T.C.
SÜLEYMAN DEMİREL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

DOĞAL UÇLAŞMA BELİRTİLERİNİN YAPAY ARI KOLONİ ALGORİTMASI İLE TERS ÇÖZÜMÜ

Merve ERAY

Danışman
Prof. Dr. Çağlayan BALKAYA

YÜKSEK LİSANS TEZİ
JEOFİZİK ANABİLİM DALI
ISPARTA -2021

©2021 [Merve ERAY]

İÇİNDEKİLER

Sayfa

İÇİNDEKİLER i
ÖZET ii
ABSTRACT iii
TEŞEKKÜR iv
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ viii
1.GİRİŞ 1
2. KAYNAK ÖZETLERİ 3
3. Doğal Uçlaşma (DU) Yöntemi 11
3.1. DU Yönteminin Kökeni 11
3.1.1. Elektrokinetik (Akma) Gerilimi 11
3.1.2. Termoelektrik Gerilim 12
3.1.3. Elektrokimyasal Gerilim 12
3.1.4. Mineralizasyon Gerilimi 13
3.2. DU Ölçü Aletleri 13
3.3. Doğal Uçlaşma Ölçü Alım Teknikleri 14
3.3.1. Kaydırma Ölçü Tekniği 14
3.3.2. Baza İndirgeme Ölçü Tekniği 14
4. SEZGİSEL OPTİMİZASYON 16
5. SÜRÜ ZEKÂSI OPTİMİZASYON ALGORİTMALARI 18
6. YAPAY ARI KOLONİ ALGORİTMASI (YAKA) 20
6.1. Sürü Zekâsı 20
6.2. Gerçek Arılar ve Besin Arama Davranışları 21
6.3. YAKA'nın Temel Adımları 25
6.3.1. Başlangıç Yiyecek Kaynağı Bölgelerinin Üretilmesi 27
6.3.2. İşçi Arıların Besin Kaynaklarına Gönderilmesi 28
6.3.3. Gözcü Arıların Besin Kaynaklarına Gönderilmesi 30
6.3.4. Besin Kaynağının Terk Edilmesi ve Kâşif Arı Üretilmesi 30
6.4. YAKA Uygulama Alanları 30
7. UYGULAMALAR 32
7.1. Kuramsal Anomaliler 32
7.1.1. Bir yapı içeren model 32
7.1.2. İki yapı içeren model 44
7.2. Arazi Anomalileri 48
7.2.1. Bavyera Anomalisi 49
7.2.2. Surda Anomalisi 51
8. SONUÇ VE ÖNERİLER 53
KAYNAKLAR 55
ÖZGEÇMİŞ 60

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

DOĞAL UÇLAŞMA BELİRTİLERİNİN YAPAY ARI KOLONİ ALGORİTMASI İLE TERS ÇÖZÜMÜ

Merve ERAY

Süleyman Demirel Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Jeofizik Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Çağlayan BALKAYA

Bu çalışmada, yakın geçmişte önerilen sürü temelli yeni metasezgisellerden biri olan yapay arı kolonisi algoritması (YAKA), sonsuz uzunlukta eğimli levha tipi yapıların neden olduğu doğal uçlaşma belirtilerinin ters çözümünde kullanılmıştır. Bal arılarının akıllı besin arama davranışından esinlenerek geliştirilen YAKA, optimizasyonda sadece koloni büyüklüğü ve maksimum döngü sayısı olmak üzere iki kontrol parametresi kullanmaktadır. Bu tez çalışması kapsamında, bu parametrelerin çözüm üzerindeki etkisi araştırılmıştır. Belirlenen optimum parametrelerle, YAKA kuramsal ve arazi belirtileri üzerinde uygulanmıştır. Kuramsal çalışmalarda algoritmanın etkinliği gürültü eklenen veri kümeleri üzerinde ve iki yapı içeren bir model üzerinde test edilmiştir. Alan uygulamalarında, Bavyera (Almanya) ve Surda (Hindistan) belirtileri değerlendirilmiştir. Bu çalışmalardan elde edilen sonuçlar algoritmanın model parametreleri için başarılı kestirimler sağladığını ve görece küçük boyutlu jeofizik optimizasyon problemlerinin ters çözümü için oldukça umut verici bir araç olabileceğini göstermiştir.

Anahtar Kelimeler: Yapay Arı Koloni Algoritması, Metasezgisel, Ters Çözüm, Doğal Uçlaşma

2021, 59 sayfa

ABSTRACT

M.Sc. Thesis

INVERSION OF SELF-POTENTIAL ANOMALIES USING ARTIFICIAL BEE COLONY ALGORITHM

Merve ERAY

Süleyman Demirel University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Geophysical Engineering

Supervisor: Prof. Dr. Çağlayan BALKAYA

In this study, the artificial bee colony (ABC) algorithm, one of the most recently proposed swarm-based metaheuristics, was used for inversion of self-potential anomalies caused by an inclined sheet lying infinite horizontal extent. ABC, inspired by the intelligent foraging behavior of honey bees, uses only two control parameters for optimization including colony size and maximum cycle number. In the scope of this thesis, the effect of these parameters on the solution was investigated. ABC was applied to theoretical and field anomalies with the optimum parameters determined. In theoretical studies, the efficiency of the algorithm was tested on data sets with noise and a model containing two structures. Bavarian (Germany) and Surda (India) anomalies were evaluated in the field applications. Results of these studies showed that the algorithm provides successful estimates for model parameters and can be a promising tool for inversion of relatively low-dimensional geophysical optimization problems.

Keywords: Artificial Bee Colony Algorithm, Meteheuristic, Inversion, Self-potential

2021, 59 pages

TEŞEKKÜR

Bu araştırma için beni yönlendiren, karşılaştığım zorlukları bilgi ve tecrübesi ile aşmamda yardımcı olan değerli Danışman Hocam Prof. Dr. Çağlayan BALKAYA'ya teşekkürlerimi sunarım.

Tezimin her aşamasında beni yalnız bırakmayan başta babam Suphi ERAY olmak üzere aileme sonsuz sevgi ve saygılarımı sunarım.

Merve ERAY
ISPARTA, 2021

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa

Şekil 3.1. Yatay kaydırma ölçü tekniği 14
Şekil 3.2. Baza indirgeme ölçü tekniği 14
Şekil 3.3 Eğimli levha tipi yapılarının neden olduğu doğal uçlaşma belirtilerini gösteren anomali ve model 15
Şekil 4.1. Optimizasyon yöntemler şeması 17
Şekil 6.1. Bal arılarının sallanma (waggle) dansı 23
Şekil 6.2. Arıların görev paylaşımı 24
Şekil 6.3. Yapay arı koloni algoritması akış diyagramı 27
Şekil 7. YAKA uygulamalarında kullanılan anomaliler a) eğimli levha tipi bir yapının neden olduğu kuramsal anomali b) eğimli levha tipi iki yapının neden olduğu kuramsal anomali c) Bavyera (Almanya) anomalisi d) Surda (Hindistan) anomalisi 32
Şekil 7.1. Yanılgı enerjisi haritaları 34
Şekil 7.2. Çeşitli topluluk sayıları kullanılarak elde edilen en iyi çözümler. 38
Şekil 7.3. Çesitli maxit değerlerinde YAKA yaklaşımlarından elde edilen h ve $\propto$ parametrelerinin yanılgı enerjisi haritaları üzerindeki gösterimi. 39
Şekil 7.4. Çesitli maxit değerlerinde YAKA yaklaşımlarından elde edilen k ve a parametrelerinin yanılgı enerjisi haritaları üzerindeki gösterimi. 40
Şekil 7.5. Çeşitli besin kaynak sayıları kullanılarak elde edilen en iyi çözümler. 42
Şekil 7.6. Farklı arama uzayı ve yineleme sayıl kullanılarak elde edilen en iyi çözümler. 44
Şekil 7.7. İki yapı içeren kuramsal anomali ile YAKA yaklaşımından elde edilen en iyi çözümler 46
Şekil 7.8. Gürültü içeren iki yapılı kuramsal anomali ile YAKA yaklaşımından elde edilen en iyi çözümler. 48
Şekil 7.9. Bavyera anomalisi ile YAKA yaklaşımından elde edilen çözüm 50
Şekil 7.10. Surda anomalisi ile YAKA yaklaşımından elde edilen çözüm 52

