KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

İSTATİSTİK VE BİLGİSAYAR BİLİMLERİ ANABİLİM DALI

YAPAY ARI KOLONİ ALGORİTMASI KULLANILARAK ÇOKGENSEL GÜVEN BÖLGESİNİN BELİRLENMESİ VE MADEN OCAKLARINA UYGULANMASI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Ülkü ÜNSAL

HAZİRAN 2014
TRABZON

KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

İSTATİSTİK VE BİLGİSAYAR BİLİMLERİ ANABİLİM DALI

YAPAY ARI KOLONİ ALGORİTMASI KULLANILARAK ÇOKGENSEL GÜVEN BÖLGESİNİN BELİRLENMESİ VE MADEN OCAKLARINA UYGULANMASI

Ülkü ÜNSAL

Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsünce
"YÜKSEK LİSANS (İSTATİSTİK)"
Unvanı Verilmesi İçin Kabul Edilen Tezdir.

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 03.06.2014
Tezin Savunma Tarihi : 23.06.2014

Tez Danışmanı : Yrd. Doç. Dr. Orhan KESEMEN

Trabzon 2014

Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü
İstatistik ve Bilgisayar Bilimleri Anabilim Dalında
Ülkü ÜNSAL tarafından hazırlanan

YAPAY ARI KOLONİ ALGORİTMASI KULLANILARAK ÇOKGENSEL GÜVEN BÖLGESİNİN BELİRLENMESİ VE MADEN OCAKLARINA UYGULANMASI

başlıklı bu çalışma, Enstitü Yönetim Kurulunun 03 / 06 / 2014 gün ve 1556/03 sayılı kararıyla oluşturulan jüri tarafından yapılan sınavda
YÜKSEK LİSANS TEZİ
olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri

Başkan	**: Prof. Dr. Ayhan KESİMAL**	**…...……………………………**
Üye	**: Yrd. Doç. Dr. Orhan KESEMEN**	**…...……………………………**
Üye	**: Yrd. Doç. Dr. H. İbrahim ŞAHİN**	**……...…………………………**

Prof. Dr. Sadettin KORKMAZ
Enstitü Müdürü

ÖNSÖZ

Çalışmam süresince her türlü yardım ve fedakârlığı sağlayan, bilgi, tecrübe ve güler yüzü ile çalışmama ışık tutan, bu çalışma ile kendimi geliştirmemde yardımcı olan, tez danışmanım Sayın Yrd. Doç. Dr. Orhan KESEMEN'e,

Tezimin yazım aşamasında yardımcı olan araştırma görevlisi arkadaşlarıma,

Tezimin her aşamasında maddi manevi desteklerini esirgemeyen eşim Serbülent ÜNSAL'a ve eğitim hayatım boyunca her zaman yanımda olan aileme teşekkür ederim.

Ülkü ÜNSAL

Trabzon 2014

TEZ BEYANNAMESİ

Yüksek Lisans Tezi olarak sunduğum "Yapay Arı Koloni Algoritması Kullanılarak Çokgensel Güven Bölgesinin Belirlenmesi Ve Maden Ocaklarına Uygulanması" başlıklı bu çalışmayı baştan sona kadar danışmanım Yrd. Doç. Dr. Orhan KESEMEN'in sorumluluğunda tamamladığımı, verileri/örnekleri kendim topladığımı, deneyleri/analizleri ilgili laboratuvarlarda yaptığımı/yaptırdığımı, başka kaynaklardan aldığım bilgileri metinde ve kaynakçada eksiksiz olarak gösterdiğimi, çalışma sürecinde bilimsel araştırma ve etik kurallara uygun olarak davrandığımı ve aksinin ortaya çıkması durumunda her türlü yasal sonucu kabul ettiğimi beyan ederim. 03/06/2014

Ülkü ÜNSAL

İÇİNDEKİLER

<u>Sayfa No</u>

Yüksek Lisans

ÖZET

YAPAY ARI KOLONİ ALGORİTMASI KULLANILARAK ÇOKGENSEL GÜVEN BÖLGESİNİN BELİRLENMESİ VE MADEN OCAKLARINA UYGULANMASI

Ülkü ÜNSAL

Karadeniz Teknik Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
İstatistik ve Bilgisayar Bilimleri Anabilim Dalı
Danışman: Yrd. Doç. Dr. Orhan KESEMEN
2014, 53 Sayfa

Bu çalışmada, tek değişkenli olasılık fonksiyonlarında kullanılan güven bölgesi kavramının iki değişkenli olasılık yoğunluk fonksiyonuna genelleştirilmesi yapılmıştır. İki değişkenli olasılık fonksiyonlarında güven sınırları çokgensel yaklaşım ile ortaya konmuştur. Çokgensel bölgeyi belirlemek için Doğru Tabanlı Yapay Arı Koloni algoritması kullanılmıştır. Bu algoritmada, çokgensel bölge rastgele örnekler yardımıyla üçgenlere ayrılarak üçgenlerin sınırları üzerinde ardışık rastgele noktalar seçilmektedir. Bu noktaların birleşmesi ile bir çokgensel bölge oluşturulmaktadır. Daha sonra bu bölge iyileştirilerek istenen güven düzeyinde en dar bölge seçilmektedir.

Geliştirilen yöntem, işletilecek bölgenin otomatik olarak belirlenmesinde kullanılmıştır. Bunun için yapay sondaj verileri kullanılmış, bu veriler iki değişkenli olasılık değerlerine benzetilerek çözüme gidilmiştir.

Anahtar Kelimeler: *İki Değişkenli Güven Bölgesi, Yapay Arı Koloni Algoritması, Çok Amaçlı Optimizasyon, Açık Maden Ocakları*.

Master Thesis

SUMMARY

DETERMINING POLYGONAL CONFIDENCE ZONE WITH ARTIFICIAL BEE COLONY ALGORITHM AND AN APPLICATION IN MINES

Ülkü ÜNSAL

Karadeniz Technical University
The Graduate School of Natural and Applied Sciences
Statistics and Computer Science Graduate Program
Supervisor: Assist. Prof. Orhan KESEMEN

2014, 53 Pages

In this study, confidence zone concept used in univariate probability functions is generalized to bivariate probability density function. Borders of confidence zone in bivariate probability functions were set forth by using polygonal approach. Line based artificial bee colony algorithm was used to determine polygonal area. In this method, polygonal area was triangulated by using random samples as first step, then sequential random points were selected on the borders of triangles. A polygonal area was created by assembling these points. In the next step, this zone was improved and minimum area was selected which has desired confidence level.

Developed method was used for determination of mining zones automatically by using artificial drilling data. Solution was formed with simulation of artificial drilling data to bivariate probability values.

Key Words: *Bivariate Confidence Zone, Artificial Bee Colony Algorithm, Multi-Objective Optimization, Open Pit Mines.*

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa No

SEMBOLLER DİZİNİ

$x_1, x_2, \dots, x_n$	: Rastgele örnek değerleri
n	: Örneklemin büyüklüğü (örnek sayısı)
$\bar{x}$	: Rastgele örnek değerlerinin aritmetik ortalaması
S	: Örneklemin standart sapması (veya S_x)
$\hat{\theta}$	: Örneklemden elde edilen parametre
θ	: Tahmin edilecek parametre
Pr(…)	: Olasılık fonksiyonu
p, q	: Sırasıyla bir olayın gerçekleşme ve gerçekleşmeme olasılıkları
ϵ	: Tolerans değeri (hesaplanabilen en küçük sayı değeri)
μ, σ	: Sırasıyla popülasyonun ortalaması ve standart sapması (veya μ_x, σ_x)
α	: Anlamlılık seviyesi
$1 - \alpha$	: Güven düzeyi
L, U	: Sırasıyla güven alt ve üst sınırları
Z dağılımı	: Standart normal dağılım
$rand(a, b)$	: [a, b] aralığında düzgün dağılımdan rastgele bir sayı üretir
$irand(1, J)$	: 1 ile J arasında düzgün dağılımdan tamsayı rastgele sayı üretir

1. GENEL BİLGİLER

1.1. Giriş

Günümüzde ekonomik yarış içerisine girmiş ülkelerin, diğer ülkelere göre daha hızlı gelişebilmesi için doğal kaynaklarını etkili bir şekilde kullanması gerekmektedir. Bu doğal kaynakların elde edilmesi sürecinde yapılan harcamalar yine ülke kaynaklarından karşılandığından bu kaynakların da etkili kullanılması gerekir. Ülkemizde kaynakların etkili kullanılmasının yolu, verimlilik ilkesinin ön plana çıkarılmasıdır. Verimlilik ilkesinde amaç en az harcamayla en fazla girdi elde etmektir.

Optimizasyon yöntemlerinin son yıllarda rağbet görmesi endüstride yaygın bir şekilde kullanılmasıyla gerçekleşmiştir.

Bu çalışmada, hem temel istatistik yöntemlerinden olan güven aralığının iki boyuta genelleştirilmesi yapılmış hem de bu yöntem açık maden ocaklarının sınırlarının belirlenmesinde kullanılmıştır.

1.2. İstatistiksel Tahminleme

Örneklemden elde edilen bilgiler kullanılarak hesaplanan istatistiklere *tahminleyici*, bir tahminleyicinin hesaplanan değerine “tahmin” adı verilir (URL-4).

İstatistiksel tahminin iki türü vardır:

- Nokta Tahmini
- Aralık Tahmini

1.3. Nokta Tahmini

Örneklem gözlem değerlerini kullanarak hesaplanan bir istatistiğin değerini, bilgi ürettiği parametre değerine eşit alan tahmin sürecine “nokta tahmini” denir.

Tahmin yapılırken bir istatistiğin örnekleme dağılımı ve onun özelliklerinden yararlanılır. Bir araştırma için gerekli örneklem oluşturulmadan önce, örneklem değerleri $x_1, x_2, \dots, x_n$ birer rastgele değişkendir. Bunları kullanarak hesaplanan bir istatistik $\hat{\theta}$ $(\bar{x}\,,\ p, \bar{x}_1 - \bar{x}_2\,, p_1 - p_2\,, s\,, \dots\ )$’da rastgele değişkendir (URL-4).

1.3.1. Nokta Tahminleyicisinin Özellikleri

1. Yansızlık: n hacimli bir örneklemden elde edilen $\hat{\theta}$ istatistiğine ait bir özellik değil, bu istatistiğin örnekleme dağılımına ait bir özelliktir.

İyi bir tahminleyicinin örnekleme dağılımı tahmin edilecek parametrenin yakınında oluşur. Bir tahmin edicinin $(\hat{\theta})$ örnekleme dağılımının ortalaması tahmin edilecek parametreye (θ) eşit ise, bu $\hat{\theta}$ tahminleyicisi θ'nın yansız kestiricisidir. Bu durum, $E\{\hat{\theta}\} = \theta$ eşitliği ile ifade edilir.

Bir tahminleyicinin yansız veya yanlı olması kuramsal olarak gösterilebilir fakat yanlılık miktarı hesaplanamaz. Çünkü θ parametre değeri bilinemez (URL-4).

2. Tutarlılık: Örneklem hacmi artarken, $\hat{\theta}$ tahminleyicisinin değeri θ değerine yaklaşıyorsa bu $\hat{\theta}$ tahminleyicisi θ'nın tutarlı tahminleyicisidir ve bu tahminleyici kullanılarak hesaplanan tahmin tutarlı tahmindir. Diğer yandan hataların $(\hat{\theta} - \theta)$ örnekleme bölünmesinin ortalamasının sıfıra yaklaşması anlamına gelir. Tutarlılık kriteri yanlılığın azalmasını sağlar.

Tutarlılık kriteri matematiksel olarak $\lim_{n\to\infty} Pr\left(\left|\hat{\theta} - \theta\right| < \epsilon\right) = 1$ eşitliği ile açıklanır (URL-4).

3. Etkinlik: Bir yansız tahminleyicinin etkinliği onun varyansının örnekleme dağılımı ile ölçülür. Eğer aynı n hacimli örneklem için söz konusu olan iki tahminleyici yansız tahminleyici ise, bunlardan varyansı küçük olan tahminleyici diğerine göre daha etkin tahminleyicidir. Bu tahminleyici ile hesaplanan tahmin daha etkin tahmindir (URL-4).

4. Yeterlilik: Örneklem gözlem değerinin tamamının kullanılmasıyla hesaplanan istatistiklere "yeterli tahminleyici", yapılan tahmine de "yeterli tahmin" adı verilir.

$\bar{x}$ ve p sırasıyla μ ve P'nin yeterli tahminleyicisi sayılırlar. Mod ve medyan μ'nün yeterli olmayan tahminleyicisidir (URL-4).

1.4. Aralık Tahmini

Güvenirliği somut bir şekilde ortaya koymak için “güven aralığı” kavramı geliştirilmiştir ve güven aralığı tahmin edilecek parametreyi kapsayan alanı gösteren bir çift sınır veya limit kullanır. Güven sınırları adı verilen bu sınırlardan birisi alt sınır (L), diğeri ise üst sınır (U)’dır.

Örneklem istatistiklerinin değerleri ve standart hataları örneklemden örnekleme değiştiğinden güven aralıklarının sınır değerleri de değişir, güven aralığı genişler ya da daralır. Bir örneklem istatistiği için hesaplanan güven aralığının tahmin edilecek parametre değerini kapsayan aralıklardan biri olma olasılığını bulmak mümkündür (URL-4).

1.5. Güven Aralığı Tahmini

Belirlenen bir olasılıkla ilgilenilen evrenin bir parametresinin değerini kapsayan aralık tahminleyicisine “güven aralığı”, belirlenen olasılığa ise “güven düzeyi” denir (URL-6).

Güven aralıkları,

- Bir değer aralığı verir.
- Popülasyon parametresine yakınlık hakkında bilgi verir.
- Olasılık terimleriyle ifade edilir (URL-5).
- Örneklem büyüklüğü arttıkça daralır (URL-6).

Aralık genişliğini etkileyen faktörler (URL-5);

- Verilerin yayılımı (σ)
- Örnek hacmi
- Güven seviyesi $(1-\alpha)$

1.5.1. Ortalamalar İçin Güven Aralığı

Bir örnekten elde edilen $\bar{x}$ istatistiği, anakütle ortalaması μ_x'in nokta tahminidir. Gerçek anakütle ortalaması, $1-\alpha$ güven seviyesinde eşitlik (1)'deki gibi hesaplanır (URL-5).

$$Pr\left(\bar{x} - Z_{\frac{\alpha}{2}} * \left(\frac{\sigma_x}{\sqrt{n}}\right) \leq \mu_x \leq \bar{x} + Z_{\frac{\alpha}{2}} * \left(\frac{\sigma_x}{\sqrt{n}}\right)\right) = 1 - \alpha \qquad (1)$$

1.5.2. Popülasyon Standart Sapması (σ_x) Bilinmediğinde ve $n \geq 30$ Olduğunda Ortalama İçin Güven Aralığı

Varsayımlar;

- Popülasyon standart sapması bilinmiyor.
- Popülasyon normal dağılımlıdır.

Merkezi limit teoremi kullanılarak Z dağılımı kullanılır.

$1-\alpha$ güven seviyesinde güven aralığı tahmini eşitlik (2)'deki gibi hesaplanır (URL-5).

$$Pr\left(\bar{x} - Z_{\frac{\alpha}{2}} * \left(\frac{S_x}{\sqrt{n}}\right) \leq \mu \leq \bar{x} + Z_{\frac{\alpha}{2}} * \left(\frac{S_x}{\sqrt{n}}\right)\right) = 1 - \alpha \qquad (2)$$

1.5.2.1. Bir Oranın Güven Aralığı

Varsayımlar;

- İki kategorik çıktı vardır.
- Popülasyon binom dağılımı gösterir.

