	785	565	1180	1955	1525	4355	3460	1435	1165	0	1165
11	710	980	495	805	1955	3995	3100	2630	805	1195	0

Şantiye incelendiğinde, mevcut yerleşim yerlerinden başka alanların da tesislerin atanması için uygun olduğu görüldü. Mevcut şantiye yerleşimindeki röper noktaları 1-11 arası, yerleşim için uygun olduğuna karar verilen noktalar 12-17 noktaları arası Şekil 6.3’de gösterilmektedir. Alternatif noktaların dahil edildiği ve yol eğimlerinin dikkate alındığı uzaklık matrisi Tablo 6.4’de görülmektedir.



Şekil 6.3 Mevcut şantiye yerleşimi ve alternatif noktalara ait röper noktaları

Tablo 6.4 Alternatif yerleşimleri içeren düzeltilmiş bağlı uzaklık matrisi

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
1	0	735	695	805	2310	4095	3240	1835	1005	785	710	2580	905	540	1375	1720	705
2	735	0	920	1030	1655	4320	3465	1160	1230	565	980	2805	685	840	1600	1560	530
3	695	920	0	450	1985	3810	2955	1815	720	1180	495	2295	1075	370	1090	1890	890
4	805	1030	450	0	2040	3700	2845	1680	610	1955	805	2185	1760	945	980	1945	1050
5	2310	1655	1985	2040	0	5920	5025	465	2730	1565	1965	4385	970	1795	2675	95	990
6	4095	4320	3810	3700	5810	0	1735	4920	3090	4285	3895	1515	4850	4035	2720	5185	4290
7	3240	3465	2955	2845	4955	1775	0	4065	2235	3430	3040	670	3995	3180	1865	4330	3435
8	1835	1160	720	610	465	5030	4135	0	1840	1475	2640	3495	990	1815	2210	265	630
9	1005	1230	720	610	2720	3190	2295	1830	0	1195	805	1655	1760	945	370	2095	1200
10	785	565	1180	1955	1525	4355	3460	1435	1165	0	1165	2820	590	1025	1535	1430	2065
11	710	980	495	805	1955	3995	3100	2630	805	1195	0	2460	955	140	1175	1860	1210
12	2580	2805	2295	2185	4295	1545	660	3405	1575	2770	2380	0	3335	2520	1205	3670	2775
13	905	685	1075	1760	970	4960	4065	990	1770	630	965	3425	0	825	2140	875	1620
14	540	840	370	945	1785	4135	3240	1805	945	1055	140	2600	815	0	1315	1690	1350
15	1375	1600	1090	980	2665	2820	1925	2200	370	1565	1175	1275	2130	1315	0	2570	1600
16	1720	1560	1890	1945	95	5295	4400	265	2105	1470	1870	3750	875	1700	2580	0	895
17	705	530	890	1050	990	4400	3505	630	1210	2105	1220	2855	1620	1360	1610	895	0

6.4 Tesisler Arası Akış Miktarının Belirlenmesi

Tesisler arasındaki akış miktarlarının belirlenmesinde, daha önce de belirtildiği gibi, yalnız nakledilen malzemeler alındı, bilgi akışı, işgücü sirkülasyonu,.. göz önüne alınmadı. Ortak ölçü kullanabilmek için nakledilen malzemenin ağırlığı kullanıldı. Her tesiste (baraj gövdesi, batardolar, derivasyon tüneli,...) yapılan imalat miktarları, proje eki metraj cetvelinden alındı. İletilen beton, SSB, agrega, kazı, dolgu, filtre malzemesi, prefabrike paneller vb. imalat miktarları belirlendi. İletilen malzeme, ya da imalat kalemlerinin birim hacim ağırlıkları, Bayındırlık İşleri Genel Şartnamesi'nden alındı. Hangi malzemenin hangi tesisten hangi tesise gideceği şantiye şefi ile tartışılarak (Horzum, 2009) hata olasılığı ortadan kaldırıldı.

Baraj gövdesi ve dolusavakta yapılan imalat miktarlarının pozları, birimleri, miktarları, birim hacim ağırlıkları ve toplam ağırlıkları ile ilgili elde edilen değerler Tablo 6.5'de verildi. Menba ve mansap batardoları ve derivasyon tüneli için benzer bilgiler izleyen tablolarda gösterildi.

Bu hesaplar sonucu elde edilen bilgilerle tesisler arasındaki akış değerlerini veren tablo oluşturuldu (Tablo 6.9). Sözelimi SSB betonu için gerekli 4,622,241 ton agrega, kum-çakıl ocağı olarak tanımlanan 5 tesisinden (Tablo 6.5), SSB be-

ton santraline (10 tesisi) nakledilecek olup, bu değer Tablo 6.9'da görülmektedir. Baraj gövdesinde (1 tesisi) kullanılacak olan, toplam 5,546,689 ton SSB betonu (Tablo 6.5), SSB beton santralinden (10 tesisi) nakledildi (Tablo 6.9). Baraj gövdesinde (1 tesisi) yapılan 8,638,554 ton kazının (Tablo 6.5), 7,112,854 tonu, depoya (7 tesisi) ve geri kalan 1,525,699 tonu, tekrar kullanılmak üzere, stok sahasına (8 tesisi) gönderildi (Tablo 6.9).

Tablo 6.5 Baraj gövdesi akış miktarları

Üretim	Poz No	Birim	Miktar	Birim Hacim Ağırlık (t/m ³)	Ağırlık (t)
Normal beton	B-16.502	m ³	201,910.91	2.2	444,204
Normal betonarme betonu	B-16.503	m ³	358,29.44	2.4	85,991
Toplam SSB	B-16.500	m ³	2,311,120.35	2.4	5,546,689
Normal beton agregası ⁸	B-15.344/1	m ³	282,362.5	1.6	451,780
SSB agregası	B-15.344/1	m ³	2,888,900.44	1.6	4,622,241
Kazı	B-15.330 ⁹	m ³	3,629,644.34	2.38	8,638,554
Menba geri dolgu	B-15.040 ¹⁰	m ³	124,572.07	1.8	224,230
Menba geri dolgu	B-15.041 ¹¹	m ³	124,572.07	2.4	298,973
Mansap geri dolgu	B-15.040	m ³	125,427.93	1.8	225,770
Mansap geri dolgu	B-15.041	m ³	125,427.93	2.4	301,027
Mansap geri dolgu	B-15.302 ¹²	m ³	437,571.32	1.8	787,628
Mansap geri dolgu	B-15.308 ¹³	m ³	437,571.32	2.4	1,050,171
Önyüz prefabrike panel	YF 06 ¹⁴	m ³	9,888.22	2.4	23,732
Önyüz prefabrike panel agregası	B-15.344/1	m ³	12,360.28	1.6	19,776
Riprap (düşü havuzu)	B-15348	m ³	2,084.66	2.6	5,420

⁸ İnşaatteki uygulamalarda 1m³ beton elde edilebilmesi için gerekli agregası miktarı 1.25 katsayısı ile çarpılarak bulunmaktadır. Genel Fiyat Analizi (Bayındırlık ve İskan Bakanlığı, 1985b) beton pozlarında 1m³ beton için, yaklaşık olarak, 0.75m³ çakıl, 0.5m³ kum kullanıldığı belirtilmektedir. Bu bir anlamda, uygulamada 1m³ betona 1.25 m³ agregası kullanıldığı paradoksunu meydana getirmektedir. Aslında, agregası, 0.5m³ kumun 0.75 m³ çakılın içine girmesinden dolayı 1 m³'den daha az hacim kaplamaktadır. Betonun birim hacim ağırlığı 2.4t/m³ iken agregasının birim hacim ağırlığı daha düşük alınmaktadır. Dolayısıyla agregası miktarının 1.25 katsayısıyla çarpılması ile beton birim hacim ağırlığına yaklaşık bir değer elde edileceği ve böyle bir paradoksun söz konusu olmadığı görülmektedir.