ÇİZELGELER DİZİNİ

Sayfa

Çizelge 7.1. Eğimli levha tipi yapının neden olduğu anomaliyi üreten model parametreleri ve de parametrelerin yaka uygulamasıyla çözümündeki arama uzayı sınır değerleri 33
Çizelge 7.2. Çeşitli topluluk sayıları kullanılarak elde edilen çözümlerin ürettiği RMS değerleri ve ortalama hesaplama süreleri (N_run: 10, $MaxIt$: 500). 36
Çizelge 7.3. Çeşitli topluluk sayıları kullanılarak elde edilen çözümlerin ürettiği RMSdeğerleri ve ortalama hesaplama süreleri (N_run: 10, Np: 100) 37
Çizelge 7.4. Çeşitli topluluk sayıları kullanılarak ulaşılan çözümlerin araştırılmasında elde edilen en iyi sonucunun $K, xo, zo, a\ ve\ \propto (^{o})$ parametrelerinin değerleri (n_run:30, np:100, coef:2)(limit 300(0,6 x d x np)) 38
Çizelge 7.5. Çeşitli besin kaynak sayıları kullanılarak elde edilen çözümlerin standart sapma (sd) değerleri ve ortalama hesaplama süreleri (n_run:30, np:100, coef:2) 41
Çizelge 7.6. Çeşitli besin kaynak sayıları kullanılarak ulaşılan çözümlerin araştırılmasında elde edilen en iyi sonucunun $K, xo, zo, a\ ve\ \propto (^{o})$ parametrelerinin değerleri (n_run:30, np:100, coef:2) 41
Çizelge 7.7. Çeşitli besin kaynak sayıları kullanılarak elde edilen çözümlerin standart sapma (ss) değerleri ve ortalama hesaplama süreleri (n_run:30, np:100)(n_run:30, np:100, coef:2) 42
Çizelge 7.8. Çeşitli yineleme değerleri ve coef değerleri ile elde edilen çözümlerin standart sapma (sd) değerleri ve ortalama hesaplama süreleri (n_run:30, np:100) 43
Çizelge 7.9. Farklı arama uzayı ve yineleme sayıları kullanılarak ulaşılan çözümlerin araştırılmasında elde edilen en iyi sonucunun $K, xo, zo, a\ ve\ \propto (^{o})$ parametrelerinin değerleri. (n_run:30, np:100) 44
Çizelge 7.10. İki yapı içeren model parametreleri ve arama uzayı değerleri 45
Çizelge 7.11. İki yapı içeren kuramsal model için elde edilen sonuçlar (food_no:60, n_run:10, np:200) 45
Çizelge 7.12. Gürültü içeriğine sahip iki yapılı kuramsal model için elde edilen sonuçlar (food_no:60, n_run:10, np:200) 47
Çizelge 7.13. Bavyera ve Surda anomalilerinin değerlendirilmesinde kullanılan arama uzayı sınırları 49
Çizelge 7.14. Bavyera anomalisinin değerlendirilmesinde kullanılan parametrelerin en iyi sonuçları. 49
Çizelge 7.15. Bavyera anomalisinin ortalama rms değerleri veortalama hesaplama süreleri (s).(food_no:30, n_run:30, np:100) 50

Çizelge 7.16. Bavyera anomalisi için yaka yaklaşımından elde edilen mevcut çalışmanın ve $VFSA$, PSO ve nn metasezgiselleri kullanılarak elde edilen önceki çalışmanın sonuçları..... 50
Çizelge 7.17. Surda belirtisinin değerlendirilmesinde kullanılan parametrelerin en iyi sonuçları..... 51
Çizelge 7.18. Surda anomalisinin ortalama rms değerlerive ortalama hesaplama süreleri (s)(food_no:30, n_run:30, np:100) 51
Çizelge 7.19. Surda anomalisi için yaka yaklaşımından elde edilen mevcut çalışmanın ve $VFSA$, PSO ve nn metasezgiselleri kullanılarak elde edilen önceki çalışmanın sonuçları..... 52

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

YAKA	Yapay Arı Koloni Algoritması
DU	Doğal Uçlaşma
GA	Genetik Algoritma
PSO	Parçacık Sürü Optimizasyonu
FE	Farksal Evrim Algoritması
BOA	Balina Optimizasyon Algoritması
YİİA	Yapay Isıl İşlem Algoritması
TEC	Termoelektrik Kuplaj Katsayısı
SN	Yiyecek kaynağı sayısı
D	Parametre boyutu
E_s	Akma gerilimi
ρ	Özdirenç
ξ	Soğurma
$\triangle_p$	Basınç farkı
η	Akışkanın dinamik vizkozitesi
x_{ij}	Alt-Üst Limit
u_i	Besin kaynağının uygunluk değeri
K	Uçlaşma parametresi
xo	Levhanın merkezinin yeryüzündeki izdüşüm noktası
zo	Levha merkezinin derinliği
A	Levhanın yarı uzunluğu
$\propto$	Uçlaşma açısı
E	Yanılgı enerjisi
$d^{ölç}$	Ölçülen anomali
d^{hes}	Hesaplanan anomali
Np	Topluluk sayısı (arama ajanı)
$maxit$	Maksimum iterasyon sayısı
$coef$	Kuramsal uygulamalarda model parametrelerinin doğru değerlerinin kaç kat üstünde ve/veya altında aranacağını gösteren sabit

1.GİRİŞ

Eski çağlarda yaşamını sürdürmek ve neslinin devamını sağlamak amacıyla hayatlarını devam ettiren insanoğlu, teknolojik gelişmelerle birlikte farklı bir uyum sürecine girmiştir. Özellikle bilginin günümüzde önemli bir hale gelmesiyle birlikte, insanların bunu doğru şekilde kullanması ve gelişen teknolojiye ayak uydurması zorunluluğunu ortaya çıkarmıştır. Bilgisayarın icadı ile başlayan bu süreç hem bilgiye kolay erişebilme hem de gereksinimler doğrultusunda teknolojiden yararlanarak toplumun sorunlarına çözüm getirebilme olanağı sağlamıştır.

İnsanlar yaşamları boyunca çeşitli seçeneklerle karşılaşırlar. Karşılaştıkları bu seçeneklerin pozitif ve negatif yanları bulunabilir. Seçeceği yönü kendi karar verebileceği gibi daha tecrübeli insanlardan da yardım almaları da düşünülebilir. Karşılaştıkları bir problemin çözümünde, minimum zarar ve maksimum fayda sağlayabilmeleri tamamen optimum seçimle mümkün olacaktır. Bunların tamamı optimizasyon alanında değerlendirilerek çözümlenmesi için çalışılır.

Optimizasyon, kelime olarak ‘‘eniyileme’’ anlamına gelmektedir. Bir probleme ait parametrelerin belirli koşullar altında mümkün olabilecek seçenekler içinde en uygun değerlerin saptanması ve seçilmesi olarak da tanımlanabilir. Bilimsel çalışmalarda ve mühendislik alanlarında önemli bir yere sahiptir. Bir optimizasyon problemi, belirli sınırlamalar altında bilinmeyen parametre değerlerinin belirlenmesini olarak tanımlanabilir (Murty, 2003).

Tanımından anlaşılacağı gibi optimizasyonun temel iki noktası bulunmaktadır. Bunlar, optimizasyon problemleri ve yöntemleri olarak adlandırılırlar. Bir optimizasyon probleminin birden fazla çözümü bulunmaktadır. Optimizasyon yöntemi ise bu çözümlerin en iyi olanını bulma işlemidir (Kıran, 2014).

Optimizasyon problemlerinin çözümünde optimizasyon teknikleri kullanılmaktadır. Bu teknikler, klasik ve sezgisel olarak iki ana başlıkta toplanabilir. Klasik optimizasyon yöntemleri bir problemin çözümünde kesin

sonuçlar verebilmesine rağmen, bazı dezavantajları da bulunmaktadır. Bir probleme ait çözüm oldukları için başka bir probleme uygulandıklarında çeşitli sorunlarla karşılaşılabilmektedir. Ya da problemin formülasyonunda oluşabilecek değişikliklerle beraber yöntemin çalışmaması gibi olumsuzluklar ortaya çıkabilmektedir. Özellikle mühendislik problemlerinin çözümünde yetersiz kalmasından dolayı araştırmacılar sezgisel optimizasyon yöntemleri üzerinde yoğunlaşabilmektedir. Sezgisel teknikler üstünlükleri nedeniyle çeşitli optimizasyon problemlerine uyarlanabilmektedir. Bu nedenle, doğadan esinlenerek sezgisel optimizasyon algoritmaları geliştirilmiştir (Akyol ve Alataş, 2012; Karaboğa ve Akay, 2007; Sevim, 2013; Nas, 2013).

Önerilen bu algoritmaları, Tavlama Benzetimi (Kirkpatrick vd., 1953), Genetik Algoritma (Holland, 1975), Tabu Araştırma (Glover, 1989; 1990), Karınca Kolonisi Algoritması (Dorigo vd., 1991), Parçacık Sürüsü Optimizasyonu (Eberhart ve Kennedy, 1995), ve Yapay Arı kolonisi Algoritması (Karaboğa, 2005) gibi örneklendirebiliriz. Sezgisel tekniklerde problemin çözümü için optimum ya da optimuma yakın sonuçlar elde edilir. Ayrıca bu teknikler uygun bir hesaplama maliyeti de sunarlar. Bir probleme özgü olmadıkları için, farklı problemlerin çözümünde kullanılabileceği gibi türev, integral vb. gibi ağır matematiksel hesaplamalara ihtiyaç duyulmaz (Kıran, 2014). Matematiksel formüllerle yapılan tanımlamalarda probleme ait verilerin toplanması ve problemin amacı gibi zorluklar bulunur. Oluşturulan modelde giriş için kullanılan verilerdeki hatalar, sezgisel yöntemle elde edilebilecek çözümlerden daha yanlış sonuçlara neden olabilir (Karaboğa, 2011). Bilim insanları bu nedenlerle, birçok sezgisel yöntemler önermiş ve önermeye de devam edeceklerdir. Bu çalışmada, doğal uçlaşma (DU) belirtilerinden model parametre kestirimi Yapay Arı Kolonisi Algoritması (YAKA) kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

2. KAYNAK ÖZETLERİ

Karaboğa (2005), metasezgisel yöntemlerden biri olan YAKA'yı literatüre kazandırmıştır. Karaboğa teknik rapor olarak sunduğu bu çalışmada ilk olarak arılar hakkında genel bir bilgi verdikten sonra YAKA ve parametrelerinden bahsetmiştir.