$1-\alpha$ güven seviyesinde güven aralığı tahmini eşitlik (3)'deki gibi hesaplanır (URL-5).

$$Pr\left(p - Z_{\frac{\alpha}{2}} * \sqrt{\frac{p*q}{n}} \leq P \leq p - Z_{\frac{\alpha}{2}} * \sqrt{\frac{p*q}{n}}\right) = 1-\alpha \tag{3}$$

1.5.2.2. İki Ortalamanın Farkı İçin Güven Aralığı

Popülasyon varyansları biliniyor ise güven aralığı tahmini eşitlik (4)'deki gibi hesaplanır (URL-5).

$$Pr\left((\bar{x}_1-\bar{x}_2) - Z_{\frac{\alpha}{2}} * \sqrt{\frac{\sigma_1^2}{n_1}+\frac{\sigma_2^2}{n_2}} \leq \mu_1-\mu_2 \leq (\bar{x}_1-\bar{x}_2) + Z_{\frac{\alpha}{2}} * \sqrt{\frac{\sigma_1^2}{n_1}+\frac{\sigma_2^2}{n_2}}\right) = 1-\alpha \tag{4}$$

Popülasyon varyansları bilinmiyor fakat n>30 ise güven aralığı tahmini eşitlik (5)'deki gibi hesaplanır (URL-5).

$$Pr\left((\bar{x}_1-\bar{x}_2) - Z_{\frac{\alpha}{2}} * \sqrt{\frac{S_1^2}{n_1}+\frac{S_2^2}{n_2}} \leq \mu_1-\mu_2 \leq (\bar{x}_1-\bar{x}_2) + Z_{\frac{\alpha}{2}} * \sqrt{\frac{S_1^2}{n_1}+\frac{S_2^2}{n_2}}\right) = 1-\alpha \tag{5}$$

1.5.2.3. İki Oran Farkının Güven Aralığı

Varsayımlar;

- İki kategorik çıktı vardır.
- Popülasyonlar binom dağılımı gösterir.

Güven aralığı tahmini eşitlik (6)'daki gibi hesaplanır.

$$Pr\left((p_1 - p_2) - Z_{\frac{\alpha}{2}} * S_{p_1-p_2} \leq \mu_1 - \mu_2 \leq (p_1 - p_2) - Z_{\frac{\alpha}{2}} * S_{p_1-p_2}\right) = 1 - \alpha \tag{6}$$

İki oran farkının standart sapması eşitlik (7)'deki gibi hesaplanır (URL-5).

$$S_{p_1-p_2} = \sqrt{\frac{p_1 * q_1}{n_1} + \frac{p_2 * q_2}{n_2}} \tag{7}$$

1.5.3. Popülasyon Standart Sapması (σ_x) Bilinmediğinde ve $n < 30$ Olduğunda Ortalama İçin Güven Aralığı

Varsayımlar;

- Popülasyonun standart sapması bilinmiyor.
- Popülasyon normal dağılımlıdır.

Student-t dağılımı kullanılır.

Güven aralığı tahmini eşitlik (8)'deki gibi hesaplanır (URL-5).

$$Pr\left(\bar{x} - t_{v;\frac{\alpha}{2}} * \frac{S_x}{\sqrt{n-1}} \leq \mu \leq \bar{x} + t_{v;\frac{\alpha}{2}} * \frac{S_x}{\sqrt{n-1}}\right) = 1 - \alpha \tag{8}$$

1.5.3.1. Ortalamalar Arası Farkların Güven Aralığı

İki anakütleden tesadüfi seçilen n_1 ve n_2 hacimlerindeki iki küçük örneklemden hareketle anakütle ortalamaları arasındaki farkın güven sınırları belirlenebilir. Birinci örneklemin serbestlik derecesi $n_1 - 1$, ikinci örneklemin serbestlik derecesi $n_2 - 1$ dir. Toplam serbestlik derecesi $n_1 + n_2 - 2$ dir.

Güven aralığı tahmini eşitlik (9)'daki gibi hesaplanır (URL-5).

$$\Pr\left((\bar{x}_1 - \bar{x}_2) - t_{n_1+n_2-2;\frac{\alpha}{2}} * \sqrt{\frac{S_1^2}{n_1 - 1} + \frac{S_2^2}{n_2 - 1}} \leq \mu_1 - \mu_2 \right.$$

$$\left. \leq (\bar{x}_1 - \bar{x}_2) + t_{n_1+n_2-2;\frac{\alpha}{2}} * \sqrt{\frac{S_1^2}{n_1 - 1} + \frac{S_2^2}{n_2 - 1}} \right) = 1 - \alpha \qquad (9)$$

1.5.3.2. Bir Popülasyon Varyansı İçin Güven Aralığı

Varyansı σ^2 olan bir normal anakütleden n gözlemli rassal bir örneklem seçilsin ve varyansı S^2 ile gösterilsin.

$\chi^2_{n-1} = \frac{(n-1)S^2}{\sigma^2}$ rastgele değişkeni (n-1) serbestlik dereceli ki-kare dağılımına uymaktadır.

Örneklem varyansının gözlenen değeri S_x^2 ise, anakütle varyansının güven aralığı eşitlik (10)'daki gibi hesaplanır (URL-5).

$$Pr\left(\frac{(n-1)S^2}{\chi^2_{\frac{\alpha}{2};n-1}} < \sigma^2 < \frac{(n-1)S^2}{\chi^2_{1-\frac{\alpha}{2};n-1}} \right) = 1 - \alpha \qquad (10)$$

1.5.3.3. İki Popülasyon Varyansının Karşılaştırılması

Normal dağılımlı iki popülasyonun varyanslarının oranı F dağılımına uymaktadır. F dağılımı simetrik değildir. Bu nedenle güven aralığının hesaplanmasında her iki F değeri için F tablosuna bakmak gerekmektedir.

$$F_{n_1-1,n_2-1} = \frac{\frac{S_1^2}{\sigma_1^2}}{\frac{S_2^2}{\sigma_2^2}} \qquad \text{ise,}$$

$$Pr\left(F_{1-\frac{\alpha}{2};n_1-1,n_2-1} \leq \frac{\frac{S_1^2}{\sigma_1^2}}{\frac{S_2^2}{\sigma_2^2}} \leq F_{\frac{\alpha}{2};n_1-1,n_2-1} \right) = 1-\alpha \tag{11}$$

(11) eşitliğinden (12) eşitliği elde edilir (URL-5).

$$Pr\left(\frac{S_1^2}{S_2^2} * F_{1-\frac{\alpha}{2};n_1-1,n_2-1} \leq \frac{\sigma_1^2}{\sigma_2^2} \leq \frac{S_1^2}{S_2^2} * F_{\frac{\alpha}{2};n_1-1,n_2-1} \right) = 1-\alpha \tag{12}$$

Burada,

$$F_{1-\frac{\alpha}{2};n_1-1,n_2-1} = \frac{1}{F_{\frac{\alpha}{2};n_2-1,n_1-1}}$$

‘dir.

Normal dağılımlı iki popülasyonun varyanslarının oranına ilişkin güven aralığı eşitlik (13)’deki gibi hesaplanır (URL-5).

$$Pr\left(\frac{S_1^2}{S_2^2} * \frac{1}{F_{\frac{\alpha}{2};n_2-1,n_1-1}} \leq \frac{\sigma_1^2}{\sigma_2^2} \leq \frac{S_1^2}{S_2^2} * F_{\frac{\alpha}{2};n_1-1,n_2-1} \right) = 1-\alpha \tag{13}$$

1.6. Açık Ocak Maden İşletmeciliği

Açık işletmecilik, yüzeye yakın (mostra) ve/veya yeraltında bulunan bir cevherin, kömürün ya da diğer madenlerin (endüstriyel, mermer, taş ocakları vb.) üzerinde bulunan toprağın veya kayanın dekapajı kaldırılarak ekonomik sınırlar içinde çıkarılması için yapılan hazırlık, kazı, yükleme ve nakliyat çalışmalarının tümü olarak tanımlanabilir (Haner, 2007).

1.6.1. Madencilikte Kullanılan Temel Kavramlar ve Tanımlar

Konunun daha anlaşılır olabilmesi için madencilikte kullanılan bazı kavramların açıklanmasında yarar vardır (Su, 2012).

Açık Ocak: Maden üzerindeki dekapajın kaldırılması suretiyle maden kitlesine ulaşmak amacıyla uygulanan bir işletme sistemidir.

Mostra: Cevher yatağının yer üstünde ortaya çıkan ve görünen kısmıdır.

Tenör: Cevherin faydalı mineral yüzdesidir.

Pasa: Cevherin işe yaramayan kısmıdır.

Dekapaj: Açık işletmelerde cevher yatağının üzerinde bulunan örtü tabakasının kaldırılması işidir.

Damar: Uzunluğu, derinliği ve kalınlığı bulunan düzgün kalınlıktaki kömür veya düzensiz bir yapı görünümünde olan cevher kütlesidir.

Drenaj: Yeraltı ve yerüstü sularının toplanarak işletme sahasından uzaklaştırılması işlemidir.

Tuvönan (Ham) Cevher: Cevherin maden yatağından çıkarıldığı işlenmemiş halidir.

Gang: Cevherin içinde bulunan ekonomik değeri olmayan kısımdır.

Klark: Yerkabuğunda bir elementin ortalama bulunuş yüzdesidir.

Parajenez: Maden yatağındaki benzer minerallerin gruplanmasıdır.

Süksesyon: Maden yatağındaki minerallerin oluşum sırasıdır.

Şev: Açık işletmelerde iki basamak arasındaki eğik yüzeye denir (URL-1, 2013).

Akifer: Suyun çok uzak mesafelere gitmesini sağlayan, yer altı sularını pınarlara ve kuyulara ileten gözenekli toprak ya da jeolojik oluşumdur (URL-2, 2013).

1.6.2. Açık Ocak Planlaması

Ocak planlamasında amaç, belirli sürede, belirli miktarda cevher üretiminin mümkün olduğunca en az maliyetli olacak şekilde belirlenmesidir (Georgen, Hupp ve Stolu, 1981).

Bir madenin sistematik olarak planlanması ve bütçenin belirlenmesi için aşağıdaki durumlara özen gösterilmelidir.

İklim

Yağış, ısı ve rüzgâr gibi etmenler, makine seçiminde ve mekanik donanımın etkin çalışmasında önemlidir. Planlamada uzun dönemli yağış istatistikleri, sağanak durumunda ve uzun süreli aşırı yağışta ocak içindeki su birikimi ve ocağa akabilecek maksimum yüzey suyu belirlenmeli ve göz önüne alınmalıdır. Drenaj kanal ve sistemleri ile pompa havuzları maksimum su birikintilerini karşılayabilecek boyutta olmalıdır.

Taşıma Biçimleri

Ana ekipmanların montaj alanından ocağın açılacağı alana rahatlıkla taşınabilmesi için ocak bölgesinin ulaşım ağının olanakları incelenmelidir. Kullanılacak yolların eğimleri ve virajların yarıçaplarının önceden bilinmesinde fayda vardır.

Madenin Tüketicilere Göre Konumu

Madenin bulunduğu konum, madenin çıkarıldığı yerden tüketiciye ulaşana kadar ki maliyet ve taşıma olanakları için önemlidir.

Enerji Temini

Açık ocak işletmesinde planlanması gereken bir diğer önemli konu enerjinin nereden temin edileceğidir. Ayrıca, derinlere inildikçe bant konveyör sistemlerinin ve su drenaj kuyularının enerji gereksinimleri oldukça artacağından, enerjinin işletme sonuna kadar yeterli olacak şekilde hesaplanması gerekir.

Yüzey Suları

Ocak alanı çevresindeki akarsu yatakları dikkate alınmalı ve güvenlik nedenleriyle yüzey suyu drenajı planlaması, su düzeyinin kaydedilen en yüksek seviyesine göre yapılmalıdır.

Sondaj Planı

İşletme aşamasına gelinmeden önce, ocak alanının toplam rezervi ve bileşenleri hakkında bilgiler edinilmeli ve yatak sondajlarla araştırılmalıdır. Uygulanacak sondaj planı örtü tabakanın yapısını ve kullanılabilir materyallerin olası oluşumlarını, cevher yatağının yüksekliğini ve yeraltı tablasının kotu gibi verileri elde etmeye yönelik olmalıdır. Sondajlardan alınan örneklerin analiz sonuçları, kalite haritalarının hazırlanmasında kullanılır.

Yıllık Üretimin Belirlenmesi

Açık bir maden ocağının saatlik üretimleri oldukça önemlidir. Bunun için, hem teknik hem de ekonomik açıdan ve cevherin üretiminden tüketimine kadar olan sürecin giderleri dikkatle planlanmalıdır.

Zaman Faktörünün ve Maden Makinalarının Gerçek Randımanlarının Belirlenmesi

Yıllık gerçek çalışma saatlerinin belirlenmesi kazı makinalarının, taşıma sistemlerinin ve yayıcıların seçiminde önem arz etmektedir.

Arama Sonuçlarının Sunuluşu

Arama sonuçları, yüzeyi, önemli örtü tabakalarını, yatağın tabanı ile tavanını ve akiferleri içeren harita şeklinde sunulmalıdır. Bu harita dışındaki sonuçlar, yatak ve katmanlaşma hakkında bilgi verirler.

Malzemelerin Üst Toprak, Örtü ve İşletilebilir Cevher Ayırımına Göre Yerinde Hesabı

Dekapaj-cevher oranı belirlendikten sonra, sabit şev açısı ile malzemelerin (dekapaj ve cevher) yerindeki hesabı, dekapaj-kazı oranı hakkında bilgi verecektir. Bu oran $\mathrm{m}^3/\mathrm{ton}$ cinsinden ifade edilir.

Şev Açısının Belirlenmesi

Kalıcı şevler ve basamak aralıkları, basamakların düzenlenmesinden sonra belirlenir. Düzensiz dağılımlı çatlaklar gösteren sert kayaçlı açık maden ocaklarında yatakların yapıları da önemlidir. Gevşek kayaçlı açık maden ocaklarında esas olarak zemin mekaniği özelliklerine ve yeraltı sularının durumuna bağlıdır.

Yıllık Kazı Miktarlarının Belirlenmesi

Pazarlama planı ve yıllık cevher üretimi, yılda kaldırılacak dekapaj malzemesi, dekapaj-kazı oranına bağlı olarak belirlenir ve böylece madenin ömrü belirlenmiş olur.

Ana Makinaların Seçimi

Makine seçiminde, kayacın türüne göre uygun kazıcı hesabı, atıkların yönetimi için önemli bir planlama gerekir.

Stoklama

İşletme planında açık ocaktan üretilen tuvönan cevher tesiste beslenmeden önce mutlaka stok sahasına taşınır.

Taşıma Yönteminin Belirlenmesi

Açık maden ocaklarında derinliğin ve boyutun artmasıyla, taşıma yöntemi üretim maliyetinde önemli etmen konumundadır. Taşıma yöntemi sığ maden ocaklarına ve derin açık maden ocaklarına göre değişiklikler göstermektedir.

Su Boşaltma (Drenaj)

Su boşaltma işlemi gerekecek alanın araştırılması önemlidir. Öncelikle hidrojeolojik koşullar incelenir, jeolojik profiller hazırlanır ve su içeren katlardaki seviyeler belirlenir. Bu profiller sayesinde yeraltı suyu miktarı hesaplanarak, maden drenaj planlaması yapılır.

Ocağın Başlangıç Yerinin Saptanması

Başlangıç yerinin saptanmasında en önemli unsur yeraltı sularının yokluğu ya da az drenajın gerekliliğinin belirlenmesidir. Bununla birlikte, derinlik, uygun kazı oranları, düzenli topografya, düzenli cevher üretimi, boşaltma alanı yakınlığı, jeolojik düzensizliklerin olmaması gibi faktörler de ocağın başlangıç yerinin saptanmasında önemli rol oynamaktadır.

Ocağın Başlangıcında Kazılacak Malzemelerin Belirlenmesi

Ocağın ilk açılışında kazılacak malzemenin hesaplanması önemlidir. İlk kazı alanı ve basamak dağılımı belirlendikten sonra, kazılması ve atık döküm sahasına taşınacak malzemenin miktarı hesaplanmalıdır.

Yatırımın Yıllık Üretime Oranının Belirlenmesi ve Bütçe Planlaması

Açık maden ocaklarında maliyetin bir kısmı sabit giderlerden oluşur. Tüm yatırım işletme hakları giderlerini, arazinin maliyetini, tüm makine ekipmanlarının giderlerini, onarım atölyelerini ve diğer giderleri kapsamaktadır.

Bütçe ve maliyetler, bir açık ocak maden işletmesinin genel planının son adımıdır.