⁹ B-15.330 pozunda kullanılan klas tespitinde malzeme %50 kaya, %30 yumuşak kaya ve %20 topraktır. Buna göre; birim hacim ağırlık=0.5*2.6+0.3*2.4+0.2*1.8=2.38t/m³ olarak hesaplanır.

¹⁰ B-15.040 pozunda malzeme topraktır.

¹¹ B-15.041 pozunda malzeme yumuşak kayadır.

¹² B-15.302 pozunda malzeme topraktır.

¹³ B-15.308 pozunda malzeme yumuşak kayadır.

¹⁴ Beydağ Barajı inşaatı için belirlenen ve kullanılan yeni fiyattır.

Tablo 6.6 Menba batardosu akış miktarları

Üretim	Poz No	Birim	Miktar	Birim Hacim Ağırlık (t/m ³)	Ağırlık (t)
Temel kazısı	B-15.330	m ³	83,000	2.38	197,540
Riprap	B-15348	m ³	13,601.39	2.6	35,364
Dolgu	B-15.302	m ³	241,893.48	1.8	435,408
Dolgu	B-D.402 ¹⁵	m ³	1,017.62	1.8	1,832
Filtre malzeme	B-15.342 ¹⁶	m ³	33,310.6	1.8	59,959
Normal beton	B-16.502	m ³	745.11	2.2	1,639
Normal beton agrega	B-15.344/1	m ³	931.39	1.6	1,490

Tablo 6.7 Mansap batardosu akış miktarları

Üretim	Poz No	Birim	Miktar	Birim Hacim Ağırlık (t/m ³)	Ağırlık (t)
Temel kazısı	B-15.330	m ³	35,841.769	2.38	85,303
Dolgu	B-15.302	m ³	79,832.203	1.8	143,698
Normal beton	B-16.502	m ³	469.89	2.2	1,034
Normal beton agrega	B-15.344/1	m ³	587.36	1.6	940

Tablo 6.8 Derivasyon tüneli akış miktarları

Üretim	Poz No	Birim	Miktar	Birim Hacim Ağırlık (t/m ³)	Ağırlık (t)
Kazı	B-32.101	m ³	23,654.31	2.6	61,501
Beton	B-16.537	m ³	1,147.97	2.2	2,526
Betonarme betonu	B-16.538	m ³	9,118.48	2.4	21,884
Püskürtme betonu	B-16.581/1	ton	12,056.74	-	12,057
Toplam agrega	B-15.344/1	m ³	27,903.99	1.6	44,646

¹⁵ B-D.402 pozunda malzeme stabilize dir.¹⁶ B-15.342 pozunda malzeme tuvenandır.

Tablo 6.9 Tesisler arası akış matrisi

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	0	0	0	0	0	0	7,112,854	1,525,699	0	0	0
2	0	0	0	0	0	0	197,540	0	0	0	0
3	0	0	0	0	0	0	0	85,303	0	0	0
4	0	0	0	0	0	0	61,501	0	0	0	0
5	1,837,799	1,832	143,698	0	0	0	0	0	520,464	4,622,24	0
6	5,420	35,364	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
8	1,050,000	495,367	0	0	0	0	0	0	0	0	0
9	530,195	1,639	1,034	36,467	0	0	0	0	0	0	0
10	5,546,689				0	0	0	0	0	0	23,732
11	23,732	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

6.5 Beydağ Barajı Şantiye Yerleşimi Çözümü

Geliştirilen KKO-PA algoritmasının Beydağ Baraj şantiyesi yerleşimi için kullanılmasında iki farklı uygulama yapıldı. İlk uygulamada (D1), şantiye yerleşimi için sadece mevcut yerleşimdeki noktaların varolduğu düşünüldü. Bu uygulamada, uzaklık matrisi Tablo 6.3 ile akış matrisi Tablo 6.9 kullanıldı. İkinci uygulamaya (D2) yerleşim için uygun olduğu düşünülen noktalar da dahil edildi. Bu uygulamada, uzaklık matrisi Tablo 6.4 ile akış matrisi Tablo 6.9 kullandı. Her iki durum için KKO-PA algoritması ile çözüm üretildi.

Geliştirilen KKO-PA algoritmasında kullanılan parametre değerleri alt ve üst limitlerine göre şu şekildedir:

$$\alpha \in \{0, 0.05, 0.1, \dots, 5\}$$

$$\beta \in \{0, 0.05, 0.1, \dots, 5\}$$

$$\rho \in \{0, 0.05, 0.1, \dots, 0.95\}$$

$$k_s \in \{1, 2, 3, \dots, 20\}$$

Baraj gövdesi, menba ve mansap batardoları, derivasyon tüneli, kum-çakıl ocağı ile kaya ocağının yeri değiştirilemeyeceğinden, yerleri algoritmada sabitlendi.

Beydağ barajı mevcut şantiye yerleşimi ile KKO-PA algoritmasına göre elde edilen yerleşim ve amaç fonksiyonu değerleri Tablo 6.10'da görülmektedir.

Tablo 6.10 KKO-PA ile mevcut noktalara yerleşim ve amaç fonksiyonu değerleri

Tesis		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	Amaç fonksiyonu değeri (*10 ⁹)
Mevcut yerleşim		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	47.67
KKO-PA	D1	1	2	3	4	5	6	11	9	8	10	7	26.26

Algoritma tarafından yapılan yerleşim incelendiğinde, 7 numaralı tesis olarak etiketlenen depo 11; 8 numaralı tesis olarak etiketlenen stok sahası 9; 9 numaralı tesis olarak etiketlenen konvansiyonel elektrik ve beton santrali 8; 10 numaralı tesis olarak etiketlenen SSB beton santrali 10 ve 11 numaralı tesis olarak etiketlenen prefabrike eleman üretim yerinin 7 noktasına yerleştirildiği görülür.

KKO-PA algoritması ile elde edilen yerleşimde, amaç fonksiyonu değeri mevcut yerleşime göre % 44.9 oranında azalır. Amaç fonksiyonunda elde edilen bu azalmanın, mevcut şantiye yerleşimine karar verilirken tesisler arası akış miktarlarının dikkate alınmamasından kaynaklandığı görülmektedir.

KKO-PA ile elde edilen uygun çözüm otuzsekiz dakika onaltı saniyede, $\alpha=0$, $\beta=0$, $\rho=0$ ve $ks=1$ parametre değerleri kullanılarak bulunmuştur. Bu değerler bütün parametreler için ilk tanımlanan değerlerdir, bir başka deyişle, sonuca ilk çözümde ulaşılmıştır. Bu duruma, yerleştirilecek tesis sayısının az olmasının etkisi olabileceği söylenebilir.

İkinci uygulamada (D2), mevcut noktaların yanı sıra yerleşime uygun olduğu düşünülen alternatifler de hesaba katıldı. Baraj gövdesi, menba ve mansap batardoları, derivasyon tüneli, kum-çakıl ocağı ile kaya ocağının yeri ilk uygulamada olduğu gibi sabit kabul edildi. KKO-PA algoritmasına göre elde edilen ile mevcut şantiye yerleşimi ve amaç fonksiyonu değerleri Tablo 6.11’de görülmektedir.