Recep (2005), İstanbul Tuzla bölgesinde yaptığı çalışmada, yeraltı suyunun kirliliğini araştırmış ve çeşitli jeofizik yöntemlerden yararlanmıştır. Bunlara ek olarak DU yöntemini kullanarak yeraltısuyu akış yönünü incelemiş ve yaptığı çalışmalarda başarılı sonuçlar elde etmiştir.

Karaboğa vd. (2007), yılında yaptıkları ortak çalışmalarında sinyal işleme uygulamalarında Yapay Sinir Ağları (YSA)'nın eğitilmesinde YAK algoritmasını kullanmış ve Diferansiyel Evrim (DE) ve PSO ile performans kıyaslaması yapmıştır.

Karaboğa ve Baştürk (2007), tarafından yazılan bu makalenin amacı YAKA'nın performans değerlendirmesidir. Erciyes Üniversitesi'nin bünyesinde YAKA ile ilgili bir web sitesi bulunmaktadır (http://mf.erciyes.edu.tr/abc, 05.11.2012).

Rao vd. (2008), yılında yaptıkları çalışma 'sistem kayıplarının minimizasyonu probleminin çözümü' için YAKA'yı kullanmışlardır. İkilinin yaptıkları çalışmada mutasyon ve çaprazlamaya ihtiyaç duymadıklarını YAKA'nın çözüm kalitesinin çok iyi olduğunu bilgisayar simülasyonunda göstererek ortaya koymuşlardır. 2009 yılına kadar çok fazla çalışma yapılmamıştır. Daha sonrasında YAK algoritması çok daha fazla kullanılmıştır.

El-KaLiouby ve Al-Garni (2009), küre, yatay silindir ve dikey silindir gibi basit geometrik şekilli modellerle ilgili rastgele seçilen anomalileri yorumlamak için yeni bir yaklaşım önermiştir. Bu yaklaşım temel olarak, farklı basit geometrik cisimlerin parametrelerini tahmini için DU anomalilerinin sinir ağı ters çözümünün, özellikle modüler algoritmanın kullanılmasına dayanmaktadır. Ters

çözüm ilk olarak, sentetik veriler üzerinde test edilmiştir. Ters çözüm sonuçları, doğru değerleriyle aynı olduğunu göstermiştir. Arazi verisi olarak ise Almanya'nın güney Bavyera Ormanı'ndan alan verileri kullanılmıştır. Sinir ağı yaklaşımıyla türetilen ters çözüm ile gerçek alan verilerinden elde edilenler karşılaştırılmış ve iyi sonuçlar elde edilmiştir.

Pulikanti ve Singh (2009), ikinci dereceden sırt çantası problemi için, arıların besin arama davranışlarından esinlenilerek geliştirilen YAKA uygulamasını da içeren yeni bir melez algoritma önermişlerdir. Bu çalışmanın sonuçları melez yaklaşımın etkinliğini göstermiştir.

Santos (2010), PSO yöntemi ile küre, yatay silindir ve eğimli levhaların neden olduğu DU verilerinin ters çözümü problemini çalışmıştır. Önce bir yapılı ve iki yapılı sentetik verilere uygulamıştır, sonrasında ise Surda bölgesi (Hindistan) ve Vilarelho da Raia (Portekiz) olmak üzere iki arazi verisine uygulanmıştır. Elde ettiği sonuçları daha önceki çalışmalar ile kıyaslamış ve uyumlu sonuçlar elde etmiştir.

Çivicioğlu (2011), çalışmasında, YAKA, PSO, DE ve Yerçekimsel Arama (YSA) algoritmalarının imge bölütleme performanslarını, Lena ve Biberler test imgeleri üzerinde uygulanan uygulamaların sonuçlarıyla karşılaştırmıştır. Bulgular, ABC, PSO, DE ve YSA'nın imge bölütleme performanslarının birbirlerine oldukça yakın olduğunu ve GSA ve PSO algoritmalarının bu uygulamalarda daha başarılı sonuçlar ürettiğini göstermiştir.

Karaboğa ve Görkemli (2011), gezgin satıcı probleminde YAKA'yı kullanarak Kombinatoryel Yapay Arı Kolonisi (KYAK) önerisinde bulunmuşlardır.

Balkaya vd. (2012), İzmir Bozdağ'da manyetik ve elektrik özdirenç yöntemi kullanarak karstik arazilerdeki yüzeye yakın yer altı boşluklarının tespiti ve haritalanması çalışması yapmışlardır. Elektrik özdirenç DES eğrilerine ait katman parametreleri GA ile değerlendirilmiştir.

Balkaya ve Göktürkler (2012), basit geometrik şekiller ile tanımlanabilen uçlaşmış bir yapının sebep olduğu DU belirtilerinin ters çözümünde tavlama benzetimi, GA, PSO ve DE algoritmalarını kullanmışlardır. Bu dört algoritmayı, kuramsal ve grafit depozitleri ve metalik sülfitler üzerinde elde edilen gerçek veri kümeleri üzerinde uygulayarak DU belirtilerinin model parametrelerini elde etmişlerdir.

Göktürkler ve Balkaya (2012), basit geometrik (küre, silindir) yapıların neden olduğu DU belirtilerinin ters çözümü için GA, YİİA ve PSO'yu kapsayan üç metasezgisel algoritmayı kullanmışlardır. Hem alan hem de kuramsal (gürültülü ve gürültüsüz) veri kümelerinin değerlendirilmesiyle belirtiye neden olan yapının, derinliği, yeryüzündeki izdüşümü, elektrik dipol momentini ve uçlaşma açısını belirlenmişlerdir. Bu üç metasezgisel algoritma ile belirlenen parametreleri önceki çalışmaların çeşitli optimizasyon algoritmaları kullanılarak elde edilen sonuçlarıyla karşılaştırmışlardır. Elde edilen sonuçlar, kullanılan metasezgisellerin literatürde daha fazla kullanılan lokal optimizasyon algoritmaları ile uyumlu çözümler ürettiği gözlemlenmiştir.

Özer (2012), tektonik olarak aktif olan Urla – İçmeler ve Demircili mevkilerinde yaptığı çalışmada DU yöntemi ile yeraltında oluşabilecek süreksizliklerin belirlenmesini amaçlamıştır. DU yöntemi ile gradyent ve toplam düzeninde ölçümler gerçekleştirerek toplam alan verileri üzerinde ters çözüm işlemini uygulamıştır. Sonrasında ise küre modeline ait parametrelere ulaşarak yeraltı ile ilgili konum bilgileri, polarizasyon açısı ve derinlik gibi bilgileri elde etmiştir. Sonuç olarak yaptığı çalışmada SP yönteminin ters – çözüm değerlendirmelerini yaparak yeraltında oluşabilecek süreksizliklerin belirlenmesinde başarılı sonuçlar elde edilebileceğini göstermiştir.

Sooda (2012), YAK algoritmasını yönlendirme işlemi esnasında düğüm sayısının azaltılması amacıyla bant genişliğinin durumuna göre en uygun yolun seçilmesinde kullanarak bir performansı analizi gerçekleştirmiş ve sonuçların %30 daha başarılı olduğunu vurgulamıştır.

Şahan vd. (2012), yaptıkları çalışmada Kocaeli Kent Ormanı'nda yeraltındaki jeolojik değişimin belirlenmesini amaçlamışlardır. Bu çalışma için DU, elektrik özdirenç ve sismik kırılma gibi jeofizik yöntemlerden faydalanmışlardır. Çalışma alanı için 3 hat boyunca 4 profil ölçü almış ve Vp hızlarını hesaplamışlardır. Ayrıca yeraltı tabaka modelini çıkarmışlardır. Üç farklı dizilim kullanarak elde ettikleri özdirenç ölçüleri ve aynı hatlar üzerindeki doğal potansiyel ölçüleri ile yeraltındaki ana kaya seviyesini ve yanal değişimdeki süreksizlikleri göstermişlerdir.

Balkaya (2013), DU ve elektrik özdirenç yöntemlerinden elde edilen veri kümelerinin ters çözümü için Farksal Evrim (FE) metasezgiselini kullanmıştır. Kuramsal veri kümeleri için elde edilen sonuçlar Parçacık Sürü Optimizasyonu (PSO) algoritmasının uygulanmasıyla elde edilen sonuçlar ile karşılaştırmıştır. Ayrıca, çözümlediği parametrelerin doğruluğunu bir belirsizlik analiziyle araştırmıştır. Bu analiz için soğutma işleminin uygulanmadığı bir Yapay Isıl İşlem (Yİİ) yaklaşımını kullanan Metropolis–Hastings ($M-H$) örnekleme algoritmasını kullanmıştır. Bu Belirsizlik analizinden elde edilen sonuçlar, FE algoritmasının güven aralık değerleri içinde kalan parametre çözümü sağladığını göstermiştir.

Sharma ve Biswas (2013) 2B eğimli levha tipi yapıların ters çözümü için tavlama benzetimi algoritması ile sentetik (gürültüsüz ve gürültülü) ve Bavyera anomalisi, Surda anomalisi, Rakha madenleri ve Hindistan'dan alınan iki alan verileri üzerinde çalışmışlardır. Sonuç olarak hesaplama süresinin düştüğünü ve çok verimli sonuçlar elde ettiklerini ortaya koymuşlardır.

Sevim vd. (2014), çalışmasında YAKA'yı kullanarak uzay çelik çerçevelerin ayrık optimizasyonu sunmuştur. Algoritmanın kullanılabilirliğinin gösterilmesi için uzay çelik çerçeve içeren bir yapısal örnek çözülmüştür. Sonuçlarla uzay çelik çerçeve yapılarının tasarımı için YAKA algoritmasının çok etkili ve güçlü bir teknik olduğu gösterilmiştir.