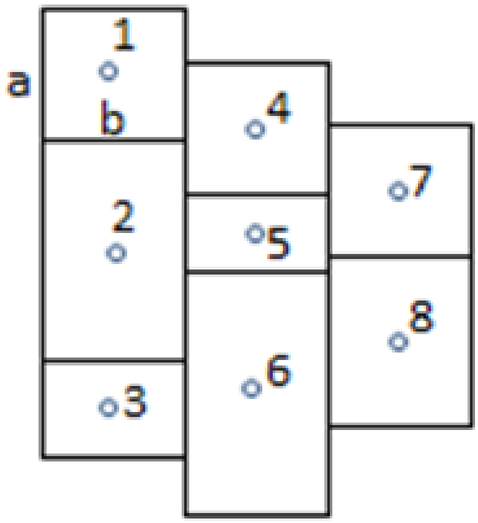
1.7. Maden Alanlarında Rezerv Hesaplama Yöntemleri

Rezerv hesaplamalarında üç temel işlem gereklidir (Su, 2012).

- Cevher kütlesinin hacmi
- Cevher kütlesinin ortalama yoğunluğu
- Cevher kütlesinin ortalama tenörü

1.7.1. Düzenli Bloklar Yöntemi

Bu yöntemde yüzey, her sondaj noktası bir bloğun köşegenlerinin kesişim yerine gelecek şekilde kare ya da dikdörtgen bloklara ayrılır. Bloğun hacmi, yüzey alanı ile sondajda kesilen kalınlığın çarpımı ile bulunur (URL-3, 2013).



Şekil 1. Düzenli bloklar yöntemi ile rezerv hesaplama

1 numaralı sondaj alanı için bu yöntem aşağıdaki şekilde hesaplanır:

Etki alanı eşitlik (14) ile hesaplanır.

$$A = a * b \tag{14}$$

Kesilen kalınlık = k ise, hacim eşitlik (15) ile hesaplanır.

$$V = A * k = a * b * k \tag{15}$$

Tonaj miktarı eşitlik (16) ile hesaplanır.

$$T = V . \gamma \tag{16}$$

γ yoğunluğu belirtir ve ton/m^3 ile ifade edilir.

Ortalama rezerv miktarı eşitlik (17) de görüldüğü gibi hesaplanır.

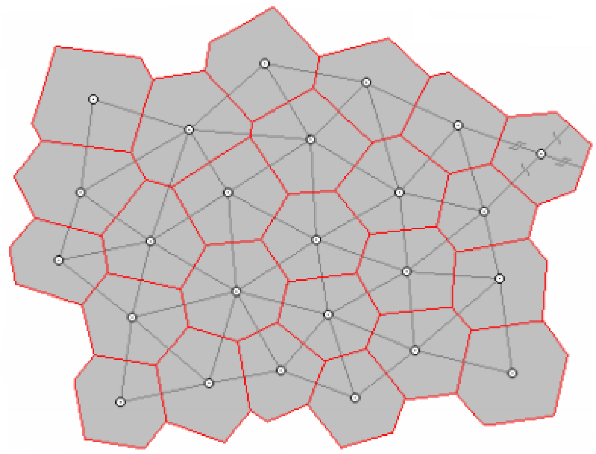
$$g_{ort} = \frac{\sum T . g}{\sum T} \tag{17}$$

1.7.2. Çokgen (Poligon) Yöntemleri

Çokgen yöntemi, sondaj noktaları sahada düzgün bir aralıkta olduğu zaman güvenilir sonuçlar verir. Bu yöntem prensip olarak her sondaj noktası için bir poligon oluşturmayı kabul eder.

1.7.2.1. Kenar Orta Dikme Yöntemi

Bu yöntemde sondaj noktaları birleştirilerek dar açılı üçgenler oluşturulur. Üçgenlerin kenar orta dikmeleri çizilerek poligonlar oluşturulur ve bu poligonlar sondajların etki alanı olarak tanımlanır (URL-3, 2013).



Şekil 2. Kenar orta dikme yöntemi ile rezerv hesaplama

Ortalama rezerv miktarı eşitlik (18) ile hesaplanır.

$$g_{ort} = A \,.\, t_1 . y . \beta \qquad (18)$$

Burada,

A : poligon alanı

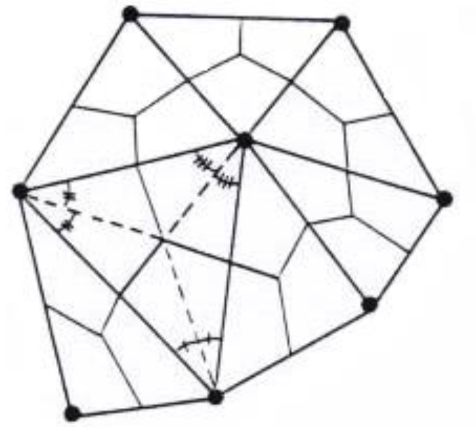
t_1 : damar kalınlığı

y : yoğunluk

β : jeolojik faktörü ifade eder.

1.7.2.2. Açı Ortay Yöntemi

Bu yöntemde sondaj noktaları birleştirilerek dar açılı üçgenler oluşturulur. Her bir üçgenin açıortayı birleştirilerek poligonlar elde edilir. Bu poligonlar sondajların etki alanını tanımlar (URL-3, 2013).



Şekil 3. Açıortay yöntemi ile rezerv hesaplama

Ortalama rezerv miktarı eşitlik (19) da görüldüğü gibi hesaplanır.

$$g_{ort} = \frac{\sum T.g}{\sum T} \tag{19}$$

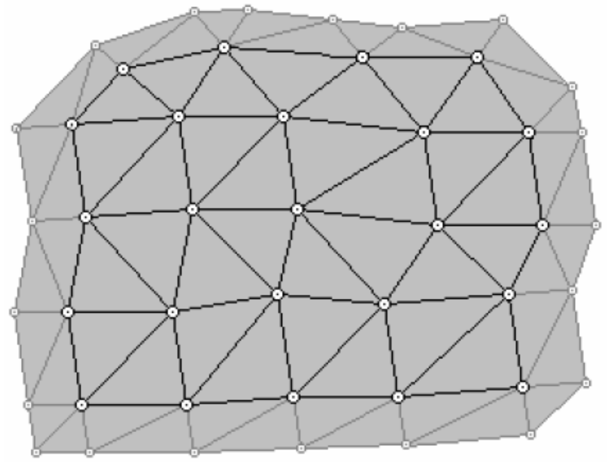
Burada,

T : tonaj miktarı

g : tenörü ifade eder.

1.7.2.3. Üçgen Prizma Yöntemi

Bu yöntemde sondaj noktaları, köşeleri oluşturacak şekilde ve üçgenler eşkenar üçgene yakın olacak şekilde üçgenlere bölünür (URL-3, 2013).



Şekil 4. Üçgen yöntemi ile rezerv hesaplama

Burada, tüm üçgenlerin alanı bulunarak, damar kalınlıkları, yoğunluğu ve jeolojik faktörü ile çarpılarak rezerv miktarı hesaplanır.

Ortalama rezerv miktarı eşitlik (20) de görüldüğü gibi hesaplanır.

$$g_{ort} = A\,.\,t_{ort}\,.\,y.\,\beta \qquad (20)$$

Burada,

A : üçgen alanı

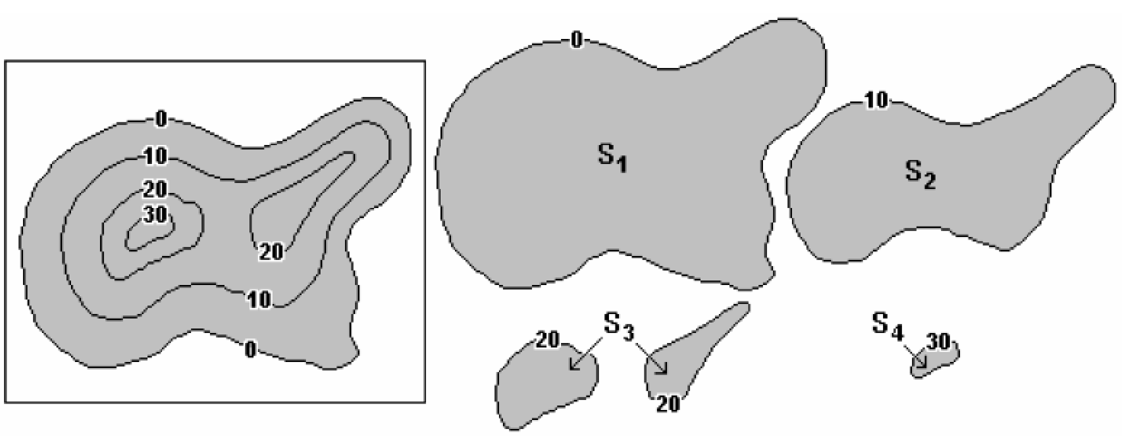
t_{ort} : ortalama damar kalınlığı

y : yoğunluk

β : jeolojik faktörü ifade eder.

1.7.2.4. Eş Kalınlık Eğrileri (İzopak) Yöntemi

Bu yöntemde cevher alanı aynı düzeydeki kısımların işaretlenmesiyle bulunan eşdeğer eğrilerin arasında kalan hacimlerden hesaplanır (Su, 2012).



Şekil 5. Eş kalınlık eğrileri ile rezerv hesaplama

İzopak dilim hacmi eşitlik (21) ile hesaplanır.

$$V = \left(\frac{h}{3}\right)\left(\frac{S_1}{S_2} + \sqrt{S_1.S_2}\right) \tag{21}$$

İzopak dilim rezerv miktarı eşitlik (22) de görüldüğü gibi hesaplanır.

$$RM = V.y \tag{22}$$

Burada,

y: yoğunluğu ifade etmektedir.

1.8. Üçgenleme Yöntemi

Üçgenlemede amaç, verilen noktaları köşe noktalar olarak kabul ederek tüm noktaları kapsayan üçgenler bulmaktır (URL-7, 2014).

1.8.1. İyi Bir Üçgenlemede Beklenen Özellikler

Tek anlamlı olması, bir üçgenleme algoritmasında beklenen en önemli özelliktir. Başlangıç noktasından ve işlem sırasından bağımsız bir çözüm elde edilmelidir.

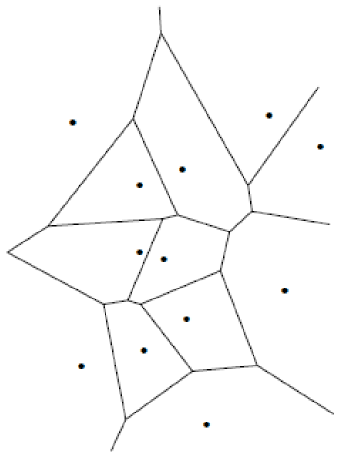
Üçgenleme algoritmalarından beklenen diğer iki özellik; hesap yükünün ve bilgi depolama gereğinin az olmasıdır (Yanalak, 1997).

1.8.2. Voronoi Diyagramı ve Delaunay Üçgenlemesi

Voronoi diyagramları 1903 yılında Georgy Voronoi tarafından önerilmiş veri parçalama yöntemidir. Voronoi diyagramları asıl olarak karar uzayını oluşturan verilerin "mozaiklere" bölünmesi olarak sunulur (Yağcı, Engin ve Esat, 2008).

Voronoi diyagramları literatürde Dirichlet, Thiesen veya Wigner-Seithz diyagramı olarak da bilinir (Tsai, 1993). Düzlemde yer alan sonlu nokta kümesine ait herhangi bir noktaya, kümedeki diğer noktalardan daha yakın konumda olan düzlem noktalarının geometrik yerine o noktanın "Voronoi Çokgeni" denir ve tüm noktaların Voronoi çokgenlerinin birleşimi, o kümenin Voronoi diyagramını oluşturur (URL-8, 2014).

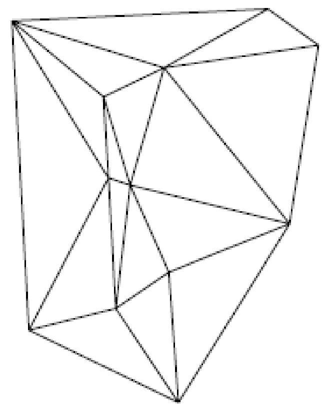
Şekil 6'da istenilen küme için oluşturulmuş Voronoi diyagramı verilmiştir.



Şekil 6. Voronoi diyagramı

Boris Delaunay tarafından 1934 yılında ortaya atılan Delaunay üçgenleri Voronoi diyagramının tamamlayıcısı niteliğindedir (Yağcı, Engin ve Esat, 2008).

Şekil 7'de Şekil 6'da verilen kümenin Delaunay üçgenleri görülmektedir.



Şekil 7. Delaunay üçgenleri

Delaunay üçgenlemesine ait önemli bazı özellikler:

a. Başlangıç noktasından bağımsız ve tek anlamlıdır.
b. Oluşan üçgenler eşkenar üçgene en yakındır (eşaçılık özelliği).
c. Oluşan üçgenlerin çevrel çemberi içerisinde başka nokta bulunmamaktadır (çevrel çember özelliği).
d. Veri kümesinin dışbükey çerçevesi üçgenlemede yer almaktadır.
e. Dayanak noktaları kümesindeki birbirine en yakın olan nokta çiftinin oluşturduğu doğru parçası üçgenlemede yer almaktadır.
f. Her noktayı kendisine en yakın nokta ile birleştiren doğru parçası bir üçgen kenarını oluşturmaktadır (Worboys, 2000).

1.8.3. Delaunay Üçgenlemesinde Kullanılan Kriterler

Kurulan algoritmaların temelini Delaunay üçgenlemesinin iki özelliği oluşturmaktadır:

1. Çevrel çember özelliği
2. Eşaçılık özelliği (URL-8, 2014)

1.8.3.1. Çevrel Çember Kriteri

Çevrel çember kriteri genellikle artan üçgenleme yöntemlerinde kullanır. Her üçgenin üçüncü noktası belirlenirken bu üç noktanın içinde başka bir dayanak noktası olup olmadığına bakılır. Çember içinde başka bir nokta mevcut ise belirlenen bu nokta oluşacak üçgenin üçüncü köşesi olmaya aday olur. Aday üçgenin çevrel çemberi içinde başka nokta olup olmadığı tekrar kontrol edilir ve bu işlem çember içerisinde nokta kalmayana kadar devam eder ve üçgen oluşur.

Çember içinde başka bir nokta olup olmadığına bakmanın iki yolu vardır: Birincisi, kontrol edilecek noktanın çember merkezlerine olan uzaklığını çemberin yarıçapıyla karşılaştırmaktır. Uzaklıkları yarıçaptan az olan noktalar çemberin içindedir. İkincisi, üçgenin bilinen kenarına göre açıların hesaplanmasıdır. Bu noktalardaki açılar üçgenin üçüncü noktasını oluşturması muhtemel noktadaki açı ile karşılaştırılır. Bu açıdan büyük açılı noktalar çemberin içinde, küçük açıya sahip noktalar çemberin dışında yer alır (URL-8, 2014).

1.8.3.2. Maksimum – Minimum Kriteri

Üçgenlerin eşaçılı (eşkenar) üçgenlere yakın olması, enterpolasyon amaçlı üçgenlemelerde "iyi üçgenleme" olarak adlandırılır. "Maksimum – minimum açı" kriteri olarak adlandırılan kriterin açıklaması şöyle yapılabilir:

Ortak bir kenarı (köşegen) paylaşan iki üçgen bir dörtgen oluşturur. Eğer bu dörtgen dışbükey ise köşegenin alternatif köşegen ile değiştirilmesi, dörtgeni oluşturan iki üçgene ait altı iç açının en az olanının değerini arttırmamalıdır. Bu kural tüm dışbükey dörtgenler için sağlanmalıdır (Lawson, 1972).

1.8.4. Üçgenlemede Karşılaşılan Sorunlar

Algoritmanın hızı, bilgi depolama gereksinimi ve veri alanı gibi sorunların üçgenleme algoritmalarının isteklere karşılık vermesi için çözülmesi gereken sorunlardır (URL-8, 2014).

1.8.4.1. Hız

Üçgenleme algoritmaları bazı hesaplamaların ve sorguları tekrar edilmesini gerektirir. Çevrel çember merkezi ve yarıçap hesabı, bir kirişi gören çevre açının hesabı, bir noktanın çemberin içinde olup olmadığının bakılması veya çember içinde başka noktanın olup olmadığının bakılması buna örnek verilebilir. Bu tür tekrar gerektiren algoritmalarda, verilere erişim veya verinin gerekeni kadarını kullanma, hızı etkileyen en önemli iki etkendir. Verilere hızlı erişimin bir yolu verilerin sıralı olmasıdır.