Tablo 6.11 KKO-PA ile alternatif noktalara yerleşim ve amaç fonksiyonu değerleri

Tesis		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	Amaç fonksiyonu değeri (*10 ⁹)
Mevcut yerleşim		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	47.67
KKO-PA	D2	1	2	3	4	5	6	14	11	9	17	15	21.64

KKO-PA algoritması ile elde edilen yerleşimde amaç fonksiyonu değeri mevcut yerleşime göre % 54.6 oranında azalır. İlk uygulamaya göre daha uygun bir yerleşim elde edilmesinin nedeni yerleşim için alternatif yerlerin tanımlanmasıdır. Yalnızca mevcut noktaların kullanıldığı ilk uygulamada $26.26 \cdot 10^9$ olarak

hesaplanan amaç fonksiyonu değerinin alternatif yerlerin tanımlanması ile $21.64 \cdot 10^9$ olarak azaldığı görülmektedir.

Alternatif yerlerin tanımlandığı ikinci uygulamada, sabit tesisler dışında kalanların ilk uygulamadakinden farklı noktalara yerleştirildiği görüldü. 7 numaralı tesis olarak etiketlenen depo 14, 8 numaralı tesis olarak etiketlenen stok sahası 11, 9 numaralı tesis olarak etiketlenen konvansiyonel elektrik ve beton santrali 9, 10 numaralı tesis olarak etiketlenen SSB beton santrali 17 ve 11 numaralı tesis olarak etiketlenen prefabrike eleman üretim yeri 15 noktalarına yerleştirildiği ve amaç fonksiyonundaki azalmanın % 54.6 olduğu görüldü.

KKO-PA ile elde edilen uygun çözüm ellibir dakika ellibeş saniyede, $\alpha=0$; $\beta=0$; $\rho=0$ ve $k_s=1$ parametre değerleri kullanılarak bulunmuştur.

KKO-PA algoritması ile yapılan her iki yerleşimde, genel olarak üretimin yoğunlaştığı baraj gövdesi, menba ve mansap batardoları ile derivasyon tüneline yakın noktaların, akışın fazla olduğu tesislere tahsis edildiği görülmektedir. Mevcut yerleşim ile KKO-PA algoritmasının elde ettiği yerleşimlere ait kıyaslama Tablo 6.12’de gösterilmektedir.

Tablo 6.12 Mevcut yerleşim ile KKO-PA çözümlerinin kıyaslanması

Yerleştirilebilecek noktalar	Şantiyedeki mevcut yerleşim	KKO-PA ile mevcut noktalara göre yerleşim	KKO-PA ile alternatif noktalara göre yerleşim
1	Baraj gövdesi	Baraj gövdesi	Baraj gövdesi
2	Menba batardosu	Menba batardosu	Menba batardosu
3	Mansap batardosu	Mansap batardosu	Mansap batardosu
4	Derivasyon tüneli	Derivasyon tüneli	Derivasyon tüneli
5	Kum-çakıl ocağı	Kum-çakıl ocağı	Kum-çakıl ocağı
6	Kaya ocağı	Kaya ocağı	Kaya ocağı
7	Depo	Prefabrike eleman üretim yeri	-
8	Stok sahası	Kon. ve elekt. beton santrali	-
9	Kon. ve elekt. beton santrali	Stok sahası	Kon. ve elekt. beton santrali
10	SSB beton santrali	SSB beton santrali	-
11	Prefabrike eleman üretim yeri	Depo	Stok sahası
12	-	-	-
13	-	-	-
14	-	-	Depo
15	-	-	Prefabrike eleman üretim yeri
16	-	-	-
17	-	-	SSB beton santrali
Kazanç	-	%44.9	%54.6

7. SONUÇ VE ÖNERİLER

Mühendislik uygulamalarında analitik ve sezgisel yöntemler başarıyla geliştirilmiş ve uygulanmıştır. Son zamanlarda, bu yaklaşımlarla çözülemeyen problemler için biyolojik ortamın işleyişinin örnek alındığı yöntemler kullanılmaya başlanmış ve belirli aşamalar kaydedilmiştir. Bununla beraber yeni bir çözüm alanı olan metasezgisel yaklaşımlar gelişmiş ve mühendislik problemlerinin uygulama alanına girmiştir.

19. yüzyılın sonlarında atelye tipi üretimlerde sorun olan malzeme sirkülasyonunun minimizasyonu problemi, proje tipi üretimlerde de benzer bir sorun olarak mühendislerin gündemine gelmiştir. Şantiyelerde tesislerin nereye yerleştirilmesi konusu da aynı alanda bir problem olarak dikkat çekmektedir. Bu problemin çözümüyle malzeme iletim maliyetinin en aza indirilmesi mümkün olabilecektir.

Bu çalışmada, örnek olarak alınan Beydağ Baraj projesi silindirik sıkıştırılan beton dolgu bir baraj olup, gövde, menba ve mansap batardoları, derivasyon tüneli, kum-çakıl ve kaya ocakları mühendislik çalışmalarıyla belirlenip, KKO uygulamasında sabit yerler olarak alınacaktır. Diğer tesisler; prefabrike eleman üretimi, normal beton üretimi, SSB üretimi, depo, stok sahası, şantiye tesisleri (sosyal tesisler, atelyeler, ...) ise uygun yer aranacak tesisler olarak düşünülecektir. Bu çalışmada, malzeme taşımanın minimizasyonu düşünüldüğü için şantiye tesisleri göz önüne alınmamıştır.

Çalışmada KKO kullanılarak geliştirilen bilgisayar programı, mevcut veri setlerinde test edilmiş ve yapılan çalışmalara göre daha uygun sonuçlar elde etmiştir. Bu sonuçların elde edilebilmesi için algoritmada şu değişiklikler yapılmıştır;

- Geliştirilen algoritmada, tesis ve yer sayısının eşit olması gerekmemektedir. Ayrıca, şantiye yerleşimi, tesis şekil ve büyüklüklerinden bağımsız olarak yapılmaktadır. Gerekli olduğu durumlarda, kısıtların tanımlanmasına izin verilir. Bunlar arasında bazı tesislerin yerlerinin sabitlenmesi ya da bazı tesisler için belli yerler arasından seçim yapılabilmesi sayılabilir. Algoritma, bu özellik sayesinde gerçek problemlere daha rahat uygulanabilmektedir.
- Geliştirilen algoritma, diğer birçok metasezgisel yöntemde gerekli olan başlangıç çözümüne ihtiyaç duymamaktadır. Başlangıç çözümü oluşturmak, az sayıda tesis ve yer olması durumunda zor olmasa da, çok sayıda tesis ve yer olan büyük inşaat projelerinde uğraştırıcı ve zaman alıcı olabilmektedir.

- KKO algoritmalarında ilk feromon değerleri, literatürde genellikle “çok küçük bir değer” olarak tanımlanmakta ve bu uygulama ile probleme özgü bir veri olma özelliğinden çıkartılmaktadır. KKO-PA’da, ilk feromon değerleri sezgisel bilgiye dayalı bir başlangıç çözümüne dayanılarak hesaplanmaktadır. Böylece sezgisel bilgi ve ilk feromon değerlerinin birbirleri ile çok orantısız olması engellenmiştir.
- KKO-PA’da feromon ve sezgisel bilgi dengesini korumaya yönelik bir başka özellik, feromon güncellemesinde kullanılan ve literatürde genellikle 1 alınan Q katsayısının ρ değeri olarak alınmasıdır. Bu özellik sayesinde eklenen ve buharlaşan feromon miktarları arasında bir oranın korunması sağlanmıştır.
- KKO algoritmalarında, diğer metasezgisellerde olduğu gibi, kullanılan parametrelerin en uygun şekilde belirlenmesi gerekir. Literatürde sadece belli sayıda değer için yapılan analizler ya da önerilen parametre değerleri bulunmakta, bütün olası parametre değerlerini tarayarak en uygun çözüme ulaşılan KKO algoritması bulunmamaktadır. KKO-PA algoritması, belirlenen alt ve üst limitler ve adım aralığında en uygun parametre değerlerini bularak çözüm üretmektedir.