Sevim ve Sönmez (2014), YAKA uygulamasıyla düzlem ve kafes çelik çerçevelerin ayrık optimizasyonu araştırmıştır. YAKA'nın kullanılabilirliği 168 elemana ve 20

tasarım değişkenine çıkabilen iki farklı yapısal örnek üzerinde gösterilmiştir. Elde edilen sonuçlar, ayrıca, literatürde uygulama sonuçları bulunan diğer sezgisel tekniklerin sonuçları ile karşılaştırılmıştır.

Bilgili (2015), tez çalışmasında DU ve elektrik özdirenç belirtilerinden parametre kestirimi yapmak için hem kuramsal veri kümelerinden faydalanmıştır. Çalışmasında GA ve PSO ile belirtiye neden olan yapını yeri, biçim faktörü, derinliği ve uçlaşma açısını belirlemiştir. Elde ettiği sonuçları aynı veri kümelerini kullanan farklı algoritmaların sonuçları ile karşılaştırarak birbirleri ile uyumlu sonuçlar verdiğini göstermiştir.

Reis ve Torun (2015), YAKA ile uydu görüntülerinin sınıflandırılmasını gerçekleştirmiştir. Yer kontrol noktaları ve eğitim verilerinin toplanması için arazi ve hava fotoğraflarından yararlanmıştır ve bitki örtüsü, arazi topoğrafyası ve tarım alanlarının uygunluğu nedeniyle Rize ilini pilot bölge olarak belirlemiştir. Sonuç olarak, YAKA ile elde edilen doğruluk değerlerinin klasik sınıflandırma yöntemlerinden elde edilen değerlerden daha iyi olduğu belirtmiştir.

Biswas (2016), 2B eğimli levha tipi yapıların ters çözümü için tavlama benzetimi algoritması ve en küçük kareler yöntemini kullanmıştır. Analiz karşılaştırmaları için, iki yöntemin etkinliğini göstermek adına sentetik (gürültüsüz ve gürültülü) ve Bavyera anomalisi, Surda anomalisi ve Hindistan'dan alınan iki alan verileri üzerinde çalışmıştır. Aynı alan veri setleri üstünde sinir ağı, PSO ve genetik algoritmaları kullanarak önceki çalışmalardan elde edilenlerle karşılaştırmıştır. Bu çalışmada ele alınan global optimizasyon algoritmalarının en küçük kareler yönteminden elde edilen sonuçlarla uyumlu çözümler ürettiğini ortaya koymuştur.

Ekinci vd. (2016), DE algoritması ile yeraltında gömülü kaynakların tespiti ve yeraltı su derinliğinin belirlenmesi amaçlamışlardır. Sentetik ve arazi gravite verilerinin değerlendirilmesi ile daha az maliyetle daha gerçekçi sonuçlar elde ettiklerini ortaya koymuşlardır.

Göktürkler vd. (2016), PSO, GA, FE ve Yapay Isıl İşlem Algoritmasını ($YI\dot{I}A$) içeren dört metasezgisel algoritmayı, jeofiziğin 1B, 2B ve 3B ters çözüm problemlerinde kullanmışlardır. Bunun için; DU, karşılıklı kuyu yer radarı, doğru akım elektrik özdirenç ve manyetik uygulamalarından elde edilen alan ve/veya kuramsal veri kümeleri yukarıda da bahsedilen meta-sezgisellerden biriyle yorumlanmıştır. Kullanılan metasezgisellerin kullanıcı tanımlı parametreleri, belirlenen problemler için test çalışmalarıyla saptanmıştır. Elde edilen çözümlerin güvenilirlikleri çeşitli belirsizlik ve istatistiksel analizlerle araştırmışlardır. Uygulanan algoritmaların, ele alınan jeofizik problemlerinin araştırılmasında etkinliği nedeniyle bu algoritmaların görece küçük 1B veri kümelerine başarılı bir şekilde uygulanabilirliğini göstermişlerdir.

Turan vd. 2016, "DU anomalilerinin değerlendirilmesinde pertürbasyon temelli yeni bir evrimsel algoritma önermişlerdir. Algoritma, evrim sürecinde, diğer metasezgisellerde olduğu gibi çaprazlama, mutasyon ve seçimden oluşan genetik operatörleri kullanmaktadır. Algoritma yaygın olarak kullanılan Rosenbrock Fonksiyonu üzerinde uygulandıktan sonra sonsuz uzunlukta eğimli levha tipi yapıların neden olduğu DU veri kümeleri üzerinde test edilmiştir. Elde edilen sonuçların geliştirilen algoritmanın etkinliğin göstermiştir.

Balkaya vd. (2017), düşey kenarlı prizmatik yapıların neden olduğu 3B doğrusal olmayan toplam alan manyetik verilerinin ters çözümünde DE algoritması kullanmışlardır. Çalışmalarında gürültülü, gürültüsüz sentetik veri kümeleri ve arazi veri kümeleri kullanmışlardır. Arazi verileri için Biga Yarımadasındaki manyetik kayaçların sebep olduğu anomalilerin ters çözümünü yorumlamışlardır. Çalışmalarının sonucunda DE'nin manyetik anomalilerde kullanılmasının iyi sonuçlar verdiğini ortaya koymuşlardır.

Ekinci vd. (2017), bu çalışmalarında toplam alan manyetik anomalilerinin ters çözümünü DE algoritması ile elde etmişlerdir. Çalışmalarında hem sentetik hem de arazi verileri kullanmışlardır. Daha sonrasında bir demir yatağında (Kesikköprü - Bala) ve derin yerleşik mıknatıslanmış bir yapının küçük ve büyük

ölçekli manyetik verilerinin ters çözümünde kullanmışlardır. Sonuç olarak DE'nin kullanımını sadece manyetik özelliğe sahip iki boyutlu analitik sinyallerin genlik dönüşümü için değil, jeofizik problemlerinin düşük genlikli verilerin ters çözümü için de önermişlerdir.

Yılmaz ve Köksoy (2017), Afyonkarahisar iline içme suyu sağlayan Akdeğirmen Barajı'nda meydana gelen sızıntının kaynağını araştırmışlardır. Bu araştırmayı yaparken doğal potansiyel ve elektrik özdirenç görüntüleme yöntemlerinden faydalanmışlardır. Çalışmada DU verileri, baza indirgeme ölçü tekniği ile toplanarak değerlendirmeler yapmışlardır. Yaptıkları değerlendirmeler sonucunda sağ sahil boyunca sızıntı yollarını ve yeraltı tabaka dağılımını ortaya çıkarmışlardır.

Alkan ve Balkaya (2018), bu çalışmada bir boyutlu yapıların neden olduğu anomalilerin çözümünde 1B Yatay Halka Elektromanyetik (YHEM) anomalisinin ters çözümünde Diferansiyel Arama (DA) Algoritmasını kullanmıştır. Bu çalışmada gürültülü, gürültüsüz sentetik veri ve arazi verisi değerlendirilmiş ve bu değerlendirmeleri önceki çalışmalar ile karşılaştırdıklarında başarılı sonuçlar elde etmişlerdir.

Akkaş (2019), basit geometrik yapılı cisimlerin neden olduğu DU belirtilerinin yorumlanmasında BOA (Balina Optimizasyon Algoritması) ve Levenberg-Marquardt (LM) yöntemlerinin ardışık bir biçimde kullanımını içeren melez ters çözüm yaklaşımı önermişlerdir.

Ekinci vd. (2019), DE ve PSO ilk kez sağlamlık, tutarlılık, hesaplama maliyeti ve yakınsama oranı açısından karşılaştırmışlardır. Karşılaştırmada hem sentetik gravite verileri hem de derin fay yapılarının neden olduğu manyetik verileri kullanmışlardır. Gerçek veri uygulamaları, Graber petrol sahası üzerinde gözlemlenen bir rezidüel gravite anomalisi kullanarak gerçekleştirmişlerdir. Çalışma sonucunda DE algoritması sağlamlık, tutarlılık, hesaplama maliyeti ve yakınsama oranı açısından daha iyi sonuçlar vermiştir. Ters çözümünde PSO'yu alternatif olarak önermişlerdir.

Ekinci vd. (2020), Ege graben sistemindeki sediman kalınlıkları birçok jeofizik çalışması ile araştırılmış fakat farklı bulgulara ulaşmışlardır. Bu problem için DE algoritmasını kullanmışlardır. Bir grup yan yana dikey blok kullanarak havzaları ayrıştırarak model parametreleri elde etmişlerdir. Çalışmalarında sentetik ve arazi verileri kullanmışlardır. Çalışmaların sonucunda önceki bulgulardan daha sığ olduğu sonucunu elde etmişlerdir ve olasılık yoğunluk fonksiyonu analizleri en iyi çözümlerin belirsizlik olmaksızın göstermişlerdir.