Algoritmanın hızlanmasını sağlayacak bir diğer yöntem veri kümesinin kutular şeklinde parçalara ayrılmasıdır. Veri kümesi x ve y yönünde eşit aralıklara bölünür ve dayanak noktalarının hangi aralıkta yer aldığına bakılarak, dayanağın bulunduğu kutu belirlenir. Böylece hesap ve sorgu işlemlerinde sadece gerekli kutular taranır, tüm veri alanının taranmasına gerek duyulmaz (URL-8, 2014).

1.8.4.2. Depolama

Bilgisayarların bellek kapasiteleri ne kadar artmış olsa da sonsuz değildir. Çok sayıda dayanak noktası ile çalışıldığından bellek sorunları meydana gelmektedir. Bunu çözebilmek için verileri farklı şekillerde saklamak gerekir. Bu saklama şekillerine örnek olarak matrisin kare biçiminde depolanması, band matrisin lineer depolanması, yarı matrisin lineer depolanması ve değişken band matrisin lineer depolanması verilebilir (Öztan, 1981; 1983; 1986).

İyi bir üçgenleme yazılımı hem hız hem de depolama sorununu yeterli düzeyde çözmüş olmalıdır.

1.8.4.3. Veri Alanının Sınırlandırılması

Algoritmaların sonsuz döngü içine girmemeleri için, hesap işlemlerinin belirli bir yerde kesilmesi amacıyla üçgenlenecek veri alanı sınırlandırılmalıdır. Veri alanının sınırlandırılması üçgenlemenin doğruluğu gereği de meydana çıkabilir. Özellikle fazla girintili çıkıntılı alanlarda, alanın uç noktalarında yanıltıcı ve gereksiz üçgenler oluşabilir.

Veri alanı bu üçgenler dışarıda kalacak şekilde sınırlandırılabilir (Garey, Johnson, Preparata ve Tarjan, 1978).

1.9. Optimizasyon

Bir problem için, verilen koşullar altında bütün çözümler içinden en iyisini elde etme işine "optimizasyon" denir. Optimizasyon, eniyileme anlamına gelmektedir. Bazı sınırlamaları sağlayacak şekilde, bilinmeyen parametre değerlerinin bulunmasını içeren herhangi bir problem, optimizasyon problemi olarak adlandırılabilir (Murty, 2003).

Doğadaki bazı varlıklar bazen tek başlarına hiçbir iş yapamazken, toplu olarak hareket ettiklerinde zeki davranışlar sergileyebilmektedirler. Canlıların sürü içindeki bu davranışlarından esinlenilerek sürü zekası tabanlı optimizasyon algoritmaları geliştirilmiştir.

1.9.1. Sürü Zekâsı

Sosyal böcekler, herhangi bir denetleme olmadan çalışırlar ve sürü veya koloni halinde yaşarlar. Takım çalışması, bireyler arasında çeşitli etkileşimler sonucu kendi kendine ortaya çıkan bir unsurdur (Bonabeau ve Meyer, 2001). Bu etkileşimler basit olmasına rağmen bir araya geldiğinde büyük problemlere çözüm oluşturabilmektedirler. Grup halinde yaşayan sosyal canlıların ortaya koydukları ortak davranışa "sürü zekâsı" denir.

Sürü zekâsı algoritmaları doğada sürü halinde yaşayan kuş, balık, arı gibi canlılardan esinlenerek geliştirilmiştir. Herhangi bir lider olmaması ve sürü içindeki etkileşimin yerel olması bu algoritmaların temel iki özelliğidir. Bu iki özellik, sürü içinde komşuların hızına uyma, komşularla çarpışmama ve komşulardan çok uzaklaşmama gibi davranışlara sebep olmaktadır.

Sürüdeki her birey kendi davranışını temel seviyede yönetecek şekilde tanımlanmıştır.

Temel olarak birey davranışlarının özellikleri şunlardır:

- Olumlu geri beslemeden güç alır.

- Olumsuz geri besleme ile dengelenir.
- Rastgele salınımlar gösterebilir.
- Hayata geçirilme aşamasında diğer bireylerin davranışlarından bilgi alır (Küçükdeniz, 2009).

Sürü zekâsının başlıca avantajları şunlardır.

- Esneklik: Sürü, çevresel değişimlere kolayca adapte olabilir.
- Dayanıklılık: Bazı bireyler başarısız olduğunda, sürü görevi tamamlamaya devam edecektir.
- Kendi kendine organize olabilme: Grup üyeleri nispeten az denetime ihtiyaç duyarlar (Bonabeau ve Meyer, 2001).
- Ölçeklenebilirlik: Problemin arama uzayının büyüklüğüne göre sürünün büyüklüğü ayarlanabilir (Küçükdeniz, 2009).

1.9.2. Bazı Sürü Zekâsı Optimizasyon Yöntemleri

1.9.2.1. Genetik Algoritma

Doğal seçim ilkelerine dayanan bir arama ve optimizasyon yöntemidir. Temel ilkeleri 1970'li yıllarda John Holland tarafından ortaya atılmış ve 1975 yılında Holland "Doğal ve Yapay Sistemlerin Uygulanması" adlı kitabını yayınlamıştır (İşçi ve Korukoğlu, 2003).

Genetik algoritma hem modelleme hem de problem çözmek için kullanılmaktadır. Genetik algoritma; atölye çizelgeleme, yapay sinir ağları tasarımı, görüntü kontrolü, elektronik devre tasarımı, optimizasyon, uzman sistemler, paketleme problemleri, makine ve robot öğrenmesi, gezgin satıcı problemleri gibi bir çok uygulama alanında kullanılmaktadır (Mitchell ve Forest, 1994).

Genetik algoritmanın parametreleri; çaprazlama oranı, mutasyon oranı, popülasyon büyüklüğü, seçim, kodlama, çaprazlama ve mutasyon'dur. Çaprazlama oranı yüksek, mutasyon oranı düşük olmalıdır. Çok büyük popülasyon büyüklüğü çözüm bulma hızı anlamında genetik algoritma değerini arttırmaz (İşçi ve Korukoğlu, 2003).

Genetik algoritma, bir çözüm uzayındaki her noktayı “kromozom” adı verilen ikili bit dizisi ile kodlar. Her bir noktanın uygunluk değeri vardır. Genetik algoritma tek nokta yerine popülasyon olarak noktalar kümesini muhafaza eder. Her kuşak, çaprazlama ve mutasyon ile yeni popülasyonlar oluşturur ve birkaç kuşak sonunda, popülasyon daha iyi uygunluk değerine sahip üyeleri içerir (Jang, 1997).

1.9.2.2. Karınca Koloni Algoritması

Gerçek karınca koloni davranışları incelenerek matematiksel modeli kurulan bir algoritmadır. İlk çalışma 1991 yılında Dorigo ve arkadaşları tarafından yapılmış, kendi sistemlerine “karınca sistemi” ve elde ettikleri algoritmaya “karınca algoritması” adını vermişlerdir.

Karıncalar çevre şartlarına göre besin kaynağı ile yuva arasında gidebilecekleri yolları belirlemektedirler. Bu yollardan birinden geçen bir karınca yola “feromen" adı verilen bir koku bırakmaktadır. Eğer koku miktarı yoğun ise bu yolun kısa olduğunu göstermektedir ve diğer karıncalar bu kokuyu takip ederler. İki yolun kesiştiği noktalarda karıncalar hangi yöne gideceklerini bu koku miktarına ya da gelişigüzel olarak karar verirler. Gelişigüzel seçimin nedeni daha kısa yolları keşfedebilmektir (Karaboğa, 2011).

1.9.2.3. Parçacık Sürü Optimizasyonu Algoritması

Kuş sürülerinin davranışlarından esinlenerek 1995 yılında J. Kennedy ve R.C. Eberhart tarafından geliştirilmiş, çok parametreli çok değişkenli optimizasyon problemlerinin ve doğrusal olmayan problemlerin çözümünde kullanılan bir optimizasyon algoritmasıdır (Kennedy ve Eberhart, 1995).

Parçacık sürü optimizasyonu, iteratif bir algoritmadır ve her iterasyonda her parçacık için hız ve konum bilgileri güncellenir. Parçacık, her probleme farklı çözüm önerisi getiren elemanlardır. Sürü ise bu parçacıklardan oluşan topluluğa denir. Hız vektörü güncellenirken, parçacığın o ana kadar ki en iyi koordinatlarından, popülasyonun o ana kadar ki en iyi koordinatlarından ve rastgelelikten faydalanılır (Tamer ve Karakuzu, 2006).

1.10. Yapay Arı Kolonisi Optimizasyonu

1.10.1. Doğada Arılar

Bal arıları, sosyal bir düzen içinde yaşar, içgüdüsel olarak bu düzeni bilir ve bu kurallara uygun olarak hayatlarını devam ettirirler. Her arının kovandaki görevi bellidir ve arılar bu görevlerin dışına çıkmazlar. Bu düzen içinde yiyeceklerin depolanması, balın getirilmesi, iletişim ve besin arama gibi işler arılara biçilen görevlerdir. Kolonilerde kraliçe arı (queen), erkek arı (drone) ve dişi arı (worker) olmak üzere üç çeşit arı vardır.

Kraliçe Arı (Queen Bee): Diğer dişilere göre daha büyük olan bu arı, kolonilerde sadece bir tane bulunur ve temel görevi yumurtlamaktır. Salgıladığı koku sayesinde kolonideki diğer arılar tarafından tanınır ve bu koku tüm arı ailesine bulaşır. Böylece yabancı kraliçe arı ailesi ayırt edilmiş olur. Kraliçe arı bu sayede koloni bütünlüğünü sağlar.

Erkek Arılar (Drones): Dişi arılardan daha iridirler, iğneleri ve besin toplayacak organları yoktur. Kolonideki görevi kraliçe arının döllenmesidir.

İşçi Arılar (Workers): Döllenmiş yumurtalardan çıkan ancak üreme yeteneği olmayan arılardır. Kolonideki sayı çoğunluğuna sahiptirler. Besin toplamak, saklamak, kovan temizliği, ölü arıların ve molozların temizliği, larvaların ve diğer arıların beslenmesi gibi birçok görevi yerine getirirler. Kendi aralarındaki bu iş bölümü sayesinde işler düzen içinde yürütülmektedir (Tokmak, 2011).

1.10.2. Arıların Yiyecek Kaynağı Bulma Davranışları

Arıların hayatlarının devamlılığı için en önemli işlerden bir tanesi besin aramadır. Besin arama süreci, arının kovandan ayrılmasıyla başlar, rastgele yapılan yiyecek araştırmaları ile devam eder. Bulunan kaynakta besin miktarının azalması ile arılar yeni kaynak arar ya da diğer arılardan aldıkları bilgilere göre başka kaynaklara yönelirler (Tokmak, 2011).

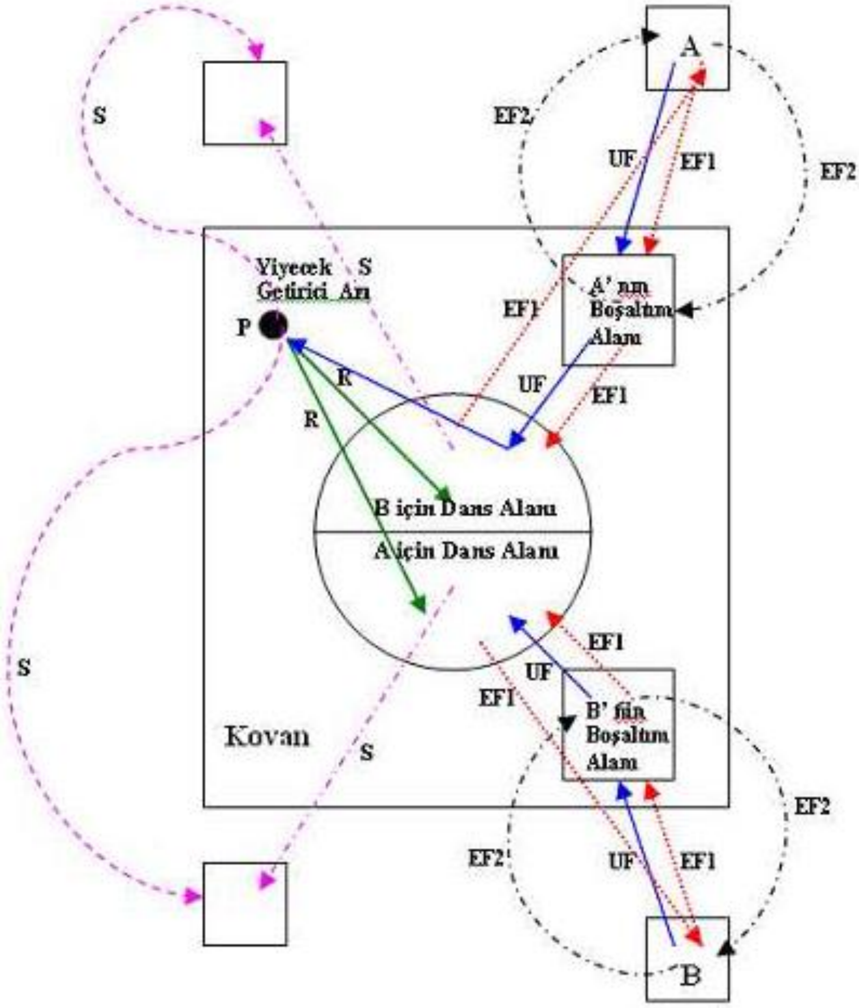
Tereshko yiyecek arama modelinde üç temel öğeden bahsetmektedir. Bunlar: yiyecek kaynakları (Food Source), görevli arayıcılar (Employed Foragers), görevi belli olmayan arayıcılar (Unemployed Foragers) dır (Tereshko ve Loengarov, 2005). Bu öğeler Akay'ın çalışmasında aşağıdaki gibi açıklanmıştır (Akay, 2009).

Yiyecek Kaynakları: Bir yiyecek kaynağının değeri kaynağın çeşidine, yuvaya olan uzaklığına, nektar miktarına, nektarın çıkarılma kolaylığına bağlı olmasına rağmen sadece kaynağın zenginliği de tek ölçüt olarak alınabilir.

Görevi Belirli İşçi Arılar: Gittikleri kaynakların kalite ve konum bilgilerini kovandaki diğer arılarla paylaşırlar ve kaynaklardan toplanan besinlerin kovana getirilmesi işi ile ilgilenirler.

Görevi Belirli Olmayan İşçi Arılar: Besin toplanacak kaynakları arama görevindedirler. İki çeşit görevi belli olmayan işçi arı vardır: kâşif arılar ve gözcü arılar. Kâşif arılar, rastgele kaynak arayan arılardır. Gözcü arılar ise, kovanda beklerler ve görevli arıları izleyerek gelen bilgilere göre yeni kaynaklara yönelirler.

Arılar arasındaki bilgi paylaşımı ortak bilginin oluşmasında en önemli olaydır. Bu bilgi paylaşımı kovanın dans alanı (dancing area) denilen bölümünde gerçekleşir. Arılar arasındaki iletişim bu dans alanı içinde meydana gelir. Bu dans “waggle dance” olarak adlandırılır (Karaboğa, 2005). Yeni kaynak bilgisini alan diğer arılar, bu hedefe ulaşmak için güneş ışığından faydalanarak, yörünge ile güneş arasındaki açıyı hesaplarlar. Arılar yüklerine göre farklı yüksekliklerde uçarak enerjilerini ayarlayabilmektedirler (Akay, 2009).



Şekil 8. Arıların yiyecek arama davranışları

Arılan yiyecek arama davranışlarının Şekil 8'deki gibi olduğu varsayılsın. İki adet yiyecek kaynağı olsun: A ve B. Başlangıçta, görevi belli olmayan arı, potansiyel bir toplayıcı olarak başlar. Bu arının yuva etrafındaki yiyecek kaynakları hakkında herhangi bir bilgisi yoktur. Burada iki olası seçenek söz konusudur:

i. Bu arı kâşif arı olabilir ve yuva etrafında kaynak aramaya başlayabilir. Bu durum Şekil 8'de S ile gösterilmektedir.
ii. Diğer arıların dansını izleyerek yiyecek aramaya başlayan bir gözcü arı olabilir. Bu durum Şekil 8'de R ile gösterilmektedir.