Geliştirilen algoritmanın Beydağ Barajı projesi uygulamasında üç farklı durum incelenmiştir. Bunlardan ilki şantiyedeki mevcut durumda taşınan malzeme miktarına göre amaç fonksiyonu değerinin belirlenmesidir. Bunun için tesislerin tümü sabit gibi alınıp, amaç fonksiyonu değeri $47.67 \cdot 10^9$ olarak elde edilmiştir. İkinci çalışmada, sabit tesislerin dışında kalan tesislerin yerleşimi mevcut seçilmiş yerler kullanılarak yeniden algoritma ile araştırılmış, bu durumda, amaç fonksiyonu değeri $26.26 \cdot 10^9$ olup, % 44.9 azalma elde edildi. Bu bir anlamda, seçilen yerlere tesislerin daha uygun dağıtılablmesinin mümkün olduğu sonucunu doğurup, problemin önemini ortaya koymaktadır. Son çalışmada ise, olası yeni yerler seçilmesi durumunda algoritmanın uygulanması biçiminde yapılmıştır. Bu durumda amaç fonksiyonunun değeri $21.64 \cdot 10^9$ olup, azalma % 54.6 olmaktadır.

Baraj şantiyelerinin kazı, tünel gibi belirsizliği fazla olan imalat kalemlerini içermesi nedeniyle yüklenicilerin düşük fiyatlar teklif etmekte olduğu bilinmektedir. Bu tip projelerde yüklenicinin kazanabilmesi için mühendislik bilgilerinin çok iyi kullanılması; doğru makinelerin seçilmesi; yardımcı tesislerin doğru inşa edilmesi ve tesis yerlerinin doğru seçilmesi gerekmektedir. Bu alanda çalışanların, teklif aşamasında hazırlanan ilk metrajlar ve olası yerler arası kuş uçuşu uzaklıkları kullanarak geliştirilen algoritmayı rahatça kullanabilecekleri düşünülmektedir.

Bu çalışma ile şantiye tesislerinin yerleştirilmesinde uygulamada önemli tasarruflar yapılabileceği gösterilmektedir.

Bu alanda çalışan araştırmacıların baraj şantiyesi yerleşimi yanında diğer şantiye türlerinde de bu ve benzeri algoritmaların uygulamalarına yönelmeleri önerilebilir. Statik şantiye yerleşiminde uygulanan algoritmanın, dinamik şantiye yerleşimi için de uygun sonuçlar üreteceği düşünülmektedir. Geliştirilen algoritma, uygulama projesindeki onbir tesisin yerleşimini yapmış olmakla beraber daha fazla tesis sayısı olması durumundaki performansının incelenmesi de bir başka çalışma konusudur. Amaç fonksiyonunun işçi gidiş-geliş süresinin minimizasyonu şeklinde düzenlenmesi, iş güvenliği ile ilgili kısıtların ve akışla ilgili diğer beklentilerin algoritmaya eklenmesi de önerilebilir. Araştırmacılar, geliştirilen algoritmayı tabu araştırma, genetik algoritma gibi diğer yöntemlerle birleştirerek melez sistemler oluşturabilir ve daha uygun sonuçlara ulaşabilirler.

Türk müteahhitlerin bu yöntemleri uygulayarak giderlerini azaltmalarının yanı sıra araştırmacılara, yeni öneriler ve problemler getirmeleri bu alandaki gelişmelere önemli katkılar sağlayacaktır.

KAYNAKLAR DİZİNİ

- Akıncı, B., Fischer, M. and Kunz, J.,** 2002, Automated generation of work spaces required by construction activities, *Journal of Construction Engineering and Management*, 128 (4): 306-314.
- Armour, G.C. and Buffa, E.S.,** 1963, A heuristic algorithm and simulation approach to relative location of facilities, *Management Science*, 9: 294-309.
- Bauer, A., Bullnheimer, B., Hartl, R.F., and Strauss, C.,** 2000, Minimizing total tardiness on a single machine using ant colony optimization, *Central European Journal for Operations Research and Economics*, 8: 125-141.
- Bayındırlık ve İskan Bakanlığı,** 1985a, Genel Teknik Şartname, Başbakanlık Basımevi, 1201s.
- Bayındırlık ve İskan Bakanlığı,** 1985b, Genel Fiyat Analizi, Başbakanlık Basımevi, 88s.
- Baykasoglu, A., Dereli, T. and Sabuncu, I.,** 2006, An ant colony algorithm for solving budget constrained and unconstrained dynamic facility layout problems, *Omega*, 34: 385-396.
- Bell, J.E. and McMullen, P.R.,** 2004, Ant colony optimization techniques for the vehicle routing problem, *Advanced Engineering Informatics*, 18, 41-48.
- Blum, C. and Blesa, M.J.,** 2003, Metaheuristics for the edge-weighted k-cardinality tree problem, Technical Report LSI-03-1-R, Department de Llenguatges i Sistemes Informatics, Universitat Politecnica de Catalunya, Barcelona, Spain.
- Blum, C. and Roli, A.,** 2003, Metaheuristics in combinatorial optimization: overview and conceptual comparison, *ACM Computing Surveys*, 35(3): 268-308.
- Bullnheimer, B., Hartl, R.F. and Strauss, C.,** 1999a, An improved ant system algorithm for the vehicle routing problem, *Annals of Operations Research*, 89: 319-328.
- Bullnheimer, B., Hartl, R.F. and Strauss, C.,** 1999b, A new rank-based version of the ant system: A computational study, *Central European Journal for Operations Research and Economics*, 7(1): 25-38.
- Buffa, E.S., Armour, G.C. and Vollman, T.E.,** 1964, Allocating facilities with craft, *Harvard Business Review*, 42(2): 136-158.
- Campos, M., Bonabeau, E., Theraulaz, G. and Deneubourg, J-L.,** 2000, Dynamic scheduling and division of labor in social insects, *Adapt Behaviour*, 8(3): 83-96.
- Casillas, J., Cordon, O., and Herrera, F.,** 2000, Learning cooperative fuzzy linguistic rules using ant colony algorithms, *Adapt Behaviour*, 8(3): 83-96.

- Chan, F.T.S. and Swarnkar, R.,** 2006, Ant colony optimization approach to a fuzzy goal programming model for a machine tool selection and operation allocation problem in an FMS, *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*, 22: 353-362.
- Chandler, I.E.,** 1978, The planning and storage of materials on site, *Building Technologie and Management*, October: 14-16.
- Chang, R-S., Chang, J-S. and Lin, P-S.,** 2009, An ant algorithm for balanced job scheduling in grids, *Future Generation Computer Systems*, 25(1): 20-27.
- Chapra, S.,C. and Canale, R.P.,** 2002, *Numerical Methods For Engineers*, McGraw Hill, New York, 926p.
- Cheng, C-B. and Mao, C-P.,** 2007, A modified ant colony system for solving the travelling salesman problem with time windows, *Mathematical and Computer Modelling*, 46: 1225-1235.
- Cheng, M.Y. and Connor, J.T.,** 1996, ArcSite: Enhanced GIS for construction site layout, *Journal of Construction Engineering and Management*, 122(4): 329-336.
- Cheung, S-O., Tong, T., K-L. and Tam, C-M.,** 2002, Site pre-cast yard layout arrangement through genetic algorithms, *Automation in Construction*, 11: 35-46.
- Chiang, W-C. and Chiang, C.,** 1998, Intelligent local search strategies for solving facility layout problems with the quadratic assignment problem formulation, *European Journal of Operational Research*, 106: 457-488.
- Christodoulou, S.,** 2009, Construction imitating ants: Resource-unconstrained scheduling with artificial ants, *Automation in Construction*, 18(3): 285-293.
- Christofides, N. and Benavent, E.,** 1989, An exact algorithm for the quadratic assignment problem, *Operations Research*, 37(5): 760-768.
- Colorni, A., Dorigo, M. and Maniezzo, V.,** 1991, Distributed optimization by ant colonies, *Proceedings of ECAL91-European Conference on Artificial Life*, Paris, Fransa, 134-142.
- Colorni, A., Dorigo, M. and Maniezzo, V.,** 1992, An investigation of some properties of an ant algorithm, *Proceedings of the Parallel Problem Solving form Nature Conference (PPSN 92)*, Brüksel, Belçika: 509-520.
- Colorni, A., Dorigo, M. and Maniezzo, V., and Trubian,** 1994, Ant System for job-shop scheduling, *JORBEL-Belgian Journal of Operations Research, Statistics and Computer Science*, 34:39-53.
- Corry, P. and Kozan, E.,** 2004, Ant colony optimisation for machine layout problems, *Computational Optimization and Applications*, 28: 287-310.
- Costa, D. and Hertz, A.,** 1997, Ants can color graphs, *Journal of Operational Research Society*, 48: 295-305.