3. Doğal Uçlaşma (DU) Yöntemi

Yeraltı araştırmalarında, yer içindeki doğal elektriksel yüklerin ölçülmesiyle yapılan yöntemdir. DU yöntemi ilk yıllarda sadece maden aramalarında özellikle de sülfürlü cevher aramalarında kullanılan en eski jeofizik yöntemidir (Fox, 1830). Günümüzde ise birçok jeolojik problemlerin çözümünde kullanılır. Mühendislik jeofiziği, jeotermal enerji kaynaklarının araştırılması, depremlerin önceden tahmini, metalik maden aramaları, yer altındaki boruların ve barajlardaki taban hazne kayalarındaki su sızıntısı yerleri, yer altı suyu akış yönünün belirlenmesi konusunda başarıyla kullanılır. Diğer jeofizik yöntemlere göre düşük maliyetli ve kolaydır. Bu yöntem yeryüzünde iki farklı nokta arasında oluşan doğal gerilimi ölçmesinden dolayı, uygulama yaparken çelik, bakır gibi çubukların kullanılması durumunda toprağın ve elektrotların birbirleriyle etkileşime girerek yalancı bir gerilim farkı oluşturmaması için uçlaşmayan (polarize olmayan) elektrotlar kullanılır. Uçlaşmayan elektrotların yapısında bakır-bakır sülfat (Cu-CuSo4), gümüş-gümüş klorür (Ag-AgCl), çinko-çinko sülfat (Zn-ZnSo4), kurşun-kurşun klorür (Pb-PbCl2) gibi metal çözeltiler kullanılır (Petiau, 2000). Daha kolay bulunabilmesi ve daha düşük maliyetli olması nedeniyle bakır ve kurşun çözeltili olanlar tercih edilir (Vural, 2017).

3.1. DU Yönteminin Kökeni

Doğal uçlaşma yöntemi elektrokinetik, elektrokimyasal, termoelektrik vb. gibi potansiyellerin yer altında doğal olarak oluşması ve yeryüzü boyunca ölçülerek yapılan bir yöntemdir. Bu potansiyellerin oluşmasına iklim değişikliği, topağrafya, jeolojik etkenler sebep olmaktadır. Doğal uçlaşma değişimleri, genel olarak, kayaçların petrofizik özellikleri, yer altı su seviyesindeki değişimler, yer altındaki metal su iletim boruları, trafolar, kuyular, tatlı-tuzlu su dokanakları ve cüruflardan kaynaklanmaktadır (Aktaş, 2014).

3.1.1. Elektrokinetik (Akma) Gerilimi

Suyu hareketinden dolayı oluşmaktadır. Akışkan kılcal damar ve boşluklu ortamlardan geçerken, akış yolu boyunca elektrik gerilimine sebep

olabilmektedir. μ viskozitesine, ρ özdirencine sahip bir çözeltide, geçirimli bir ortamdan basınç etkisiyle geçirilmesi sonucu oluşan gerilime akma (elektrokinetik) gerilimi denir. Bu gerilime sebep olarak akışkan içindeki iyonlarla kılcal damarların yan duvarlarındaki taneciklerin etkileşimi sebep olduğu düşünülmektedir (Candansayar, 2007).

$$E_s = \frac{\rho \epsilon \xi \triangle_p}{4\pi \eta} \tag{3.1}$$

- E_s Akma Gerilimi
- ϵ Dielektrik Permitivite
- ρ Özdirenç
- ξ Soğurma
- $\triangle_p$ Basınç Farkı
- η Akışkanın Dinamik Vizkozitesi

3.1.2. Termoelektrik Gerilim

Farklı sıcaklıktaki iki veya daha fazla çözeltinin arasında oluşan gerilimdir. Bu gerilim, sıcaklıkla doğru orantılı olarak artar veya azalır. Gerilim ve ısı farkı oranı ''TEC (Thermoelectrik Coupling Coefficent)'' olarak bilinir (Candansayar, 2016).

3.1.3. Elektrokimyasal Gerilim

Difüzyon Gerilimi: Farklı konsantrasyondaki çözeltilerdeki anyon (-) ile katyon (+) yüklerin hareketinden dolayı oluşan gerilimdir. Konsantrasyonu farklı çözeltilerdeki anyonlar ve katyonların eşit olma isteğinden dolayı arayüzlerinde yük geçişleri olur. Bu hareket difüzyon geriliminin nedenidir.

Nernst Gerilimi: eşit özellikteki iki metal elektrot, homojen çözelti içine daldırılması elektriksel gerilim farkı oluşturmaz. Elektrotlardan birisi farklı yoğunluktaki çözeltiye batırıldığında, iki elektrot arasında milivolt (mV) seviyesinde ölçülülen gerilim Nernst gerilimi ($\triangle$V) olarak adlandırılır. Nehirler ve denizlerin karıştığı yerlerde, su ve petrol arayüzlerinde ölçülen gerilim Nernst gerilimine örnektir (Aktaş, 2014).

Yer içinde difüzyon ve Nernst birlikte bulunduğunda elektrokimyasal veya durağan doğal gerilimi oluşturur (Candansayar, 2016).

Bilinen en doğal elektrolit olarak Sodyum klorür (NaCl) örneği verilebilmektedir. NaCl çözeltisi farklı yoğunluktaki ($C1\ ve\ C2$) fakat aynı sıcaklıkta (T -° C) elektrokimyasal gerilimin genliği (Ec) matematiksel olarak aşağıdaki şekilde tanımlanır (Candansayar, 2016).

$$Ec = -70.7\frac{(T+273)}{273}\ln(C1/C2) \tag{3.2}$$

3.1.4. Mineralizasyon Gerilimi

Maden jeofiziğinde kullanılan, oksidasyon sonucu oluşan gerilimdir. Daha çok masif sülfürlü cevherlerle ilişkili büyük ve negatif özelliğe sahip bir anomali veren bir potansiyeldir. Pirit, kalkopirit ve diğer iyi elektronik iletime sahip ortamlarda daha fazla görülür.

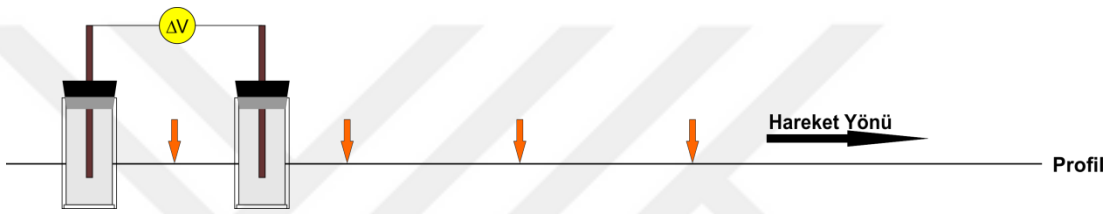
3.2. DU Ölçü Aletleri

1. Fincan Elektrot; Kutuplaşmayan porselen veya PVC'den yapılmış, fincan (pot) veya silindir benzeri kaplar kullanılır. Bunların altı geçirimli, yanları geçirimsizdir. İçinde metal çubuk ve metal eriyik vardır. Ölçü esnasında 2 tane elektrot kullanılır.
2. Kablo; yalıtımlı, iç direnci düşük ve uzunluğu 500 metreyi geçmeyen kablolar kullanılır.
3. Milivoltmetre; 1 mV duyarlıkta olması yeterlidir.
4. Diğer gereçler; Şerit metre, su, keser, kâğıt, kalem ve herhangi bir aksilik için takım çantası.

3.3. Doğal Uçlaşma Ölçü Alım Teknikleri

3.3.1. Kaydırma Ölçü Tekniği

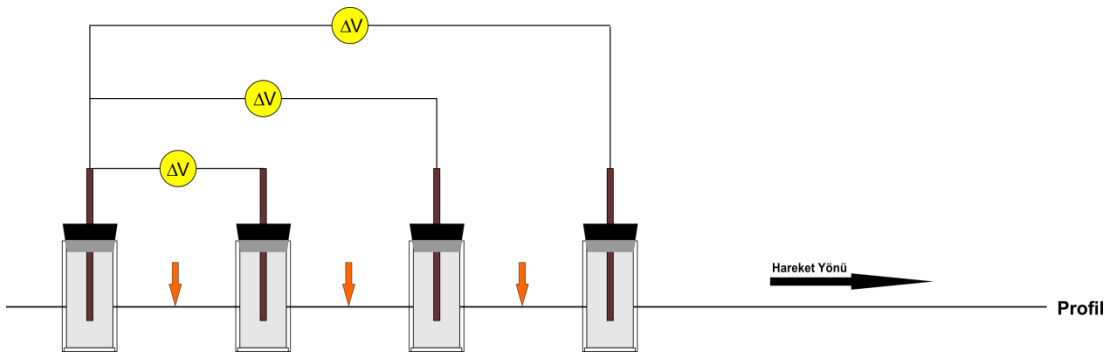
Arası sabit olmak kaydıyla iki elektrot, profil boyunca kaydırılarak alınan ölçü tekniğidir. 1. ve 2. noktalara yerleştirilen elektrotlar arasındaki gerilim farkı ölçülür. Daha sonra 1. elektrot 2. noktaya, 2. elektrot 3. noktaya kaydırılır. İnceleme derinliğine bağlı 10-50 m aralığında seçilir. Polariteyi sağlamak adına arkadaki elektrot voltmetrenin negatif ucuna, önde kalan elektrot ise pozitif ucuna bağlanır.



Şekil 3. 1. Yatay kaydırma ölçü tekniği

3.3.2. Baza İndirgeme Ölçü Tekniği

Voltmetrenin negatif ucuna bağlanan 1. elektrot sabit kalmak kaydıyla pozitif ucuna bağlı 2. elektrot, profil boyunca kaydırılarak alınan ölçü tekniğidir.