Yiyecek kaynağı bulunduktan sonra, bu arı kaynağın yeri için hafıza yeteneğinden faydalanır ve onu kullanır. Bu arı artık görevli arı haline gelir. Kaynaktan çok miktarda nektar alarak kovana geri döner ve yiyecek alanına nektarı boşaltır. Yiyeceği boşalttıktan sonra üç seçenek söz konusudur:

i. Yiyecek kaynağını terk ederek gözcü arı olabilir. Bu arı Şekil 8'de UF ile gösterilmiştir.
ii. Aynı yiyecek kaynağına dönmeden önce yuvadaki diğer arkadaşlarına dans ederek kaynak hakkında bilgi verebilir. Bu arı Şekil 8'de EF1 ile gösterilmiştir.
iii. Diğer arılarla bilgi paylaşımında bulunmadan kaynaktan yiyecek taşımaya devam edebilir. Bu arı Şekil 8'de EF2 ile gösterilmiştir (Karaboğa, 2005).

1.10.3. Yapay Arı Kolonisi Algoritması

Yapay Arı Kolonisi (ABC) algoritması 2005 yılında Karaboğa tarafından geliştirilmiş. Karaboğa, arı kolonilerinin davranışlarını ve besin arama sürecini modellemiştir (Karaboğa, 2005).

ABC algoritmasında, yiyecek kaynağının yeri problemin olası çözümüne ve yiyecek kaynağındaki nektar miktarı da ilgili çözümün kalitesine (fitness) karşılık gelmektedir ve çözüm kalitesi eşitlik (23)'deki gibi hesaplanır (Karaboğa ve Öztürk, 2011).

$$fit_i = \frac{1}{1 + f_i} \tag{23}$$

ABC algoritmasında, koloninin yarısı işçi arılardan diğer yarısı gözcü arılardan oluşmaktadır. Yani, popülasyonun çözüm sayıları işçi ya da gözcü arı sayısına eşittir. İlk adımda, boyutu SN olan başlangıç popülasyonu rastgele olarak oluşturulur. Her çözüm $x_i, (i = 1,2, \dots, SN)$, D boyutlu bir vektördür. D ise optimizasyon parametre sayısıdır. İlk atama yapıldıktan sonra, işçi arı, gözcü arı ve kaşif arı arama süreçleri tekrarlanan çevrime, $C = 1,2, \dots, MCN$, (MCN: maksimum çevrim sayısı) tabi tutulur. İşçi arı, yerel bilgiye bağlı olarak hafızasındaki yeri değişime uğratır ve yeni kaynaktaki nektar miktarını test eder. Yeni kaynaktaki nektar miktarı eskisinden daha fazla ise, yeni kaynağı hafızasına alır ve eskisini unutur. Aksi takdirde, eski kaynağı hafızasında tutar. Bütün işçi arılar arama sürecini tamamladıktan sonra, yiyecek kaynağı, yeri ve nektar miktarı hakkındaki bilgileri dans alanında gözcü arılar ile paylaşırlar. Gözcü arı bütün işçi arılardan aldığı bilgileri değerlendirir ve nektar miktarının olasılığına bağlı olarak yiyecek kaynağını seçer. Yapay gözcü arı yeni yiyecek kaynağını seçerken (24)'deki eşitliği kullanır (Karaboğa ve Öztürk, 2011).

$$p_i = \frac{fit_i}{\sum_{n=1}^{SN} fit_n} \tag{24}$$

Burada, SN, işçi arıların sayısına eşit olan yiyecek kaynağı sayısını, fit_i eşitlik (23)'de verilen uygun çözümü belirtmektedir.

Hafızadaki eski yiyecek kaynağı yerine aday yiyecek kaynaklarını üretmek için ABC algoritması (25)'deki eşitliği kullanır (Karaboğa ve Öztürk, 2011).

$$v_{ij} = x_{ij} + \phi_{ij}\left(x_{ij} - x_{kj}\right) \tag{25}$$

Burada, $k \in \{1,2,\ldots,SN\}$ ve $j \in \{1,2,\ldots,D\}$ rastgele seçilen indeksleri gösterir. k rastgele tanımlanmış olsa da i'den farklı olmak zorundadır. ϕ_{ij}, [-1,1] arasında düzgün dağılımdan rastgele bir sayıdır.

Arılar tarafından terk edilen yiyecek kaynakları, kâşif arılar tarafından belirlenen yeni kaynaklarla yer değiştirir. ABC algoritmasında, yeni kaynağın yeri rastgele olarak ve terkedilmişlerden biri değiştirilerek benzetilir. Eğer yeni kaynak önceden belirlenen döngü sayısında geliştirilemiyorsa, bu yiyecek kaynağı terkedilmiş varsayılır. Önceden belirlenen döngü sayısının değeri ABC algoritmasında önemli bir kontrol parametresidir ve *limit* olarak adlandırılır. Terkedilmiş kaynak x_i ile gösterilsin ve $j \in \{1,2,\ldots,D\}$ olsun. Kaşif arı x_i ile yeni yiyecek kaynağını belirlerken eşitlik (26)'yı kullanır (Karaboğa ve Akay, 2009).

$$x_{i,j} = x_{min,j} + rand(0,1)\left(x_{max,j} - x_{min,j}\right) \tag{26}$$

Yapay arı tarafından hesaplandıktan ve her aday kaynağın yeri v_{ij} belirlendikten sonra, verimlilikleri bir öncekiyle karşılaştırılır. Eğer yeni kaynak bir öncekine eşit ya da daha iyi ise hafızadaki yer bilgisi ile yer değiştirir. Aksi takdirde, bir önceki hafızada tutulmaya devam eder (Karaboğa ve Akay, 2009).

ABC algoritması dört farklı seçme işlemi kullanmaktadır (Karaboğa ve Akay, 2009):

i. Global olasılıksal seçme işlemi: Olasılık değeri, verimli bölgeleri keşfetmek için gözcü arılar tarafından eşitlik 24 ile hesaplanır.

ii. Yerel olasılıksal seçme işlemi: Eşitlik 25'te tanımlanan hafızadaki kaynak etrafında yeni kaynakları tanımlamak için kaynağın renk, şekil ve kokusuna bağlı olarak gözcü ve işçi arılar tarafından uygulanır.

iii. Yerel seçim (greedy selection): Gözcü ve işçi arılar tarafından uygulanır. Eğer aday kaynaktaki nektar miktarı, şimdiki kaynaktan daha iyi ise, arı hafızasındaki şimdiki kaynak yeri aday kaynak ile eşitlik 25 kullanılarak yer değiştirir. Aksi takdirde şimdiki kaynak hafızada tutulur.

iv. Rastgele seçim işlemi: Eşitlik 26'da tanımlandığı üzere kaşif arılar tarafından uygulanır.

ABC algoritmasının sözde kodu aşağıdaki gibidir (Karaboğa ve Öztürk, 2011):

```
1. Çalışılacak verileri yükle
2. Başlangıç popülasyonunu oluştur $x_i$, $i = 1,2,…,SN$
3. Popülasyonun amaç değerini ($f_i$) hesapla
4. Çevrim = 1
5.     Repeat
6.       for her işçi arı için
         {
            Eşitlik 25'i kullanarak yeni çözümleri $v_i$ üret
            ve $f_i$ değerini hesapla
            Yerel seçim işlemini uygula
         }

7.        Eşitlik 24'ten çözüm ($x_i$) için $p_i$ olasılık değerini hesapla

8.        For her gözcü arı için
          {
            $p_i$ değerine bağlı olarak $x_i$ çözüm değerini seç
            Yeni çözüm $v_i$ üret
            $f_i$ değerini hesapla
            Yerel seçim işlemini uygula
          }

9.        if kaşif arı tarafından terkedilen çözüm var ise
             then eşitlik (26)'yı kullanarak yeni çözüm ile yer değiştir

10.          En iyi çözümü hafızaya al
11.        Çevrim = Çevrim + 1
12.     Until Çevrim = MCN
```

Şekil 9. Yapay arı koloni algoritması

1.10.4. Uygulama Alanları

2005 yılında Karaboğa tarafından geliştirilen Yapay Arı Kolonisi Algoritması birçok alanda başarıyla uygulanmıştır.

Öztürk ve diğ., elektrik güç sistemi optimal yakıt maliyetinin belirlenmesinde ABC algoritmasını kullanmış ve karşılaştırılan diğer yöntemlerden daha iyi sonuçlar elde edildiği görülmüştür (Öztürk ve diğ., 2011).

Eke ve diğ., kararlı güç sistemi dengeleyicisi tasarımı için ABC algoritması kullanmış ve karşılaştırılan diğer yöntemlerden daha iyi sonuç verdiği görülmüştür (Eke ve diğ., 2011).

Tapkan, Özbakır ve Baykasoğlu, genelleştirilmiş atama probleminin çözümü için Arı Algoritması'nın performansını incelemişler ve "çift kaydırma" komşuluk yapısının en iyi, "değiştirme" komşuluk yapısının en kötü performansa sahip olduğunu görmüşlerdir (Tapkan, Özbakır ve Baykasoğlu, 2008).

Akay, ABC algoritmasını tamsayı problemlerinde kullanılacak şekilde geliştirmiş ve diğer algoritmalarla performanslarını kıyaslamıştır. Sınırlamalı problemler için ABC'nin yeni sürümünü önermiş, sınırlamasız problemler için ise algoritmada yapısal değişiklikler yapmıştır (Akay, 2009).

Karaboğa ve Akay, yapay sinir ağlarının eğitiminde ABC algoritmasını kullanmışlar ve parçacık sürü optimizasyonu ve farksal gelişim algoritması ile karşılaştırmışlardır. Çalışma sonucunda ABC algoritmasının daha iyi sonuç verdiği gösterilmiştir (Karaboğa ve Akay, 2007).

2. YAPILAN ÇALIŞMALAR

2.1. Giriş

İstatistik biliminde, güven aralığı popülasyonu temsil eden bir parametrenin kabul edilebilir bir aralıkta tahmin edilmesidir. Bir parametre için sonsuz sayıda farklı aralık tanımlanabilir. Sonsuz sayıda tanımlanabilen bu aralıkların en uygun olanını seçmek için aşağıdaki seçenekler araştırılmaktadır.

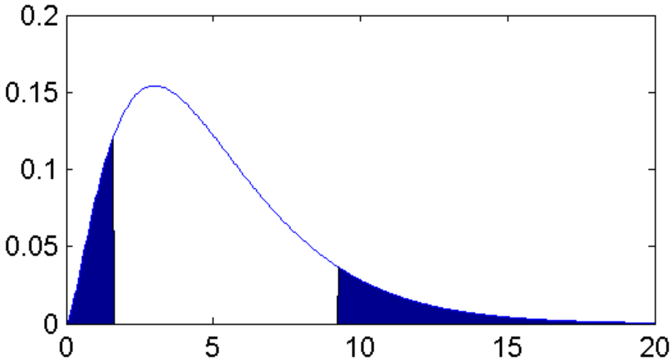
Bunlar,

a) Eşit alanlı kuyrukları veren güven sınırları bölgesi
b) En dar aralıktaki güven bölgesi
c) Eşit olasılıklara sahip güven sınırları bölgesi

biçiminde listelenebilir. Bu yöntemler, normal dağılım gibi simetrik dağılımlarda aynı sınırları göstermesine rağmen, simetrik olmayan dağılımlarda (a) seçeneği diğerlerinden farklılık göstermektedir. (b) ve (c) seçeneği ise çok modlu dağılımlarda farklılık göstermektedir.

2.1.1. Eşit Alanlı Kuyrukları Veren Güven Sınırları Bölgesi

Bu aralıkta, güven sınırlarının dışında kalan olasılık dağılım miktarı, yani güven bölgesinin sol ve sağ kısmında kalan alanlar birbirine eşit (eşitlik 27) olan aralıklardır (Şekil 10).



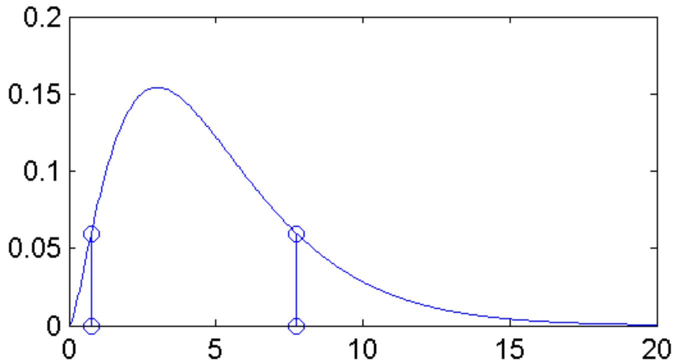
Şekil 10. Eşit alanlı kuyruklar ile güven bölgesi

Bu aralık yöntemi literatürde en yaygın olarak kabul gören yöntemdir.

$$\Pr(L \leq \theta \leq U|\, Pr(\theta \leq L) = \Pr(\theta \geq U)) = 1 - \alpha \tag{27}$$

2.1.2. En Dar Aralıktaki Güven Bölgesi

Uygulamada en çok tercih edilmesi gereken bir yöntem olan en dar bölge seçimi hesaplamadaki zorluklardan pek tercih edilmez. Bu yöntemde istenen güven düzeyini (bölgesini) veren sonsuz güven sınırları içerisinde, aralarındaki uzaklığı en kısa olan tercih edilmektedir (Şekil 11).

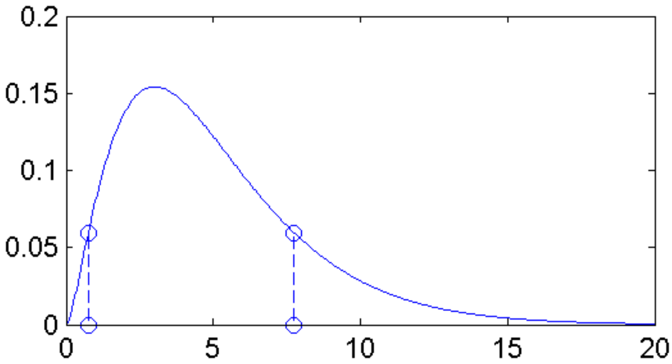


Şekil 11. En dar aralıklı güven bölgesi

$$\Pr(L \leq \theta \leq U|\, min(U - L)) = 1 - \alpha \tag{28}$$

2.1.3. Eşit Olasılıklara Sahip Güven Sınırları Bölgesi

Güven sınırlarındaki olasılık yoğunluk fonksiyonu değerleri birbirine eşittir (Şekil 12). Olasılık yoğunluk fonksiyonları iki taraflı monoton bir fonksiyon olduklarından eşit olasılık sınırları ile en dar aralık sınırları birbirine eşit çıkmaktadır (eşitlik 29). Ancak çok modlu, yani monoton olmayan bir olasılık fonksiyonunda en dar aralık ile eşit olasılık aralığı aynı konumda bulunmayabilir.



Şekil 12. Eşit olasılık yoğunluk değerine sahip güven sınırları

$$\Pr\big(L \leq \theta \leq U \mid f(L) = f(U)\big) = 1 - \alpha \tag{29}$$

2.2. İki Değişkenli Olasılık Fonksiyonlarında Güven Bölgesi

Tek değişkenli güven bölgesi olasılık yoğunluk fonksiyonunun iki sınır değeri $(L,\ U)$ ile kesilen bir bölgesi olarak tanımlanmaktadır. Bu sınırlar yukarıda bahsedilen yöntem ışığında yapılabilmektedir. Ancak iki değişkenli bir olasılık yoğunluk fonksiyonunda eş hacimlerden söz etmek mümkün gözükmemektedir. İki değişkenli olasılık fonksiyonlarında alan yerine hacim kullanılmaktadır.