- Dantzig, G.B.**, 1974, Linear Programming and Extensions, Princeton University Press, New Jersey.
- Davis, L.**, 1991, Handbook of Genetic Algorithms, Van Nostrand Reinhold, New York.
- De Campos, L.M., Gamez, J. A. ve Puerta, J. M.**, 2002, Learning Bayesian networks by ant colony optimization: Searching in the space of orderings, *Mathware and Soft Computation*, 9(2-3): 251-268.
- Deneubourg, J-L., Aron, S., Goss, S. and Pasteels, J-M.**, 1990, The self-organizing exploratory pattern of the Argentine ant. *Journal of Insect Behavior*, 3: 159-168.
- Di Caro, G. and Dorigo, M.**, 1997, AntNet: A mobile agents approach to adaptive routing. Technical Report IRIDIA/97-12, IRIDIA, Universite Libre de Bruxelles.
- Di Caro, G. and Dorigo, M.**, 1998, AntNet: Distributed stigmergetic control for communications networks, *Journal of Artificial Intelligence Research*, 9: 317-365
- Dorigo, M.**, 1992, Optimization, Learning and Natural Algorithms (İtalyanca), Doktora Tezi, Dipartimento di Elettronica, Politecnico di Milano, Italy, 140p.
- Dorigo, M., Di Caro, G. and Gambardella, L.M.**, 1999, Ant algorithms for discrete optimization, *Artificial Life*, 5(2): 137-172.
- Dorigo, M. and Gambardella, L.M.**, 1997a, Ant colonies for the traveling salesman problem, *BioSystems*, 43: 73-81.
- Dorigo, M. and Gambardella, L.M.**, 1997b, Ant colony system: A cooperative learning approach to the traveling salesman problem, *IEEE Transactions on Evolutionary Computation*, 1(1): 53-66.
- Dorigo, M., Maniezzo, V. and Coloni, A.**, 1991a, Positive feedback as a search strategy, Technical Report, No. 91-016, Politecnico di Milano, Italy.
- Dorigo, M., Maniezzo, V. and Coloni, A.**, 1991b, The ant system: An autocatalytic optimizing process, Technical Report, No. 91-016 (Revised), Politecnico di Milano, Italy.
- Dorigo, M., Maniezzo, V. and Coloni, A.**, 1996, Ant system: Optimization by a colony of cooperating agents, *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics-Part-B*, 26(1): 29-41.
- Dorigo, M. and Stützle, T.**, 2004, Ant Colony Optimization, The MIT Press, 305 p.
- Dressel, H.L.**, 1963, Arbeitstechnische Merkblätter für den Baubetrieb, Forschungsgemeinschaft Bauen und Wohnen, IFA-Verlag, Stuttgart, West Germany.

- Dunker, T., Radons, G. and Westkämper, E.,** 2005, Combining evolutionary computation and dynamic programming for solving a dynamic facility layout problem, *European Journal of Operational Research*, 165: 55-69.
- Easa, S.M., and Hossain, K.M.A.,** 2008, New mathematical optimization model for construction site layout, *Journal of Construction Engineering and Management*, 134(8): 653-662.
- Elbeltagi, E. and Hegazy, T.,** 2001, A hybrid AI-Based system for site layout planning in construction, *Computer-Aided Civil and Infrastructure Engineering*, 16: 79-93.
- Elbeltagi, E. and Hegazy, T. and Eldosouky, A.,** 2004, Dynamic layout of construction temporary facilities considering safety, *Journal of Construction Engineering and Management*, 130(4): 534-541.
- Elbeltagi, E., Hegazy, T., Hosny, A.H. and Eldosouky, A.,** 2001, Schedule-dependent evolution of site layout planning, *Construction Management and Economics*, 19: 689-697.
- Ellabib, I., Calamai, P. and Basir, O.,** 2007, Exchange strategies for multiple ant colony system, *Information Sciences*, 177: 1248-1264.
- El-Rayes, K. and Khalafallah, A.,** 2005, Trade-off between safety and cost in planning construction site layouts, *Journal of Construction Engineering and Management*, 131(11): 1186-1195.
- El-Rayes, K. and Said, H.,** 2009, Dynamic site layout planning using approximate dynamic programming, *Journal of Computing in Civil Engineering*, 23(2): 119-127.
- Eshghi, K. and Kazemi, M.,** 2006, Ant colony algorithm for the shortest loop design problem, *Computers & Industrial Engineering*, 50: 358-366.
- Farmer, J.D., Packard, N.H. and Perelson, A.S.,** 1986, The immune system, *Adaptation and Machine Learning*, *Physica*, 22D: 187-204.
- Fournier, J.R.L. and Pierre, S.,** 2005, Assigning cells to switches in mobile networks using ant colony optimization heuristic, *Computer Communications*, 28(1):65-73.
- Gagné, C, Price, W.L., and Gravel, M.,** 2002, Comparing an ACO algorithm with other heuristics for the single machine scheduling problem with sequence-dependent setup times, *Journal of the Operational Research Society*, 53: 895-906.
- Gambardella, L.M. and Dorigo, M.,** 1995, Ant-Q: A reinforcement learning approach to the traveling salesman problem, *Proceedings of the Twelfth International Conference on Machine Learning (ML-95)*, Palo Alto, CA, USA, 252-260.
- Gambardella, L.M. and Dorigo, M.,** 1996, Solving symmetric and asymmetric TSPs by ant colonies, *Proceedings of the 1996 IEEE International Confer-*