Şekil 3. 2. Baza indirgeme ölçü tekniği

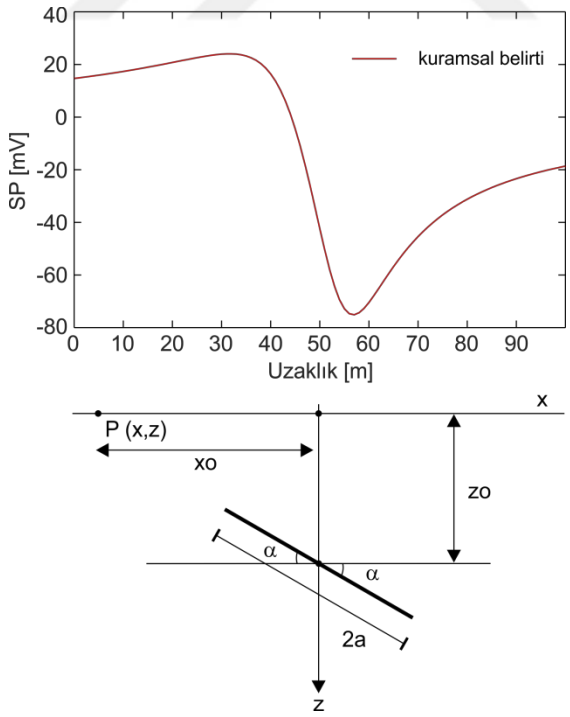
3.4. Eğimli Levha Tipi Yapılarının Neden Olduğu DU Belirtilerinin Hesaplanması

DU yukarıda da bahsedildiği gibi herhangi bir yapay kaynak uygulamaksızın yerin içinde kendiliğinden var olan fizikokimyasal ve elektrokimyasal özelliklerinden meydana gelen potansiyeline dayanan yöntemdir.

Yer altında eğimli levha tipi yapılar ile kutuplaşmış bir yapının neden olduğu DU belirtisi aşağıdaki bağıntı ile hesaplanmaktadır;

$$V(x) = Kln\left[\frac{\{(x - xo) - a\cos(\propto)\}^2 + \left(zo - a\sin(\propto)\right)^2}{\{(x - xo) + a\cos(\propto)\}^2 + \left(zo + a\sin(\propto)\right)^2}\right] \tag{3.3}$$

Burada; K uçlaşma parametresi, xo levhanın merkezinin yeryüzündeki izdüşüm noktası, zo levha merkezinin derinliği, a levhanın yarı uzunluğu, $\propto$ ise ölçüm doğrultusundan saat yönünün tersi yönündeki uçlaşma açısıdır.



Şekil 3.3 Eğimli levha tipi yapılarının neden olduğu DU belirtilerini gösteren anomali ve model

4. SEZGİSEL OPTİMİZASYON

Sezgisel algoritmalar, bir hedefe varmak veya herhangi bir amacı elde etmek için doğadaki canlılardan ve onların davranışlarından esinlenilerek geliştirilen algoritmalardır. Bu algoritmaların, çözüm uzayında en iyi çözüme yakınsamasında bir belirsizlik bulunmaktadır. Yani sezgisel algoritmalar kesin bir çözümün elde edilmesinden ziyade çözümün çok yakınında/civarında bir çözümü sunarlar. Bununla birlikte, bu algoritmaların kullanıcılar tarafından anlaşılır ve basit bir yapıda tasarlanması ve ele alınan optimizasyon problemi için ilksel bilgilerin yeterli olmadığı durumlarda görece geniş arama uzaylarında çözüm arayabilme kabiliyetleri oldukça değerlidir (Karaboğa, 2011).

Genel amaçlı sezgisel yöntemler; biyoloji tabanlı, fizik tabanlı, sürü tabanlı, sosyal tabanlı, müzik tabanlı, kimya vb. tabanlı olmak üzere çeşitli gruplarda değerlendirilmektedir. GA, DE, karınca koloni algoritmaları, yapay sinir ağları, arı koloni algoritmaları ve yapay bağışıklık sistemleri biyolojik tabanlı metasezgisellerdir. Sosyal tabanlı algoritmalara ise emperyalist yarışmacı, parlamenter optimizasyon ve tabu arama algoritmaları verilebilir. Fizik tabanlı algoritmalar grubunda ise ısıl işlem, büyük patlama büyük sıçrama, YSA, merkez kuvvet optimizasyonu, zeki su damlacıkları algoritması ve elektromanyetizma algoritması değerlendirilebilir. Ayrıca, müzik tabanlı armoni arama algoritması, kimya tabanlı yapay kimyasal reaksiyon algoritması bulunmaktadır. PSO ve KSO ise topluluk tabanlı algoritmalardır. Metasezgiseller, ayrıca birden fazla grup içerisinde sınıflandırılabilir. Örneğin, kültürel algoritma, biyoloji ve de sosyal tabanlı bir algoritma kapsamında düşünülebilir (Alataş, 2007).

Araştırma uzayı geniş ise hesaplama karmaşıklığını azaltmak için uzayın boyut indirgemesinin yapılması gerekir ki bu da gerçek dünya problemlerinde mümkün değildir. Şayet problemi çözmek için arama metodu kullanılmak istenirse bu durumda da bölgesel optimumlara takılma problemi ortaya çıkmaktadır.

Şekil 4.1, klasik ve sezgisel optimizasyon yöntemlerinin basit bir sınıflandırılmasını göstermektedir. Klasik algoritmalar probleme özgü iken

modern sezgisel algoritmalar genel amaçlıdır. Modern sezgisel teknikler değişik problemlere uygulanabilirken, bir problem için tasarlanmış bir metot kadar o problem üzerinde iyi sonuç vermeyebilir. Ancak gelişime dayalı algoritmalar da daha geniş spektrumdaki problemleri çözmek amacıyla kullanılabilir (Nas, 2013).

1- Gelişime Dayalı Optimizasyon Algoritmaları

a) Genetik Algoritma

b) Tavlama Benzetimi Algoritması

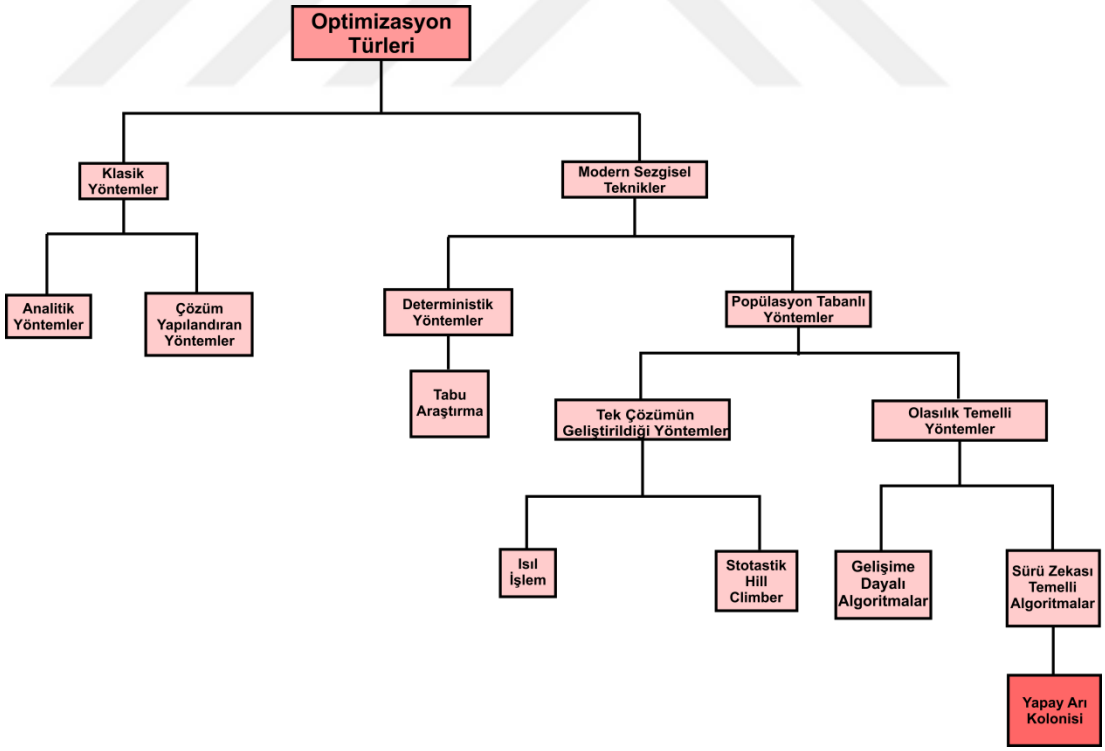
c) Tabu Arama Algoritması

2- Sürü Zekâsı Temelli Optimizasyon Algoritmaları,

a) Karınca Kolonisi Algoritması

b) Parçacık Sürü Optimizasyonu

c) Arı Kolonisi Algoritması



Şekil 4. 1. Optimizasyon yöntemler şeması (Akay, 2009).

5. SÜRÜ ZEKÂSI OPTİMİZASYON ALGORİTMALARI

Sürü zekâsına dayana metasezgisellerin oluşumunda doğada gerçekleşen olaylardan faydalanılmıştır. Doğadaki canlıların yaşamlarını sürdürebilmeleri için oluşturdukları düzen ele alındığında günlük hayattaki problemlere dair birçok çözüm içerdiği görülmektedir. Toluluk/sürü halinde yaşayan canlılar, genel olarak, iş bölümü ve organizasyon yeteneğine sahiptir. Bu durum, bu canlılara karşılaştıkları problemleri çözümünde oldukça önemli avantajlar sağlamaktadır (Akyol ve Alataş, 2012).

Sürüler halinde yaşayan hayvanlar hayatta kalmak için bazı sistemler geliştirmişlerdir. Organize oldukları bu sistemlerin başında yemek arama ihtiyacı gelmektedir. Bu ihtiyacın modellenmesiyle oldukça başarılı algoritmalar ortaya çıkmıştır. Örneğin, YAKA, arı topluluklarının besin ararken sergiledikleri davranışları simule eden bir optimizasyon algoritmasıdır (Nas, 2013).