2.3. Doğru Tabanlı Yapay Arı Kolonisi Algoritması

Algoritma 1. En küçük alana sahip güven düzeyini veren çokgensel bölgenin bulunması için geliştirilen algoritma

I. Verilerin hazırlanması aşaması

Adım 1: Giriş parametrelerinin belirlenmesi,

İlgilenilen bölgede, bölgenin olasılık dağılımına göre rastgele noktalar oluşturulur. Hesaplamanın hassasiyetini artırmak için rastgele noktalar çoğaltılabilir. Gereğinden çok nokta seçilmesi ise hesaplama zamanını arttıracağı gibi bilgisayar belleğinin yetersiz kalmasına neden olabilir. Buradaki tercih kullanıcıya bırakılmıştır. Seçilen her noktanın olasılık değeri olasılık yoğunluk fonksiyonu yardımıyla bulunarak Noktalar isimli bir listeye aktarılır.

```
Noktalar(i).x    : i. noktanın x koordinatı
Noktalar(i).y    : i. noktanın y koordinatı
Noktalar(i).p    : i. noktanın olasılık yoğunluk değeri (f(x,y))
```

Seçilen tüm noktalar Delaunay üçgenleme yöntemi ile üçgenlenerek bir dış bükey çokgen oluşturulur. Tüm üçgenler Üçgenler(k) listesine aktarılır. Aynı üçgende birleştirilen iki nokta bir doğru oluşturmaktadır. Tüm üçgenlerden yararlanılarak tüm doğrular Doğrular(*) isimli bir listeye aktarılır.

```
Doğrular(j).ilk  : j. doğru parçasının ilk nokta dizini
Doğrular(j).son  : j. doğru parçasının son nokta dizini (ilk<son)
```

Çokgen alanın içerisindeki her doğrunun komşu dört doğrusu bulunmaktadır. Eğer doğru, çokgenin kenar çizgisi ise komşu iki doğrusu bulunmaktadır. Bunlar ise,

```
Komşular(j)(*)   : j. doğrunun tüm komşu doğru dizinleri
```

listesine aktarılır.

II. Yapay Arı Koloni Algoritma aşaması

Adım 2: Başlangıç besin kaynağının belirlenmesi,

Adım 2a: Rastgele bir doğru belirlenmesi; 1 ile J arasında düzgün dağılımdan ($r_m = irand(1,J)$) rastgele bir tam sayı dizini oluşturulur. Doğrular listesinde r_m dizinin ilk ve son noktaları bulunur.

Adım 2b: Seçilen r_m doğrusunun ilk ve son noktaları arasında rastgele bir uzaklıkta,

$$r_u = rand(0,1)$$
$$Çokgen(n).x(1) = x_{ilk} + r_u(x_{son} - x_{ilk})$$
$$Çokgen(n).y(1) = y_{ilk} + r_u(y_{son} - y_{ilk})$$
$$Çokgen(n).p(1) = p_{ilk} + r_u(p_{son} - p_{ilk})$$

bir nokta seçilir. Bu nokta n. Çokgen listesine 1. düğüm olarak eklenir. 1. düğümün bulunduğu doğruya (r_m) komşu doğrular belirlenir. 1. düğümün olasılık değeri komşu doğruların ilk ve son noktalarının olasılık değerleri arasında ise o komşu doğrunun seçilme olasılığı 9 oranına değilse 1 oranına sahip olacak bir olasılık çarkı oluşturulur. Bu çarka göre komşu bir doğru seçilir ve bu doğru üzerinde önceki doğrunun olasılık değerine eş olan nokta seçilerek n. Çokgene bir düğüm olarak eklenir. Daha sonra bir sonraki komşu düğüm belirlenerek işleme devam edilir. Bu düğümler başlangıç düğümüne gelinceye kadar eklenmeye devam edilir. Başlangıç düğümüne gelindiğinde n. çözüm oluşturulmuş olur. Başlangıç çözümlerinin oluşturulmasında eş olasılık yöntemi büyük olasılıkla tercih edilmektedir. Burada dikkat edilmesi gereken nokta seçilen her düğüm önceki seçilmişlere (başlangıç hariç) eşit olmamasıdır.

Adım 2c: Belirlenen çokgenin (çözümün) her üçgenle kesişim bölgesi belirlenerek üçgen prizma yöntemiyle rezerv hacmi hesaplanır.

$$Amaç_n = \left| 1 - \alpha - \sum_{k=1}^{K} Kesişim\ alanı_k \times Ortalama\ olaslıklar_k \right|$$

Buradaki n dizini besin bölgesini göstermektedir. İstenen toplam besin bölgesi N ile gösterilirse n= $1,2,\ldots,N$ biçiminde tanımlanabilir. Buradaki k üçgen indisini gösterirken, K toplam üçgen sayısını göstermektedir. Her n için Adım 2 tekrarlanarak tüm bölgeler (çözümler) oluşturulur.

Adım 3: Çevrimsel adımlarla çözümlerin iyileştirilmesi,

Adım 3a: İşçi arılar aşaması; bu aşamada besin bölge sayısı (N) kadar işçi arı bulunmaktadır. Her işçi arı kendisine verilen bölgeye (çokgene) gider ve o bölgenin komşuluğunda başka bir çözüm geliştirmeye çalışır. Kendi çokgenine giden işçi arılar düğümlerden birisini rastgele seçerek o düğümün yerini bulunduğu doğru üzerinde rastgele başka bir konuma yerleştirir. Yeni konuma göre amaç değeri hesaplanır.

Şayet yeni konum daha düşük bir amaç değeri veriyorsa yeni konumu mevcut konum olarak kabul ederek kovana döner.

Şayet yeni konum eski konuma göre daha büyük bir amaç değeri veriyorsa, eski konumunu mevcut konum olarak kabul eder.

Adım 3b: Gözcü arılar aşaması; bu aşamada da besin bölge sayısı (N) kadar gözcü arı kovanda bulunmaktadır. Ancak işçi arıların aksine gözcü arılar istedikleri besin bölgesine gitmektedirler. Gözcü arılar gidecekleri besin bölgelerini işçi arıların besin bölgelerinden döndükten sonra yaptıkları danslara göre karar vermektedir. Bu çalışmada ise her çözümün amaç değeri,

$$Uygunluk_n = \frac{1}{1 + Amaç_n}$$

biçiminde uygunluk değerine dönüştürüldükten sonra her bir besin bölgesinin gözcü arı tarafından seçilmesi için,

$$P_n = \frac{Uygunluk_n}{\sum_i Uygunluk_i}$$

biçiminde seçilme olasılıklarının hesaplanması gerekir. Bu olasılıklar olasılık çarkına yerleştirilerek her bir gözcü arının hangi besin bölgesini seçeceğine karar verilir.

Her gözcü arı gideceği besin bölgesini seçtikten sonra gittiği besin bölgesindeki herhangi bir düğümü rastgele seçerek (aynen işçi arılarda olduğu gibi) bulunduğu doğrunun üzerinde rastgele başka bir konuma yerleştirir. Yeni konuma göre amaç değeri hesaplanır.

Şayet yeni konum daha düşük bir amaç değeri veriyorsa, yeni konumu mevcut konum olarak kabul ederek kovana döner.

Şayet yeni konum eski konuma göre daha büyük bir amaç değeri veriyorsa, eski konumunu mevcut konum olarak kabul eder.

Adım 3c: Kaşif arı aşaması; İşçi ve gözcü arılar her çevrimde gittikleri besin bölgelerini iyileştirmeye çalışmaktadır. Her çevrimde tüm bölgelerin amaç değerleri karşılaştırılarak en kötü (en büyük) amaç değerine sahip çözümün

En_Kötüler(n) listesindeki değeri bir artırılır. En_Kötüler listesindeki herhangi bir değer limit değerini aştığında kaşif arı devreye girer. Limit değerini aşan bölge (çözüm, çokgen) kaşif arı tarafından yeniden oluşturulur.

Adım 4. Çevrim sayısı bitmediyse Adım 3'e giderek çevrim tekrarlanır. Şayet çevrim sayısı bitmişse tüm çözümler amaç değerlerine göre sıralanır ve en iyi %50 (değerin belirlenmesi kullanıcıya bırakılmıştır) çözüm seçilir. Bu çözümlerden (çokgenlerin) alanı en küçük olan genel çözüm olarak kabul edilir.

2.4. İki Değişkenli Normal Dağılımın Güven Aralığı

Bu örnekte, bağımsız iki değişkenli normal dağılımın olasılık yoğunluk fonksiyonu eşitlik (30) ile hesaplanır.

$$f(x,y) = \frac{1}{2\pi\sigma_x\sigma_y\sqrt{1-\rho^2}} \exp\left(-\frac{1}{2(1-\rho^2)}\left[\frac{(x-\mu_x)^2}{\sigma_x^2} + \frac{\left(y-\mu_y\right)^2}{\sigma_y^2} - \frac{2\rho(x-\mu_x)(y-\mu_y)}{\sigma_x\sigma_y}\right]\right) \quad (30)$$

Burada ρ, x ve y değerleri arasındaki korelasyon katsayısıdır.

2.4.1. Standart Normal Dağılıma Göre Yapılan Uygulama

Yapılan uygulamada,

$\mu_x = 0,$

$\mu_y = 0,$

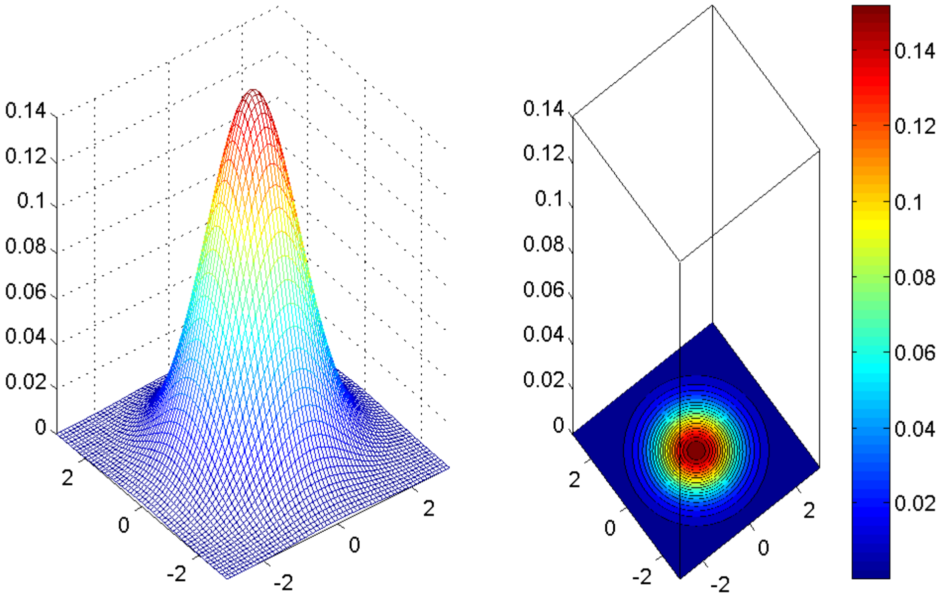
$\sigma_x = 1,$

$\sigma_y = 1,$

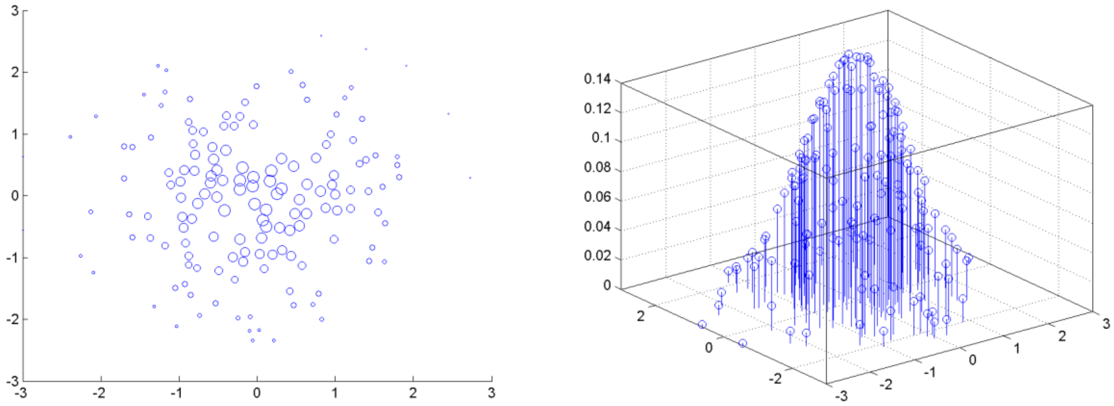
ve

$\rho = 0$

olarak alınırsa iki değişkenli standart normal dağılım (Şekil 13) elde edilir. Şekil 14'te rastgele seçilen noktalar görülmektedir. Şekil 14.(a)'da rastgele noktalar daireler biçiminde iki boyutlu bir uzayda gösterilmiştir. Burada dairenin büyüklüğü o noktanın olasılık yoğunluk değerinin büyüklüğünü göstermektedir. Şekil 14.(b)'de ise rastgele noktalar düşey doğrular biçiminde gösterilmiştir. Buradaki doğruların uzunlukları o noktanın olasılık yoğunluk değerini göstermektedir.



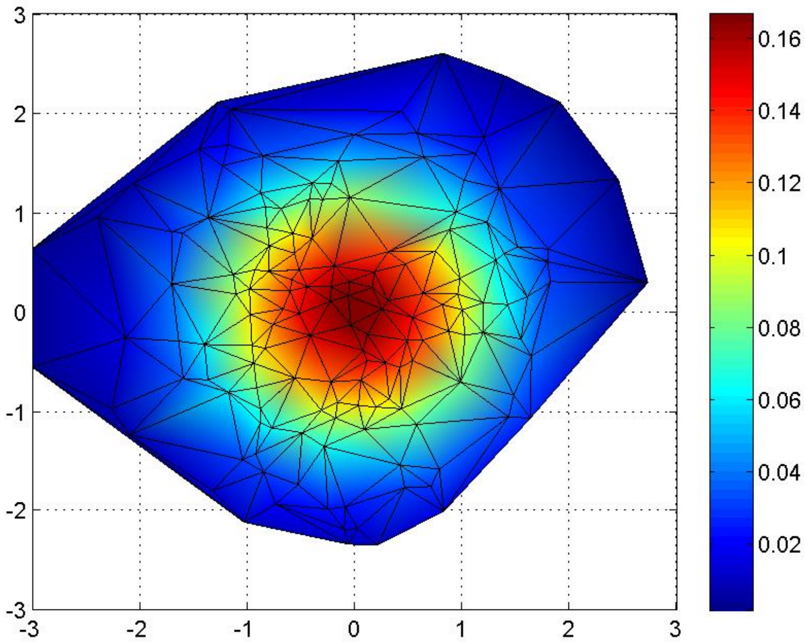
Şekil 13. İki değişkenli standart normal dağılım



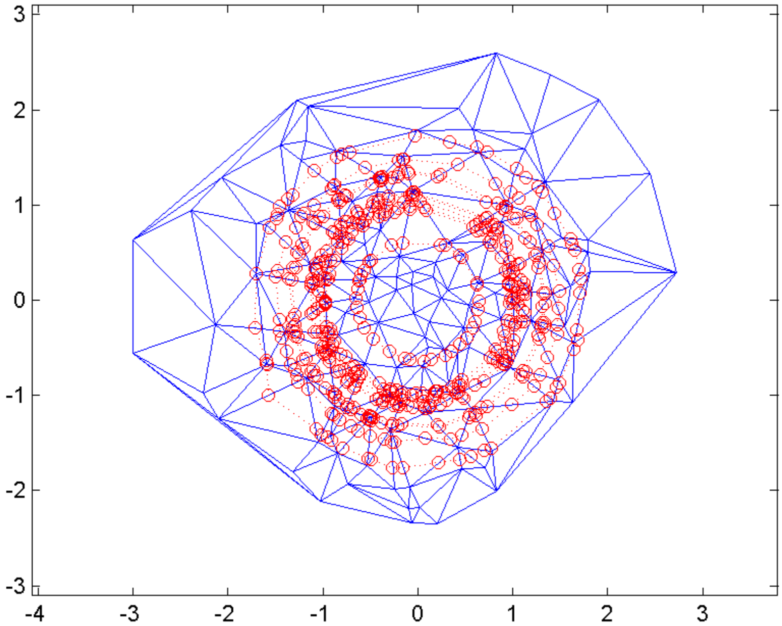
(a) (b)

Şekil 14. İki değişkenli standart normal dağılımdan oluşturulmuş rastgele noktalar; (a) rastgele noktaların iki boyutlu gösterimi; (b) rastgele noktaların üç boyutlu gösterimi

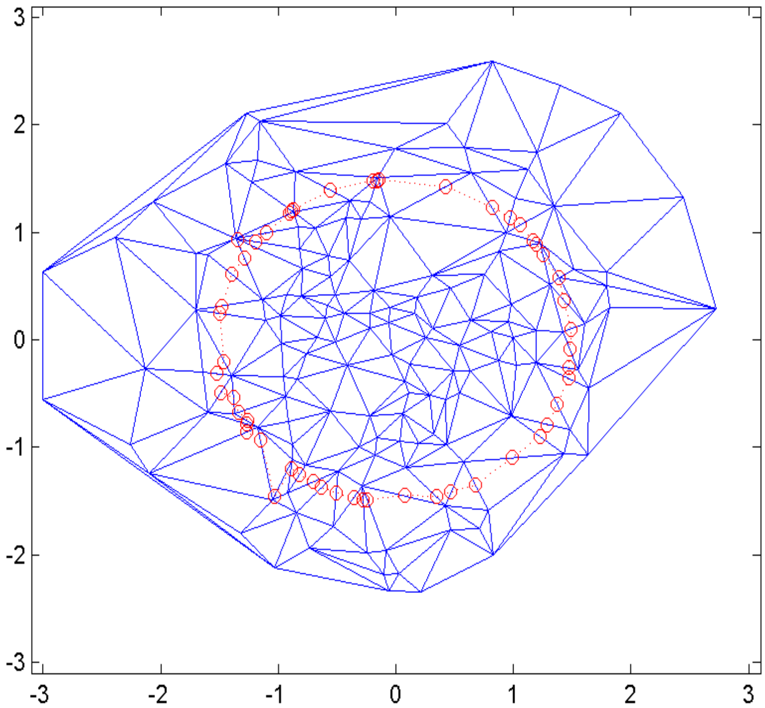
Seçilen noktaların Delaunay üçgenlemesi Şekil 15'te gösterilmektedir. Şekil 15'in sağ tarafında verilen renk değerleri, alanda bulunan renklerin olasılık yoğunluk fonksiyonun nasıl değiştiğini göstermektedir. Şekil 16'da yapay arı koloni algoritması için rastgele oluşturulmuş başlangıç çokgensel çözüm bölgeleri gözükmektedir. Şekil 17'de ise 20. çevrim sonucunda elde edilen en iyi çokgensel çözüm bölgesi gösterilmektedir.