- ence on Evolutionary Computation (ICEC'96), IEEE Press, Piscataway, NJ, USA, 622-627.
- Gambardella, L.M. and Dorigo, M.,** 1997, HAS-SOP: An hybrid ant system for the sequential ordering problem. Technical Report IDSIA-11-97, IDSIA, Lugano, Switzerland.
- Gambardella, L.M. and Dorigo, M.,** 2000, An ant colony system hybridized with a new local search for the sequential ordering problem, *INFORMS Journal on Computing*, 12(3): 237-255.
- Gates, M. and Scarpa, A.,** 1978, Optimum location of construction haul roads, *J. Constr. Div., ASCE*, 104(4): 395-407.
- Gharaie, E., Afshar, A. and Jalali, M.R.,** 2006a, Site layout optimization with ACO algorithm, *Proceedings of the 5th WSEAS Int. Conf. on Artificial Intelligence, Knowledge Engineering and Data Bases*, Madrid, Spain, 90-94.
- Gharaie, E., Afshar, A. and Kaveh, A.,** 2006b, Dynamic site layout optimization; ant colony optimization approach, *Joint International Conference on Computing and Decision Making in Civil and Building Engineering*, Montreal, Canada, 1144-1154.
- Glover, F.,** 1989, Tabu Search-Part I, *ORSA Journal on Computing*, 1(3): 190-206.
- Glover, F.,** 1990, Tabu Search-Part II, *ORSA Journal on Computing*, 2(1): 4-32.
- Glover, F. and Laguna, M.,** 1995, *Modern Heuristic Techniques For Combinatorial Problems*, McGraw Hill, New York.
- Goldberg, D.E.,** 1989, *Genetic Algorithms in Search, Optimisation and Machine Learning*, Addison-Wesley, Reading, MA.
- Goss, S., Aron, S., Deneubourg, J-L. and Pasteels, J-M.,** 1989, Self-organized shortcuts in the Argentine ant, *Naturwissenschaften*, 76: 579- 581.
- Handa, V. and Lang, B.,** 1987, *Site Planning Elements*, University of Waterloo and Construction Management Group and Construction Safety Association of Ontario, Canada.
- Handa, V. and Lang, B.,** 1988, Construction site planning, *Construction Canada*, 30 (3): 43-49.
- Handa, V. and Lang, B.,** 1989, Construction site efficiency, *Construction Canada*, 31 (1): 40-48.
- Hegazy, T. and Elbeltagi, E.,** 1999, Evosite: Evolution-based model for site layout planning, *Journal of Computing in Civil Engineering*, 13(3): 198-206.
- Housse, M., Snyers, D., Guerin, S. and Kuntz, P.,** 1998, Adaptive agent-driven routing and load balancing in communication networks, *Advances in Complex Systems*, 1(2):237-254.
- Holland, J.H.,** 1975, *Adaptation in Natural and Artificial Systems*, University of Michigan Press, Ann Arbor, MI.

- Horzum, U.S.**, 2009, Sözlü görüşme.
- Hsiao, Y-T., Chuang, C-L. and Chien, C-C.**, 2004, Ant colony optimization for best path planning, International Symposium on Communications and Information Technologies (ISCIT 2004), Sapporo, Japan, 109-113.
- Jang, H., Lee, S. and Choi, S.**, 2007, Optimization of floor-level construction material layout using genetic algorithms, *Automation in Construction*, 16: 531-545.
- Ji, J-Z., Zhang, H-X., Hu, R-B. and Liu, C-N.**, 2009, A Bayesian network learning algorithm based on independence test and ant colony optimization, *Acta Automatica Sinica*, 35(3): 281-288.
- Kadano, D., Izumi, T., Ooshita, F., Kakugawa, H. and Masuzawa, T.**, 2010, An ant colony optimization routing based on robustness for ad hoc networks with GPSs, *Ad Hoc Networks*, 8(1), 63-76.
- Kahraman, A.M ve Özdağlar, D.**, 2004, Su dağıtım sistemlerinin genetik algoritma ile optimizasyonu, *DEÜ Mühendislik Fakültesi Fen ve Mühendislik Dergisi*, 6(3): 1-18.
- Kaplan, A.**, 2001, Nümerik Tabu Arama Algoritması, Doktora Tezi, Erciyes Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 175s.
- Karaboğa, D.**, 2004, Yapay Zeka Optimizasyon Algoritmaları, Atlas Yayın Dağıtım, İstanbul, 199s.
- Kirkpatrick, S., Gelatt, C.D. and Vecchi, P.M.**, 1983, Optimization by simulated annealing, *Science*, 220: 671-680.
- Kochhar, J.S., Foster, B.T. and Heragu, S.S.**, 1998, HOPE: A genetic algorithm for the unequal area facility layout problem, *Computers and Operational Research*, 25(7-8): 583-594.
- Kuan, S.N., Ong, H.L. and Ng, K.M.**, 2006, Solving the feeder bus network design problem by genetic algorithms and ant colony optimization, *Advances in Engineering Software*, 37: 351-359.
- Kusiak, A. and Heragu, S.S.**, 1987, The facility layout problem, *European Journal of Operational Research*, 29: 229-251.
- Lam, K-C., Ning, X. and Ng, T.**, 2007, The application of the ant colony optimization algorithm to the construction site layout planning problem, *Construction Management and Economics*, 25: 359-374.
- Lam, K.C., Tang, C.M. and Lee, W.C.**, 2005, Application of the entropy technique and genetic algorithms to construction site layout planning of medium-size projects, *Construction Management and Economics*, 23: 127-145.
- Lavenberg, K.**, 1944, A method for the solution of certain nonlinear problems in least squares, *Quart. Appl. Math.*, 2: 164-168.
- Lee, R.C. and Moore, J.M.**, 1967, CORELAP-Computerized relationship layout planning, *Journal of Industrial Engineering*, 18(3): 195-200.

- Li, H. and Love, P.E.D.**, 1998, Site-level facilities layout using genetic algorithms, *Journal of Computing in Civil Engineering*, 12(4): 227-231.
- Li, H. and Love, P.E.D.**, 2000, Genetic search for solving site-level unequal-area facility layout problems, *Automation in Construction*, 9: 217-226.
- Li, S.G. and Rong, Y.L.**, 2009, The reliable design of one-piece flow production system using fuzzy ant colony optimization, *Computers & Operations Research*, 36(5): 1656-1663.
- Liao, C-J. and Juan, H-C.**, 2007, An ant colony optimization for single-machine tardiness scheduling with sequence-dependent setups, *computers & Operations Research*, 34(7): 1899-1909.
- Liggett, R.**, 2000, Automated facilities layout: past, present and future, *Automation in Construction*, 9: 197-215.
- Lourenço, H. and Serra, D.**, 1998, Adaptive approach heuristics for the generalized assignment problem, Technical Report No. 304, Universitat Pompeu Fabra, Department of Economics and Management, Barcelona, Spain.
- Lourenço, H. and Serra, D.**, 2002, Adaptive search heuristics for the generalized assignment problem, *Mathware and Soft Computing*, 9(2-3): 209-234.
- Lu, M., Chan, W-H., Zhang, J-P. and Cao, M.**, 2007, Generic process mapping and simulation methodology for integrating site layout and operations planning in construction, *Journal of Computing in Civil Engineering*, 21(6): 453-462.
- Luo, X., Sun, Z. and Fan, X.**, 2006, An intensified ant colony system algorithm applied to a class of air vehicle route planning problem, *Proceedings of the 6th World congress on Intelligent Control and Automation*, Dalian, China, 3566-3570.
- Ma, Z., Shen, Q. and Zhang, J.**, 2005, Application of 4D for dynamic site layout and management of construction projects, *Automation in Construction*, 14: 369-381.
- Maher, R.H. and Stark, R.M.**, 1981, Earthmoving logistics, *J. Constr. Div.*, ASCE, 107(2): 197.
- Maniezzo, V.**, 1999, Exact and approximate nondeterministic tree-search procedures for the quadratic assignment problem, *INFORMS Journal on Computing*, 11(4): 358-369.
- Maniezzo, V. and Carbonaro, A.**, 2000, An ANTS heuristic for the frequency assignment problem, *Future Generation Computer Systems*, 16(8): 927-935.
- Maniezzo, V. and Coloni, A.**, 1999, The ant system applied to the quadratic assignment problem, *IEEE Transactions on Data and Knowledge Engineering*, 11(5): 769-778.
- Maniezzo, V., Coloni, A. and Dorigo, M.**, 1994, The ant system applied to the quadratic assignment problem, Technical Report IRIDIA/94-28, IRIDIA, Universite Libre de Bruxelles, Brussels.