Sürü zekâsı dayanan yeni nesil optimizasyon algoritmalarına ateşböceği sürü optimizasyonu, arı kolonisi algoritması (AKO), karınca koloni optimizasyonu (KKO), PSO, yapay balık sürüsü algoritması, bakteriyel besin arama optimizasyon algoritması, kurt koloni ve YAKA örnek olarak verilebilir.

Bunlardan yaygın olarak kullanılanları;
PSO: Kuş sürülerinin yerini bilmediği besin kaynağını aramasından esinlenilmiştir. Algoritmada, her kuş olası bir çözümü temsil eder.

KKO: Karıncaların mevcut kaynağı kullanırken en kısa yolu tercih etmelerinden esinlenerek geliştirilen algoritmada yapay karıncalar, doğal karıncalardan esinlenerek üretilmekle birlikte özelinde farklılıklar içermektedir. Algoritmada, bu yapay karıncaların hafıza özelliğinden yararlanılır ve mevcut en kısa çözüme ulaşılması hedeflenir.

AKO: Arıların diğer sürü zekâsı optimizasyon algoritmalarına ilham veren canlılara karşı sergiledikleri üstünlükleri gözetilerek geliştirilmiştir ve algoritma

kendi içerisinde sürekli bir gelişim yaşamıştır. Bu gelişim paralelinde; arı sistemi, arı kovanı, arı kolonisi optimizasyonu, bal arıları optimizasyonu gibi değişik sürümleri ortaya çıkmıştır. Bu çalışma kapsamında kullanılan ve Yapay Arı Kolonisi olarak bilinen (Karaboğa, 2005) algoritma da bu sürecin bir parçasıdır.

Sürüleri oluşturan bireyler bir amaca yönelik davranışı gerçekleştirmek ve hedefe ulaşmak için kollektif bir çalışma içerisindedir. Bu "kollektif zekâ" temsilciler arasında sık süregelen davranışlardan dolayıdır. Temsilciler faaliyetlerini gerçekleştirmek için basit bireysel kurallar çerçevesinde grubun diğer bireyleriyle bir etkileşim yolu ile sürünün temel amaçlarına ulaşmaktadır. Tüm grubun faaliyetleri ele alındığında bir çeşit düzenli örgütleme doğmaktadır (Akyol ve Alataş, 2012; Sevim ve Sönmez, 2014).

6. YAPAY ARI KOLONİ ALGORİTMASI (YAKA)

İnsanoğlu yaşamın gün geçtikçe kompleks bir hal almasından dolayı bazı sezgisel ve metasezgisel yöntemler geliştirmiştir. Problemin zorluğu arttıkça sezgisel yöntemler yetersiz kalmış ve daha iyi sonuçlar veren metasezgisel yöntemlere yönelmiştir.

6.1. Sürü Zekâsı

Sürü terimi birlikte davranış sergileyen karınca, arı kolonileri, balık, kuş ve böcek toplulukları için kullanılmaktadır. Bir sürüdeki bireyler herhangi bir danışma işlemi olmadan hareket ederler. Herhangi bir ilişkileri olmadan kendi alanlarındaki kurallar vasıtasıyla kendi kendine organize olabilen bireyler arasındaki etkileşim sürü zekâsı adı verilen birlikte davranış zekâsının ortaya çıkmasına sebep olmaktadır. Kendi kendine organize olabilme sürü sisteminin temel özelliğidir. Kendi kendine organize olabilmeyi dört özellik ile karakterize etmiştir (Akay, 2009):

1. **Pozitif geri besleme:** Elverişli durumların oluşmasını destekleyen davranışsal kurallar sayesinde oluşur. Pozitif geri beslenmeye örnek olarak arıların dans etmeleri ile birlikte diğer arıların bir işe yönlendirilmeleri verilebilir.
2. **Negatif geri besleme:** Sürünün birlikte uyumlu şekilde hareketlerini sağlamak için pozitif geri beslemeyi dengeler nitelikte çalışan kurallar ile ortaya çıkmaktadır. Herhangi bir yiyecek tüketiminde, iş konusunda ve benzeri durumlarda doyuma gitmeyi önlemek için negatif geri besleme mekanizması gerekmektedir.
3. **Dalgalanmalar:** Bireylerin yapılan işi, yanlışları değiştirmeleri yeni çözümlerin bulunmasını sağladığından yaratıcılık ve yenilik açısından önem taşımaktadır.
4. **Çoklu etkileşimler:** Herhangi bir sürüdeki bazı bireyler arasında bilgi alışverişi sürü içerisinde bilgi alışverişi de sağlar.

6.2. Gerçek Arılar ve Besin Arama Davranışları

Arılar koloniler halinde yaşayan sosyal ve çevresiyle uyumlu canlılardır. Dişi arılar kış aylarında kolonide çoğunlukta olmakla birlikte, ilkbaharın gelmesiyle erkek arıların sayısı artar. Bir kolonide kraliçe arı (bir tane), erkek arı (birkaç yüz tane) ve işçi arı (binlerce) olmak üzere üç tip arı vardır (Özdemir, 2013).

Kraliçe Arı: Kolonide yer alan arılar içinde yumurtlama yeteneğine sahip olan tek arı olduğu için en önemli arıdır. Kolonide işleri yürüten yine kraliçe arıdır. Kolonideki diğer arılardan daha uzun olan kraliçe arı hayatı boyunca yalnızca bir defa çiftleşir ve edindiği spermlerle 2 veya 3 yıl boyunca yumurta üretir. Günde 2000'e yakın yumurta üretebildiği düşünüldüğünde bu sayının yılda 175.000-200.000 arasına ulaştığı görülür. Bunun kontrolünü kraliçe arı kovanın büyüklüğüne göre belirlemektedir.

Erkek Arı: Erkek arıların görevi kraliçe arı ile çiftleşmektir. Erkek arılar kolonideki diğer arılardan daha iridir. Erkek arılarda iğne bulunmaz. Erkek arılar fiziksel olarak polen toplamaya uygun değildir. Erkek arılar döllenmemiş yumurtalardan meydana gelir ve ömürleri 6 aydır. Kraliçe arı erkek arıyla çiftleştikten sonra erkek arı ölür.

İşçi Arılar: Koloni içerisindeki iş bölümü göz önüne alındığında en çok görev yapan arılardır. Bu görevler arasında; larvaları beslemek, mum salgılamak ve polenleri depolamak bulunur. İşçi arıların hepsi dişi arılardır ve üreyemezler.

Açıklandığı üzere arılar arasında kendi arasında organize olabilen ve bir iş bölümü yapabilme yeteneğine sahiptir. Lee ve Tereshko 2002 yılında arıların besin kaynağı arama davranışlarını modelledikleri bir çalışma yapmışlardır. Bu modele göre arıların besin kaynağı aramalarında görevli arılar, görevsiz arılar ve besin kaynağı olmak üzere üç bileşen söz konusudur. Arı davranışları, genel olarak, ikiye ayrılmıştır (Tereshko ve Loengarov, 2005) bunlar; bir besin kaynağına yönelme ve besin kaynağını terk etme olarak karşımıza çıkmaktadır.

Yiyecek Kaynakları: Arıların polen nektar veya bal elde etmek için gittikleri kaynatır.

Görevli Arılar: Görevli işçi arıların görevi kovana besin kaynağından kovana polen taşımaktır. Ayrıca diğer arılara besin kaynağının konumu ve kalitesi hakkında bilgi vermektir. Besin kaynağı tükenene kadar bu işlemi sürekli olarak tekrarlar.

Görevsiz Arılar: Görevsiz arılar gözcü kâşif arılardır.
Kâşif Arılar: Kovanın yaklaşık olarak 14 km çevresindeki yeni yiyecek kaynaklarını bulmaktan sorumludur.

Gözcü Arılar: kovanda bekleyerek kâşif arılardan gelen bilgileri izleyerek yiyecek kaynağına yönelip yönelmeme kararını verir.

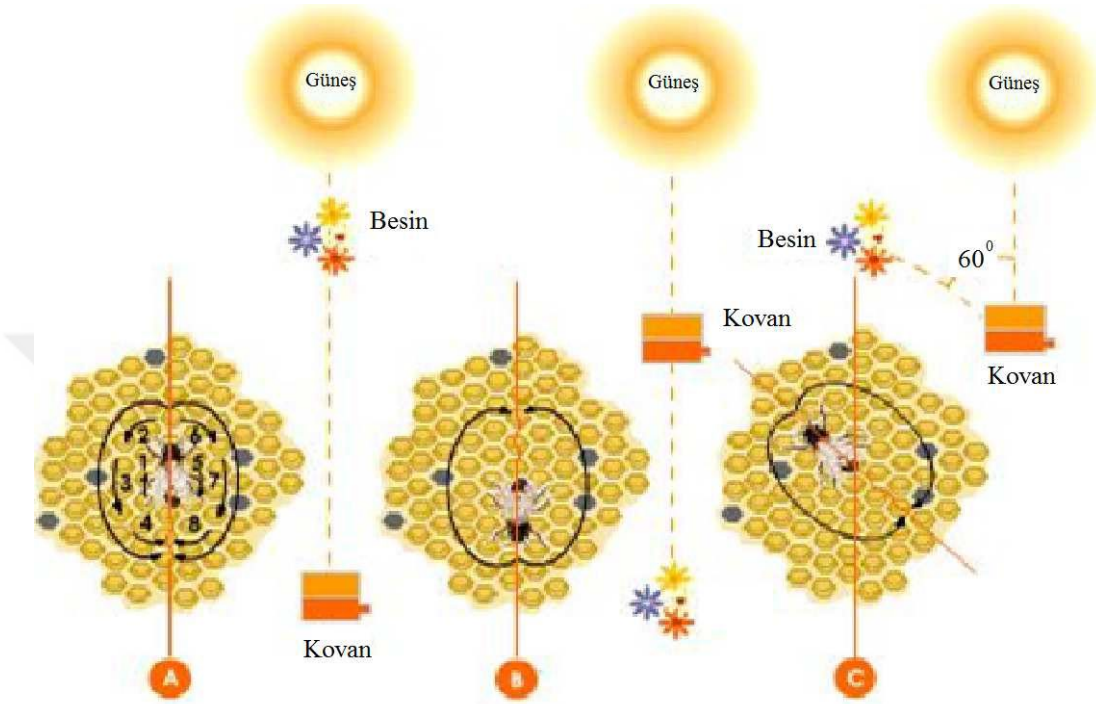
İşçi arılar dans alanında çeşitli danslar sergiler. Bu danslar besin kaynağı hakkında bilgiler verir. Dans eylemini gerçekleştirdikten sonra tekrar yiyecek kaynağına yönelirler.