Şekil 15. Rastgele noktaların Delaunay üçgenlemesi



Şekil 16. Yapay arı koloni algoritması için başlangıç çözümleri



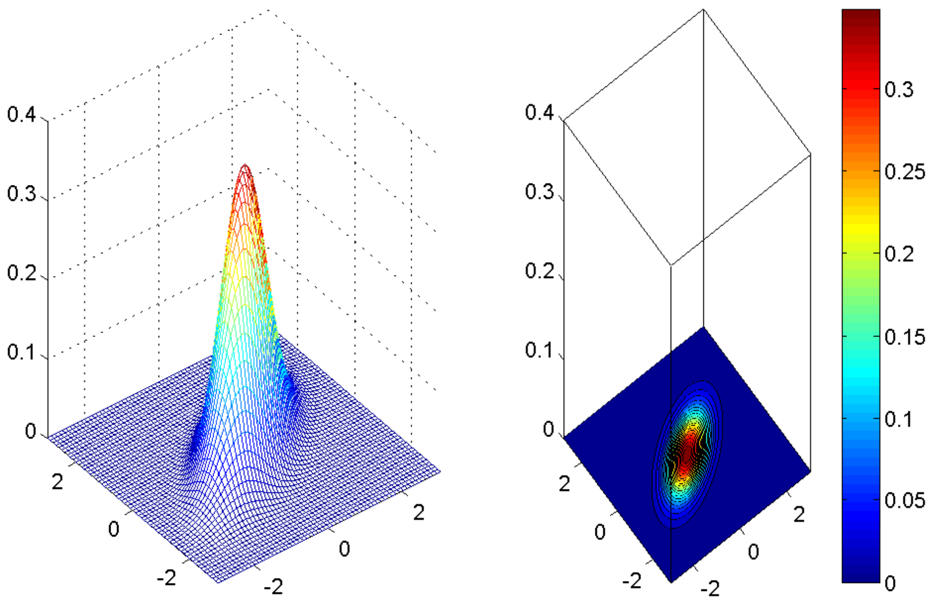
Şekil 17. 20. çevrimden sonraki en iyi çözüm

2.4.2. Standart Olmayan Normal Dağılıma Göre Yapılan Uygulama

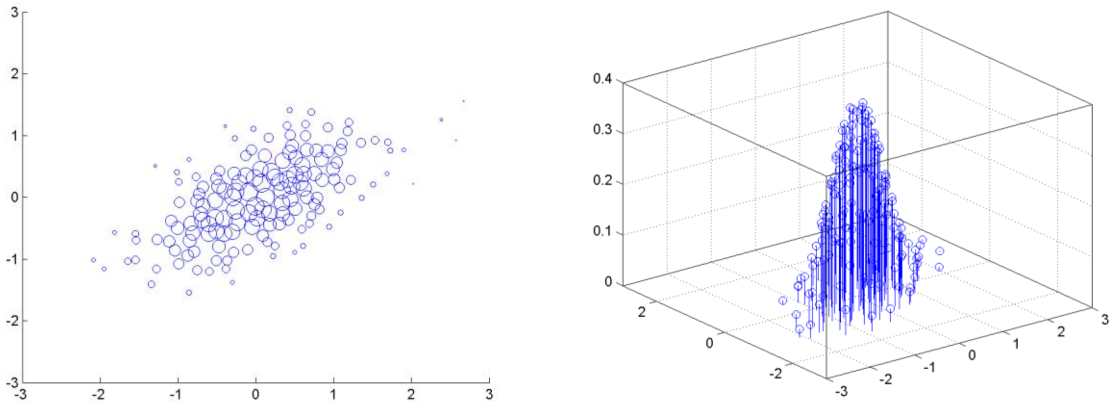
Yapılan uygulamada dağılımın parametreleri,

$$\mu = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \end{pmatrix}$$
$$\Sigma = \begin{pmatrix} 0.7 & 0.4 \\ 0.4 & 0.5 \end{pmatrix}$$

olarak alınırsa iki değişkenli normal dağılım (Şekil 18) elde edilir. Şekil 19'da rastgele seçilen noktalar görülmektedir. Şekil 19.(a)'da rastgele noktalar daireler biçiminde iki boyutlu bir uzayda gösterilmiştir. Burada dairenin büyüklüğü o noktanın olasılık yoğunluk değerinin büyüklüğünü göstermektedir. Şekil 19.(b)'de ise rastgele noktalar düşey doğrular biçiminde gösterilmiştir. Buradaki doğruların uzunlukları o noktanın olasılık yoğunluk değerini göstermektedir.



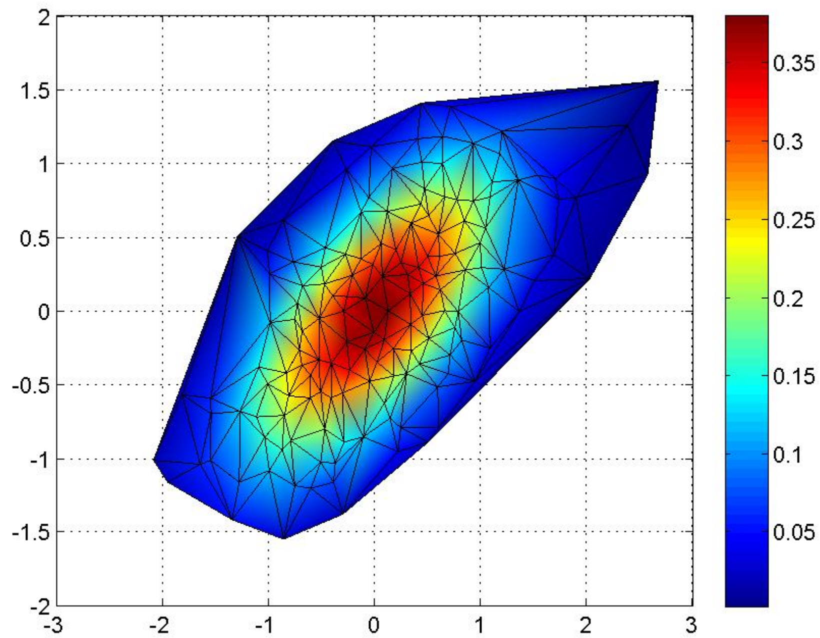
Şekil 18. İki değişkenli normal olmayan dağılım



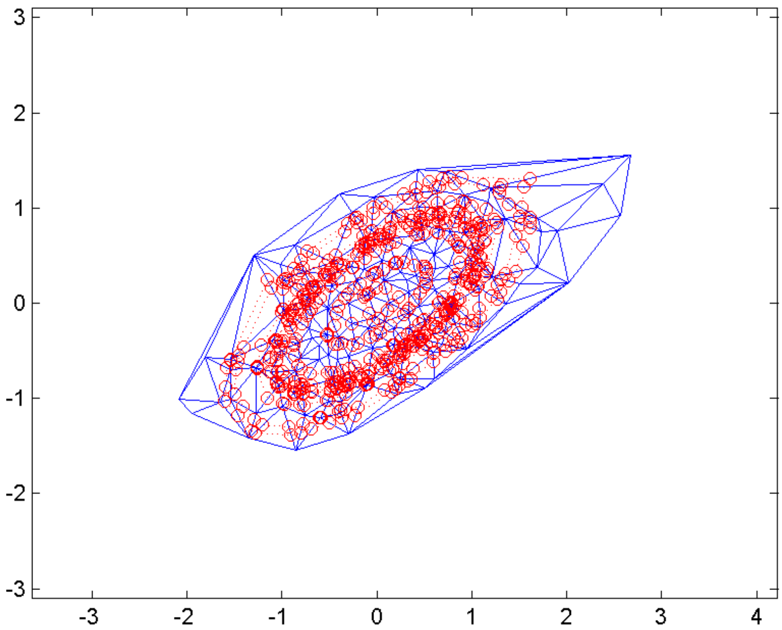
(a) (b)

Şekil 19. İki değişkenli standart olmayan normal dağılımdan oluşturulmuş rastgele noktalar; (a) rastgele noktaların iki boyutlu gösterimi; (b) rastgele noktaların üç boyutlu gösterimi

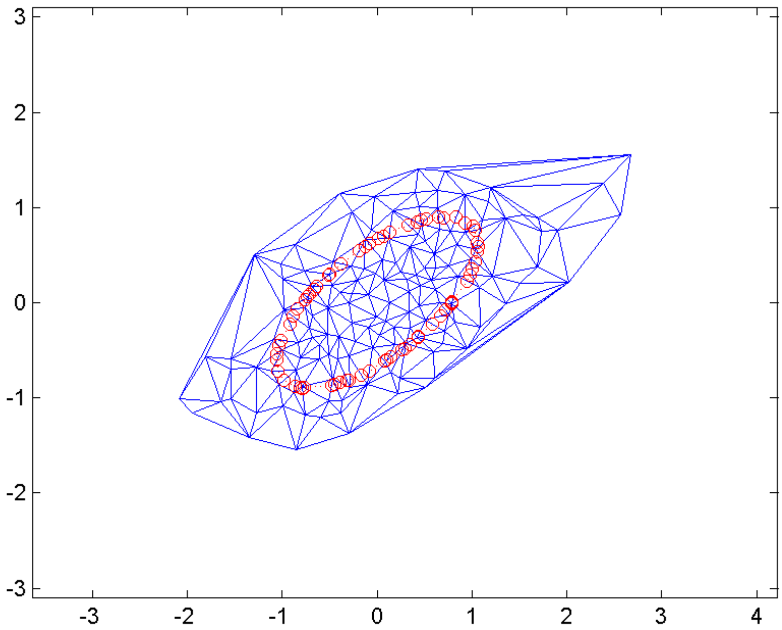
Seçilen noktaların Delaunay üçgenlemesi Şekil 20’de gösterilmektedir. Şekil 20’nin sağ tarafında verilen renk değerleri, alanda bulunan renklerin olasılık yoğunluk fonksiyonun nasıl değiştiğini göstermektedir. Şekil 21’de yapay arı koloni algoritması için rastgele oluşturulmuş başlangıç çokgensel çözüm bölgeleri gözükmektedir. Şekil 22’de ise 20. çevrim sonucunda elde edilen en iyi çokgensel çözüm bölgesi gösterilmektedir.



Şekil 20. Rastgele noktaların Delaunay üçgenlemesi



Şekil 21. Yapay arı koloni algoritması için başlangıç çözümleri

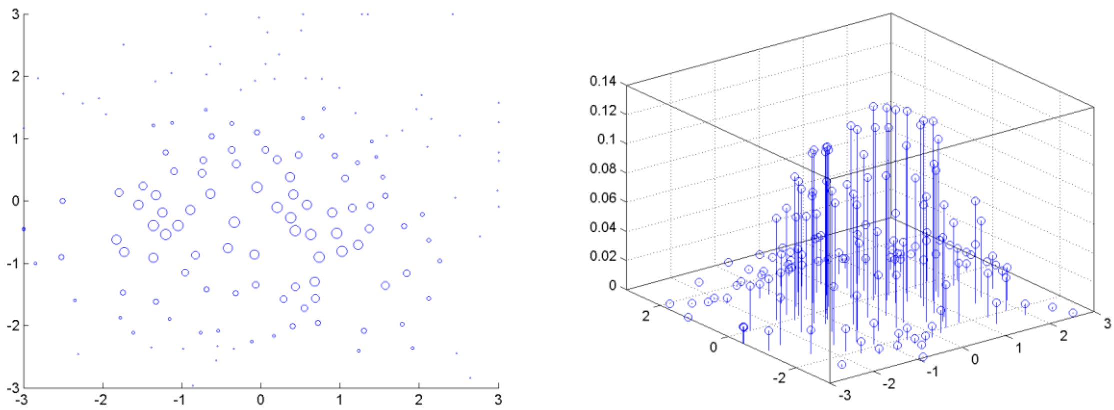


Şekil 22. 20. çevrimden sonraki en iyi çözüm

2.5. Maden Sahası Uygulamaları

Açık maden ocakları açılmadan önce, bölgede yüzlerce sondaj çalışması yapılmaktadır. Her sondajdan alınan örnekler laboratuvarlarda incelenerek kesilen cevherin kalınlığı ve miktarı bulunmaktadır. Aynı zamanda cevherin ne kadar derinlikte olduğu hesaplanabilmektedir. Kesilen her sondaj bölgesi işletilecek değerde olmadığından yüksek verimlilikteki sondaj bölgeleri tercih edilmektedir. Bu işlem için uzman maden mühendisi tarafından sondaj verileri değerlendirilerek en iyi bölge seçilmeye çalışılmaktadır. Farklı konumlarda açılan sondaj kuyularının konumlarını rastgele sayılar ve kesilen cevher miktarını ise olasılık yoğunluk fonksiyonu olarak kabul edersek, maden sahası seçilecek bölge bir güven bölgesine dönüşmektedir.

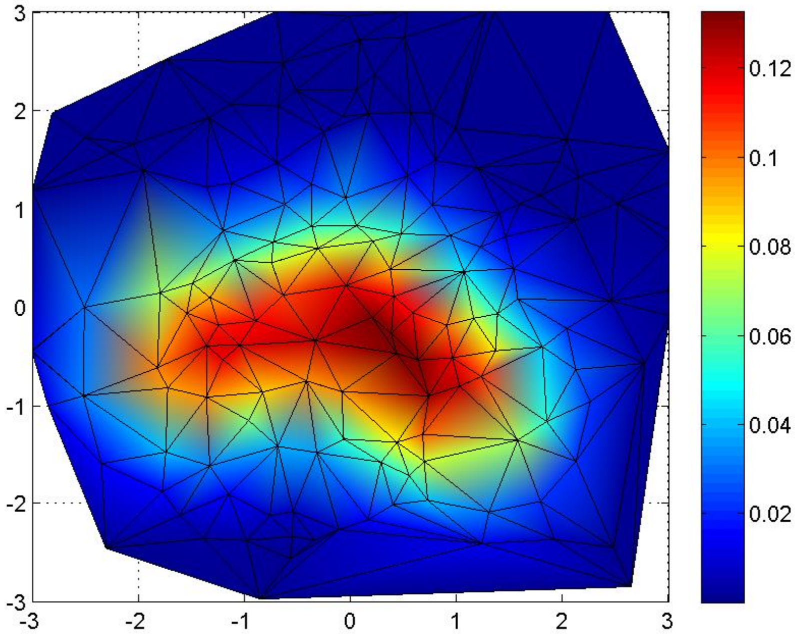
Yapılan uygulamada sondaj verileri yapay olarak oluşturularak güven bölgesi belirlenmeye çalışılmıştır. Rastgele olarak oluşturulan sondaj verileri (Şekil 23)'te verilmektedir. Şekil 23.(a)'da sondaj noktaları daireler biçiminde iki boyutlu bir uzayda gösterilmiştir. Burada dairenin büyüklüğü o sondajın kestiği cevher kalınlığını göstermektedir. Şekil 23.(b)'de ise sondaj noktaları düşey doğrular biçiminde gösterilmiştir. Buradaki doğruların uzunlukları o sondajın kestiği cevher miktarını göstermektedir.