- Marimuthu, S., Ponnambalam, S.G. and Jawahar, N.,** 2009, Threshold accepting and Ant-Colony optimization algorithms for scheduling m-machine flow shops with lot streaming, *Journal of Materials Processing Technology*, 209(2): 1026-1041.
- Marquardt, D.W.,** 1963, An algorithm for least-squares estimation of nonlinear parameters, *J. Soc. Ind. Appl. Math.*, 11: 431-441.
- Mathews, J.H.,** 1992, *Numerical Methods For Mathematics, Science, and Engineering*, Prentice-Hall, New Jersey, 646p.
- Mawdesley, M.J., Al-Jibouri, S.H. and Yang, H.,** 2002, Genetic algorithms for construction site layout in project planning, *Journal of Construction Engineering and Management*, 128 (5): 418-426.
- Mawdesley, M.J. and Al-Jibouri, S.H.,** 2003, Proposed genetic algorithms for construction site layout, *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, 16: 501-509.
- Mazzeo, S. and Loiseau, I.,** 2004, An ant colony algorithm for the capacitated vehicle routing, *Electronic Notes in Discrete Mathematics*, 18: 181-186.
- McKendall Jr., A.R., and Shang, J.,** 2006, Hybrid ant systems for the dynamic facility layout problem, *Computers and Operations Research*, 33: 790-803.
- Merkle, D. and Middendorf, M.,** 2003, Ant colony optimization with global pheromone evaluation for scheduling a single machine, *Applied Intelligence*, 18: 105-111.
- Merkle, D., Middendorf, M. and Schmeck, H.,** 2002, Ant colony optimization for resource-constrained project scheduling, *IEEE Transactions on Evolutionary Computation*, 6: 333-346.
- Moore, J.,** 1980, Computer methods in facility layout, *Industrial Engineering*, 19: 82-93.
- Muther, R.,** 1961, *Systematic layout planning*, Industrial Education Institute, Boston, MA.
- Nabiyev, V.V.,** 2005, *Yapay Zeka Problemler-Yöntemler-Algoritma*, Seçkin Yayıncılık, Ankara, 764s.
- Neil, J.M.,** 1980, Teaching site layout for construction, *Proc. ASCE Convention*, ASCE.
- Neil, J.M.,** 1982, *Steam-electric Generating Station Construction*, M-K Power Group, Morrison Knudson Inc., Boise, Idaho, 7-11-7-29.
- Osman, H.M., Georgy, M.E. and Ibrahim, M.E.,** 2003, A hybrid CAD-based construction site layout planning system using genetic algorithms, *Automation in Construction*, 12: 749-764.
- Qi, C.,** 2007, A modified ant algorithm for solving the quadratic assignment problem, *Proceedings of International Conference on Intelligent Pervasive Computing*, Jeju Island, Korea, 452-455.

- Parpinelli, R.S., Lopes, H.S. ve Freitas, A.A.,** 2002, Data mining with an ant colony optimization algorithm, *IEEE Transactions on Evolutionary Computation*, 6(4): 321-332.
- Parsons, R.M. and Pachuta, J.D.,** 1980, System for material movement to work areas, *J. Constr. Div., ASCE*, 106 (1): 55-71.
- Pfahring, B.,** 1996, Multi-agent search for open shop scheduling: Adapting the Ant-Q formalism, Technical Report TR-96-09, Austria Research Institute, Austrian Research Institute for Artificial Intelligence, Vienna.
- Pham, D.T., Karaboğa, D.,** 2000, Intelligent Optimisation Techniques, Genetic Algorithms, Tabu Search, Simulated Annealing and Neural Networks, *Advanced Manufacturing Series*, Springer-Verlag, London.
- Popescu, C.,** 1980, Temporary facilities - utilities designing steps, *Proc. ASCE Convention*, ASCE.
- Pour, H.D. and Nosraty, M.,** 2006, Solving the facility and layout and location problem by ant-colony optimization-meta heuristic, *International Journal of Production Research*, 44(23): 5187-5196.
- Rad, P.F. and James, B.M.,** 1983, The layout of temporary construction facilities, *Construction Engineering*, 25 (2): 19-27.
- Randall, M. and Lewis, A.,** 2002, A parallel implementation of ant colony optimization, *Journal of Parallel and Distributed Computing*, 62: 1421-1432.
- Reimann, M. and Laumanns, M.,** 2006, Savings based ant colony optimization for the capacitated minimum spanning tree problem, *Computers & Operations Research*, 33(6): 1794-1822.
- Rodriguez-Ramos, W.E.,** 1982, Quantitative Techniques For Construction Site Layout Planning, PhD. thesis, Univ. of Florida, Gainesville, Florida.
- Rodriguez-Ramos, W.E. and Francis, R.L.,** 1983, Single crane location optimization, *J. Constr. Div., ASCE*, 109(4): 387-397.
- Rosenblatt, M.,** 1986, The dynamics of plant layout, *Management Science*, 32(1): 363-371.
- Rossi, A. and Boschi, E.,** 2009, A hybrid heuristic to solve the parallel machines job-shop scheduling problem, *Advances in Engineering Software*, 40: 118-127.
- Rossi, A. and Dini, G.,** 2007, Flexible job-shop scheduling with routing flexibility and separable setup times using ant colony optimisation method, *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*, 23(5): 503-516.
- Sabuncuoglu, I., Erel, E. and Alp, A.,** 2009, Ant colony optimization for the single model U-type assembly line balancing problem, *International Journal of Production Economics*, 120(2): 287-300.
- Sadehpour, F., Moselhi, O. and Alkass, S.,** 2004, A CAD-based model for site planning, *Automation in Construction*, 13: 701-715.

- Sadeghpour, F., Moselhi, O. and Alkass, S.T.**, 2006, Computer-aided site layout planning, *Journal of Construction Engineering and Management*, 132(2): 143-151.
- Sağıroğlu, Ş., Beşdok, E. ve Erler, M.**, 2003, Mühendislikte Yapay Zeka Uygulamaları-I: Yapay Sinir Ağları, *Ufuk Yayıncılık, Kayseri*, 426s.
- Sanad, H.M., Ammar, M.A. and Ibrahim, M.E.**, 2008, Optimal construction site layout considering safety and environmental aspects, *Journal of Construction Engineering and Management*, 134(7): 536-544.
- Sankur, B., Ulusoy, G. ve Kalyan, A.R.**, 1981, Yöneylem Araştırması Terimleri Sözlük Taslağı, Boğaziçi Üniversitesi Teknoloji ve Sistem Araştırmaları Enstitüsü, 51s.
- Schoonderwoerd, R., Holland, O., Bruten, J. and Rothkrantz, L.**, 1996, Ant-based load balancing in telecommunications networks, *Adaptive Behaviour*, 5(2): 169-207.
- Seehof, J.M. and Evans, W.O.**, 1967, Automated layout design program, *Journal of Industrial Engineering*, 18: 690-695.
- Shyu, S.J., Lin, B.M.T. and Hsiao, T-S.**, 2006, Ant colony optimization for the cell assignment problem in PCS networks, *Computers & Operations Research*, 33(6): 1713-1740.
- Soltani, A.R. and Fernando, T.**, 2004, A fuzzy based multi-objective path planning of construction sites, *Automation in Construction*, 13: 717-734.
- Stark, R.M. and Mayer, R.H.**, 1983, Quantitative construction management: Uses of linear optimization, *John Wiley & Sons, New York*.
- Stützle, T.**, 1997, MAX-MIN Ant system for the quadratic assignment problem, Technical Report AIDA-97-4, FG Intellektik, FB Informatik, TU Darmstadt, Germany.
- Stützle, T.**, 1999, Local search algorithms for combinatorial problems: Analysis, improvements and new applications, Vol. 220 of DISKI, Sankt Augustin, Germany, Infix.
- Stützle, T. and Dorigo, M.**, 1999, ACO algorithms for the traveling salesman problem, *Evolutionary Algorithms in Engineering and Computer Science*: 163-183, In K.Miettinen, M. M. Mäkelä, P. Neittaanmäki and J. Périaux (Eds), Chichester, UK, John Wiley&Sons.
- Stützle, T. and Dorigo, M.**, 2003, The Ant Colony Optimization Metaheuristic: Algorithms, Applications, and Advances, *Handbook of Metaheuristics*, Eds. Glover, F. and Kochenberger, G. Kluwer Academic Publishers, Norwell, MA.
- Stützle, T. and Hoos, H.H.**, 1997, The MAX-MIN ant system and local search for the traveling salesman person. *Proceedings of the IEEE International Conference on Evolutionary Computation (ICEC'97)*, Indianapolis, Indiana, 308-313.

- Stützle, T. and Hoos, H.H.**, 2000, MAX-MIN ant system, *Future Generation Computer Systems*, 16(8): 889-914.
- Su, B.A. ve Aslan, D.**, 1997, Tesis Planlama, Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Yayınları, No:201, 152s.
- Taha, H.A.**, 1997, *Operations Research: An Introduction*, Prentice-Hall Inc., U.S.A, 916p.
- Tam, C.M., Tong, T.K.L. and Chan, W.K.W.**, 2001, Genetic algorithm for optimizing supply locations around tower crane, *Journal of Construction Engineering and Management*, 127(4): 315-321.
- Tam, C.M. and Tong, T.K.L.**, 2003, GA-ANN model for optimizing the locations of tower crane and supply points for high-rise public housing construction, *Journal of Construction Management and Economics*, 21(3): 257-266.
- Tate, D.M. and Smith, A.E.**, 1995, Unequal-area facility layout by genetic search, *IIE Transactions* 27(4): 465-472.
- Tavakkoli-Moghaddain, R. and Shayan, E.**, 1998, Facilities layout design by genetic algorithms, *Computers and Industrial Engineering*, 35(3-4): 527-530.
- Thomas, C.M., Tong, T.K.L., Leung, A.W.T. and Chiu, G.W.C.**, 2002, Site layout planning using nonstructural fuzzy decision support system, *Journal of Construction Engineering and Management*, 128(3): 220-231.
- Tompkins, J.A., White, J.A., Bozer, Y.A., Frazelle, E.H., Tanchoco, J.M.A. and Trevino, J.**, 1996, *Facilities Planning*, John Wiley and Sons, New York.
- Tommelein, I.D., Levitt, R.E., Hayes-Roth, B. and Confrey, T.**, 1991, SightPlan experiments: Alternate strategies for site layout design, *Journal of Computing in Civil Engineering*, 5 (1): 42-63.
- Tommelein, I.D., Levitt, R.E. and Hayes-Roth, B.**, 1992a, Site-layout modeling: How can artificial intelligence help?, *Journal of Construction Engineering and Management*, 118(3): 594-611.
- Tommelein, I.D., Levitt, R.E. and Hayes-Roth, B.**, 1992b, SightPlan model for site layout, *Journal of Construction Engineering and Management*, 118(4): 749-766.
- Tsai, C-F., Tsai, C-W. and Tseng C-C.**, 2004, A new hybrid heuristic approach for solving large traveling salesman problem, *Information Sciences*, 166: 67-81.
- Tseng, S-Y., Lin, C-C. and Huang, Y-M.**, 2008, Ant colony-based algorithm for constructing broadcasting tree with degree and delay constraints, *Expert Systems with Applications*, 35(3): 1473-1481.
- Tulunay, Y.**, 1982, İşletme Matematiği, Önsöz Basım ve Yayıncılık Koll. Şti, İstanbul, 627s.

- Uğur, A. and Aydın, D.,** 2009, An interactive simulation and analysis software for software for solving TSP using ant colony optimization algorithms, *Advances in Engineering Software*, 40: 341-349.
- Van der Put, R.,** 1998, Routing in the faxfactory using mobile agents. Technical Report R&D-SV-98-276, KPN Research, The Netherlands.
- Vollman, T.E. and Buffa, E.S.,** 1966, The facilities layout problem in perspective, *Management Science*, 12(10): 450-468.
- Yang, Y.J. and Wu, C.,** 2009, An attribute-based ant colony system for adaptive learning object recommendation, *Expert Systems with Applications*, 36(2): 3034-3047.
- Yagmahan, B. and Yenisey, M.M.,** 2008, Ant colony optimization for multi-objective flow-shop scheduling problem, *Computers & Industrial Engineering*, 54(3): 411-420.
- Yagmahan, B. and Yenisey, M.M.,** 2009, A multi-objective ant colony system algorithm for flow shop scheduling problem, *Expert Systems with Applications*, in press.
- Yeh, I-C,** 1995, Construction-site layout using annealed neural network, *Journal of Computing in Civil Engineering*, 9(3): 201-208.
- Walsh, G.R.,** 1979, *Methods of Optimization*, A Wiley-Interscience, New York, 220p.
- Wang, J., Osegie, E., Thulasiraman, P. and Thulasiram, R.K.,** HOPNET: A hybrid ant colony optimization routing algorithm for mobile ad hoc network, *Ad Hoc Networks*, 7(4): 690-705.
- Wang, H. and Shen, J.,** 2007, Heuristic approaches for solving transit vehicle scheduling problem with route and fueling time constraints, *Applied Mathematics and Computation*, 190: 1237-1249.
- Watcharasitthiwatt, K. and Wardkein, P.,** 2009, Reliability optimization of topology communication network design using ant colony optimization, *Computers & Electrical Engineering*, 35(5): 730-747.
- Weidemer, J.,** 1986, Layout of power station construction sites, ESAA Conference, Section 1-Generation, Port Augusta, Australia, 6B. 1-6B.9.
- Wu, Z., Zhao, N., Ren, G. and Quan, T.,** 2009, Population declining ant colony optimization algorithm and its applications, *Expert Systems with Applications*, 36: 6276-6281.
- Zhang, J.P., Liu, L.H. and Coble, R.J.,** 2002, Hybrid intelligence utilization for construction site layout, *Automation in Construction*, 11: 511-519.
- Zhang, T., Tian, W-X., Zhang, Y-J. and Liu, S-X.,** 2008, Improved ant colony system for VRPSPD with maximum distance constraint, *Systems Engineering- Theory & Practice*, 28(1): 132-140.

- Zhang, X. and Tang, L.,** 2009, A new hybrid ant colony optimization algorithm for the vehicle routing problem, *Pattern Recognition Letters*, 30: 848-855.
- Zhou, F, AbouRizk, S.M. and Al-Battaineh, H.,** 2009, Optimisation of construction site layout using a hybrid simulation-based system, *Simulation Modelling Practice and Theory*, 17(2): 348-363.
- Zouein, P.P. and Tommelein, I.D.,** 1999, Dynamic layout planning using a hybrid incremental solution method, *Journal of Construction Engineering and Management*, 125(6): 400-408.
- Zouein, P.P. and Tommelein, I.D.,** 2001, Improvement algorithm for limited space scheduling, *Journal of Construction Engineering and Management*, 127(2): 116-124.
- Zouein, P.P., Harmanani, H. and Hajar, A.,** 2002, Genetic algorithm for solving site layout problem with unequal-size and constrained facilities, *Journal of Computing in Civil Engineering*, 16(2): 143-151.

ÖZGEÇMİŞ

Gülben Çalış, 1976 yılında İzmir’de doğdu. İlköğretimini Mustafa Urcan İlkokulu’nda tamamladı. Ortaöğretimine başladığı Bornova Anadolu Lisesi’nden 1994 yılında mezun oldu.

1994 yılında girdiği İstanbul Teknik Üniversitesi, İnşaat Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü’nü 1998 yılında tamamladı. 2001 yılında Ege Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı’nda Yüksek Lisans eğitime başlayıp 2004 yılında tamamladı. Aynı sene Ege Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı’nda Doktora eğitimine başladı.