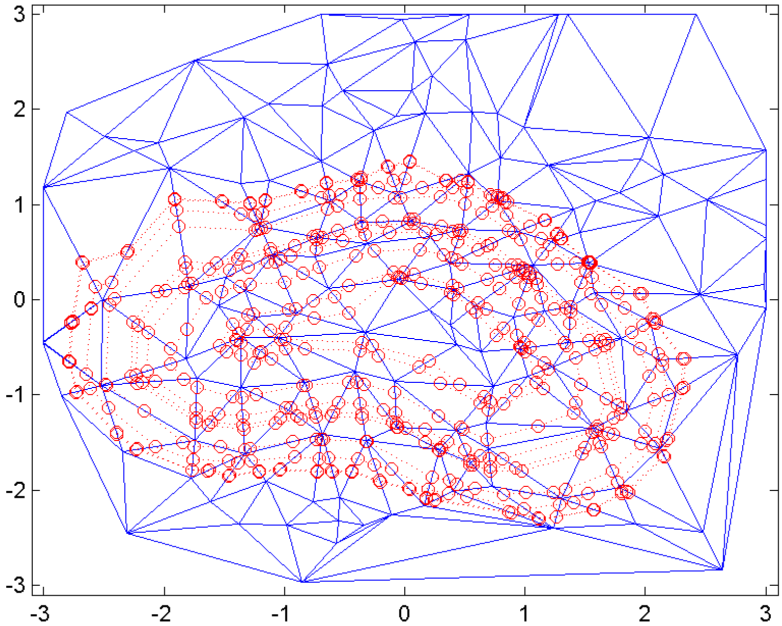
(a) (b)

Şekil 23. Yapay sondaj konumları ve kestiği cevherin dağılımı (a) rastgele noktaların iki boyutlu gösterimi; (b) rastgele noktaların üç boyutlu gösterimi

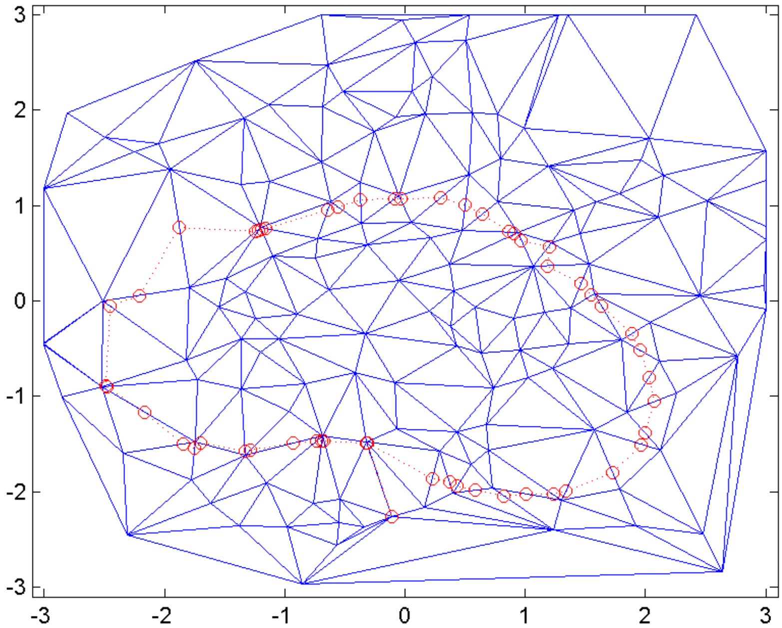
Seçilen noktaların Delaunay üçgenlemesi Şekil 24’te gösterilmektedir. Şekil 24’ün sağ tarafında verilen renk değerleri, alanda bulunan renklerin olasılık yoğunluk fonksiyonun nasıl değiştiğini göstermektedir. Şekil 25’da yapay arı koloni algortiması için rastgele oluşturulmuş başlangıç çokgensel çözüm bölgeleri gözükmektedir. Şekil 26’de ise 20. çevrim sonucunda elde edilen en iyi çokgensel çözüm bölgesi gösterilmektedir.



Şekil 24. Rastgele noktaların Delaunay üçgenlemesi



Şekil 25. Yapay arı koloni algoritması için başlangıç çözümleri



Şekil 26. 20. çevrimden sonraki en iyi çözüm

3. BULGULAR VE SONUÇLAR

Bu çalışmada, iki amaçlı bir optimizasyon problemine çözüm üretilmeye çalışılmıştır. Bu problem iki değişkenli bir olasılık yoğunluk fonksiyonun istenen bir güven düzeyine $(1-\alpha)$ göre bir güven bölgesi tanımlamaktır. Bu bölge istenen güven düzeyine en yakın bir değere sahipken aynı zamanda olabilecek en dar bölgeyi seçmektedir.

Geliştirilen yöntem öncelikle standart normal dağılım fonksiyonuna uygulandığında güven bölgesinin dairesel bir yapı gösterdiği görülmektedir. Standart olmayan ve değişkenler arasında bir korelasyon olduğu durumda ise eliptik bir bölgenin bulunması geliştirilen yöntemin mantıksal açıdan doğru olduğunu göstermektedir.

20 çevrim sonucunda her iki örneğin amaç değerleri,

Standart normal dağılım için :7.3089e-05

Standart olmayan dağılım için :1.9225e-04

değerlerini vermektedir. Bu ise istenen sonucun ne kadar hassasiyetle hesaplandığını göstermektedir.

Maden sahası için yapay olarak oluşturulan sondaj verilerine geliştirilen yöntemin uygulanması ile Şekil 24’te görülen cevher dağılımına göre seçilen bölgenin tutarlılığı Şekil 26’da açık bir biçimde görülmektedir. Şekil 26’da 20. çevrim sonucunda amaç değeri :1.4050e-05 olarak bulunmuştur. Bu ise doğruluk açısından oldukça tatminkar bir sonuç ortaya koymaktadır.

4. ÖNERİLER

İstatistiksel araştırmalarda genelde verilerin değerleri üzerinde durulmaktadır. Ancak verilerin iki boyutlu konumları söz konusu olduğunda testlerin gerçekleştirilmesi zor gözükmektedir. Geliştirilen yöntem ile iki değişkenli olasılık fonksiyonları için güven bölgeleri belirlenebileceği için iki değişkenli istatistiksel analizler yapılabilir.

Açık maden ocaklarının yerlerinin belirlenmesinde ve kazılacak bölgenin sınırlarının belirlenmesinde teknik bilgiye sahip bir uzman gerekmektedir. Ayrıca bu uzmanın vereceği yanlış kararlar maliyetin artmasına neden olacaktır. Oysa açık maden ocaklarında verimliliğin arttırılmasında geliştirilen yöntem sağlıklı bir şekilde kullanılabilir. En azından teknik uzmana yardımcı bilgi vermesinin yanı sıra uzmanın vereceği kararın doğruluğunu test etmek amacıyla kullanılabilir.

Geliştirilen yöntem, aynı maden sahasında birbirinden kopuk halde bulunan rezervlerin ayrı ayrı seçilmesi için uyarlanabilir. Bu uyarlama gereksiz maliyetlerin önüne geçmekte katkı sağlayacaktır.

İki değişkenli olasılık dağılımları için geliştirilen bu yöntem çok değişkenli olasılık dağılımları için de geliştirilebilir.

Daha güçlü bilgisayarlarda, daha fazla örnek, daha fazla besin bölgesi ve daha fazla çevrim sayısı seçilerek daha hassasiyetli sonuçlar elde edilebilir.

Maden sahası için yapay sondaj verileri kullanıldı. Ancak geliştirilen yöntem maden mühendisleri tarafından irdelenerek ve gerçek verilere uygulanarak, uzman mühendislerin yaptığı seçimlerle karşılaştırılıp başarımları ölçülebilir.

5. KAYNAKLAR

Akay, B., 2009. Nümerik Optimizasyon Problemlerinde Yapay Arı Kolonisi (Artificial Bee Colony) Algoritmasının Performans Analizi, Doktora Tezi, Erciyes Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kayseri, 301 s.

Bonabeau, E. and Meyer, C., 2001. Swarm Intelligence: A Whole New Way to Think about Business, Harvard Business Review, Harvard Business School Publishing Corporation.

Eberhart, R.C. and Kennedy, J.,1995. A New Optimizer Using Particle Swarm Theory, in: Proceedings of the Sixth International Symposium on Micromachine and Human Science, Nagoya, Japan, 39–43.

Eke, İ., vd., 2011. Yapay Arı Kolonisi Algoritması Tabanlı Kararlı Güç Sistemi Dengeleyicisi Tasarımı, Gazi Üniversitesi, Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi, 683-690.

Garey, M.R., Johnson, D.S., Preparata, F.P. and Tarjan, R.E., 1978. Triangulation of a Simple Polygon, Information Processing Letters, 171-179.

Georgen, H., Hupp, H., Stolu, R.D., 1981. The Logical Course in Planning an Opencast Mine., International Mining & Minerals Association.

Haner, B., 2007. Zonguldak Karaelmas Üniversitesi, Meslek Yüksekokulu, Maden İşletme II Ders Notları.

İşçi, Ö. ve Korukoğlu, S., 2003. Genetik Algoritma Yaklaşımı ve Yöneylem Araştırmasında Bir Uygulama. Celal Bayar Üniversitesi, Yönetim ve Ekonomi Dergisi, Manisa.

Jang, J.S.R., 1997. Neuro-Fuzzy and Soft Computing a Computational Approach to Learning and Machine Intelligence, Chapter 7: Derivative-Free Optimization, Prentice-Hall, USA, 173-196.

Karaboğa, D., 2005. An Idea Basen on Honey Bee Swarm For Numerical Optimization, Technical Report-TR06, October.

Karaboğa, D., 2011. Yapay Zeka Optimizasyon Algoritmaları, Nobel Yayın Dağıtım.

Karaboğa, D. ve Akay, B., 2007. Artificial Bee Colony Algorithm on Training Artificial Neural Networks. Signal Processing and Communications Applications, ISU 2007 IEEE 15th, 1-4.

Karaboğa, D. ve Akay, B., 2009. A Comparative Study of Artificial Bee Colony Algorithm, Applied Mathematics and Computation, 108-132.

Karaboğa, D. ve Öztürk, C., 2011. A Novel Clustering Approach: Artificial Bee Colony (ABC) Algorithm, Applied Soft Computing, 652-657.

Kennedy, J. and Eberhart, R.C., 1995. Particle Swarm Optimization, IEEE International Conference on Neural Networks, 1942-1948, Piscataway, NJ.

Küçükdeniz, T., 2009. Sürü Zekası Optimizasyon Tekniği ve Tedarik Zinciri Yönteminde Bir Uygulama, Doktora Tezi ,İstanbul Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

Lawson, C.L., 1972. Generation of Triangular Grid with Application to Contour Plotting: California Institute of Technology, Technical Memorandum, No: 229.

Mitchell, M. and Forrest, S., 1994. Genetic Algorithms and Artificial Life, Artificial Life, 267-289.

Murty, K.G.,2003. Optimization Models For Decision Making, vol. 1, Internet Edition, Chapter 1: Models For Decision Making, 1-18.

Öztan, O., 1981. Bir Otoyol Geçkisine Ait Triyangulasyon Ağında Prezisyon Araştırması ve Bazı Öneriler, Doçentlik Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, İnşaat Fakültesi, Jeodezi ve Fotogrametri Mühendisliği, İstanbul.

Öztan, O., 1983. Jeodezik Normal Denklemlerde Band Genişliği Üzerine Bir Eleştiri, İstanbul Teknik Üniversitesi Dergisi, 1-2.

Öztan, O., 1986. Lineer Denklem Sistemlerinin Çözümünde Modern Bellek Depolama Yöntemleri, İstanbul Teknik Üniversitesi, Jeodezi Anabilim Dalı Semineri.

Öztürk, A., vd., 2011. Yapay Arı Kolonisi Algoritması ile Elektrik Güç Sistemi Optimal Yakıt Maliyetinin Belirlenmesi, 6th International Advanced Technologies Symposium, Mayıs, Elazığ, 311-316.

Steffen, O. K. H., Holt W. and Symons V. R., 1970. "Optimizing Open Pit Geometry and Operational Procedure."Planning Open Pit Mines, Proc. Symposium on the Theoretical Background to the Planning of Open Pit Mines with Special Reference to Slope Stability , August 29-September 4, Johannesburg.

Su, O., 2012. Bülent Ecevit Üniversitesi, Zonguldak Meslek Yüksekokulu, Maden Teknolojisi Programı, Madencilik ve Maden Çıkarma Bölümü, Maden İşletme 1 Ders Notları

Tamer, S. ve Karakuzu, C., 2006. Parçacık Sürü Optimizasyon Algoritması ve Benzetim Örnekleri, Kocaeli Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Elektronik ve Haberleşme Mühendisliği Bölümü, Aralık, Bursa, Bildirileri Kitabı.

Tapkan, P., Özbakır, L. ve Baykasoğlu, A., 2008. Arı Algoritması ve Genelleştirilmiş Atama Problemi: Farklı Komşuluk Yapılarının Karşılaştırılması, Erciyes Üniversitesi, Endüstri Mühendisliği Dergisi, 2-13.

Tereshko, V. and Loengarov, A., 2005. Collective Decision-Making in Honey Bee Foraging Dynamics, School of Computing, University of Paisley, Paisley PA1 2BE, Scotland.

Tokmak, M., 2011. Yapay Arı Kolonisi Algoritması ile Ders Çizelgeleme Probleminin Çözümü, Yüksek Lisans Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Elektronik-Bilgisayar Eğitimi Anabilim Dalı, Isparta.

Tsai, V.J.D., 1993. Fast Topological Construction of Delaunay Triangulations and Voronoi Diyagrams, Computers and Geosciences, 1463-1474.

Yağcı, E., Engin, Ş.N. ve Esat, İ.İ., 2008. Yapay Sinir Ağlarının Voronoi Diyagramıyla Yapılandırılması, Elektrik – Elektronik – Bilgisayar Mühendisliği Sempozyumu ve Fuarı, Kasım, Bursa.

Yanalak, M., 1997. Sayısal Arazi Modellerinden Hacim Hesaplarında En Uygun Enterplasyon Yönteminin Araştırılması, Doktora Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul

Worboys, M.F., 2000. GIS: A Computing Perspective, Taylor & Francis Ltd.

URL-1: http://www.turkcebilgi.org/sozluk/madencilik-terimleri/sev-14069.html, 10 Mayıs, 2013

URL-2: http://akifer.nedir.com/, 10 Mayıs 2013

URL-3: http://web.deu.edu.tr/maden/docs/maden_arama_sondaj_teknigi/rezerv%20ders notu-belge.pdf, 28 Mayıs 2013

URL-4: http://w2.anadolu.edu.tr/aos/kitap/ioltp/2294/unite07.pdf, 16 Nisan 2013

URL-5: http://kisi.deu.edu.tr/userweb/hanifi.van/1_Tahmin_teorisi_ve_guven_araligi.ppt, 25 Aralık 2013

URL-6: http://tip.ikc.edu.tr/public/files/tibbi_istatistik/8.pdf, 16 Nisan 2013

URL-7: http://www.cs.bilkent.edu.tr/~gudukbay/publications/papers/tba/Hesaplamaya _Dayali_Geometri.pdf, 19 Ocak 2014

URL-8: http://www.mat.itu.edu.tr/yazokulu/mustafa_yanalak_b.pdf., 19 Ocak 2014.

ÖZGEÇMİŞ

Ülkü ÜNSAL, 1982 yılında İstanbul’da doğdu. İlköğretim ve lise eğitimini İstanbul’da tamamladı. 2005 yılında Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen-Edebiyat Fakültesi İstatistik ve Bilgisayar Bilimleri bölümünden mezun oldu. 2011 yılında Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İstatistik ve Bilgisayar Bilimleri bölümünde yüksek lisansa kabul edildi. Evli ve bir çocuk annesidir. İngilizce bilmektedir.