Gözcü arılar, izledikleri danstan topladıkları bilgi doğrultusunda kaynağına yönelir veya diğer arıların dansını izlemeye devam eder. Dansları izlemeye besin kalitesi en yüksek yiyecek kaynağını belirleyene kadar devam ederler. Tereshko ve Loengarov yaptıkları çalışmada, işçi arıların kuyruk dansını sergilenme süreleri ile besin kaliteleri arasında doğru bir orantı olduğunu vurgulamıştır. İşçi arılar ettikleri dans ile gittikleri yiyecek kaynağının konumu ve kalitesi ile ilgili bilgiyi gözcü arı ile paylaşır.

Dans çeşitleri besin kaynağı ile kovan arasındaki mesafeye göre değişkenlik göstermektedir. Bu danslar titreme, kuyruk ve dairesel danslardır (Özdemir, 2013).

Dairesel dans: Besin kaynağının çok yakın olduğunu bildirmektedir.

Kuyruk (Sallanma) dansı: Bu dans, genel olarak, besin kaynağının kalitesi ve konumu ile ilgilidir. Arıların dairesel dansıyla kıyaslandığında görece daha geniş alandaki yiyecek kaynakları söz konusudur.



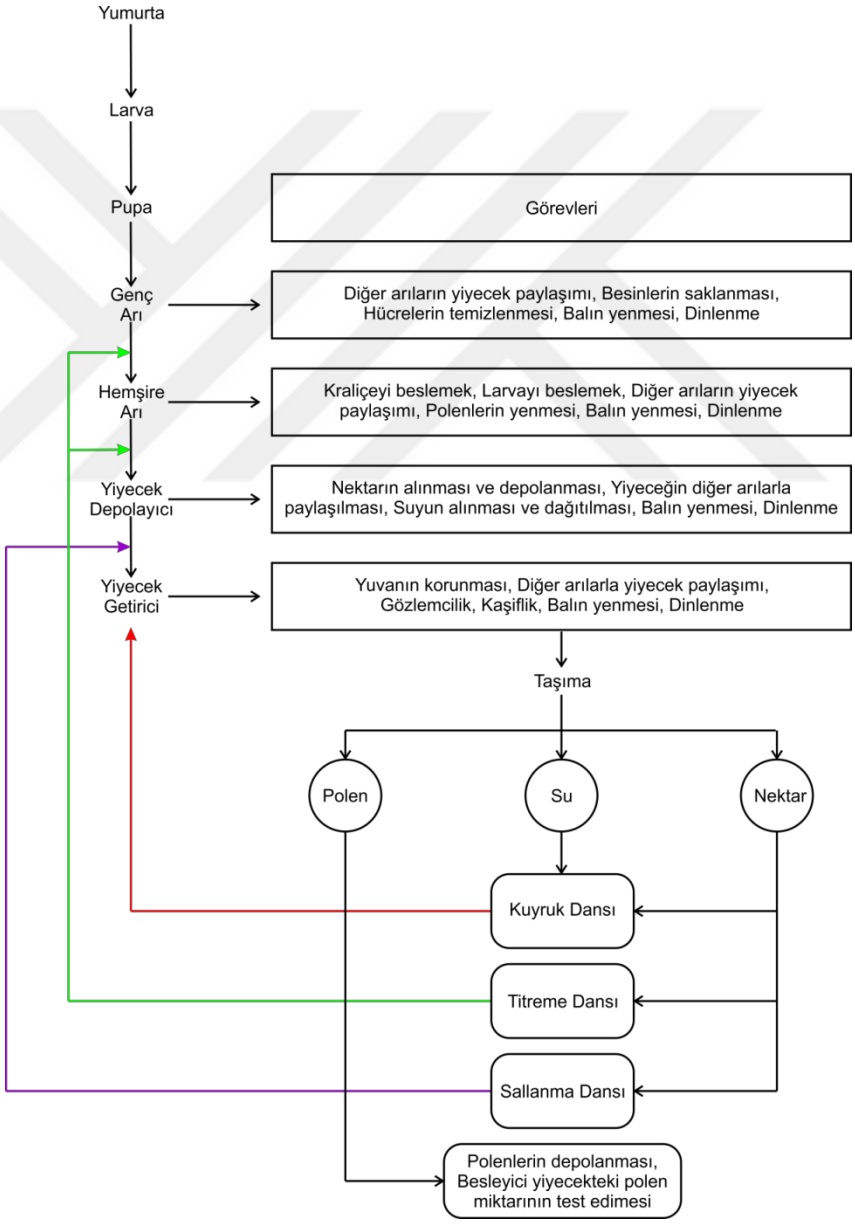
Şekil 6. 1. Bal arılarının sallanma (waggle) dansı (Sevim vd., 2014)

Sekiz rakamına benzeyen sallanma dansı, kovan içerisindeki diğer arılara üç önemli bilgi verir. Bunlar (Sevim vd., 2014):

A. Sekize benzeyen şeklin ortasındaki düz çizgi besin kaynağının yönünü,
B. Sekize benzeyen şeklin ortasındaki düz çizginin uzunluğu besin kaynağının kovandan ne kadar uzakta olduğunu,
C. Sekize benzeyen şeklin ortasındaki düz çizginin alındığı süre ise nektar kalitesi hakkında bilgi verir.

Titreme dansı: İşçi arılar bu dans ile izlenilebileceğinden daha çok polenin kovana getirildiğini anlatırken aynı zamanda ve bu polenlerin işlenmelerinde de görev almak istediklerini gösterirler. Bu dans ile kovandaki polen miktarının optimum bir seviyede tutmak istedikleri ortaya çıkar.

Bu algoritmada temel alınan modelde basit olması nedeniyle bazı kabuller yapılmaktadır. Buna göre: (kaynak sayısı = görevli arı sayısı = işçi arıların sayısı) olarak ve nektarı tükenmiş kaynağın görevli arısı kâşif arıya dönüşmektedir. Yiyecek kaynaklarındaki nektar miktarı, kaynaklarla ilgili çözümlerin uygunluğuna ve bu kaynakların yerleri ise optimizasyon problemine ait olası çözümlere karşılık gelmektedir. YAKA en fazla nektara sahip yiyecek kaynağının yerini bulmaya çalışarak uzaydaki çözümlerden problemin minimumunu veya maksimumunu veren çözümü bulmaya çalışmaktadır (Karaboğa, 2011).



Şekil 6. 2. Arıların görev paylaşımı (Akay, 2009'dan uyarlanmıştır.)

Görevli arılar ve görevsiz arılar arasında sürekli bir denge vardır. Arılar bu dengeyi sağlamak için (Nas, 2013);

Pozitif geri besleme: Kaynak sayısı ile gözcü arı sayısı eşittir ve doğru orantılı bir şekilde artıp azalır.

Negatif geri besleme: Besin kaynağı tükenince bırakılır.

Salınımlar: Kâşif arılar yiyecek kaynağını bulabilmek için rasgele arama yapar.

Çoklu etkileşimler: Bilgi aktarımı için dans alanında çeşitli danslar sergileyerek gerçekleştirirler.

6.3. YAKA'nın Temel Adımları

Yiyecek arayan arılarda gözlenen zeki davranış ile bu davranışı simule eden YAKA'nın temel birimleri temel adımları aşağıda açıklanmaktadır (Akay, 2009; s.52-53).

Adım 1. Rasgele oluşturulan bu besin kaynaklarına ait her bir besinin çözüm değerleri amaç fonksiyonunun türüne göre belirlenir.

REPEAT

Adım 2. Rasgele oluşturulan bu besin kaynaklarına ait her bir besinin çözüm değerleri amaç fonksiyonunun türüne göre belirlenir.

Adım 3. Maksimum döngü sayısı saptanarak işçi arılar yiyecek kaynaklarına gönderilir. İşçi arılar rasgele bir yiyeceğe yönelerek bu yiyecek kaynağını işlemeye başlarlar. Yiyecek kaynağı işlendikten sonra bu yiyeceğe ait yeni yiyecek kalitesi (çözüm değeri) hesaplanır. Elde edilen bu çözüm değerleri önceki çözüm sonuçlarından daha iyi ise bu yiyecek ve yiyecek ilgili bilgiler hafızaya alınırlar. Çözüm değerlerinde iyileşme sağlanırsa limit değeri sıfırlanır, aksi halde limit

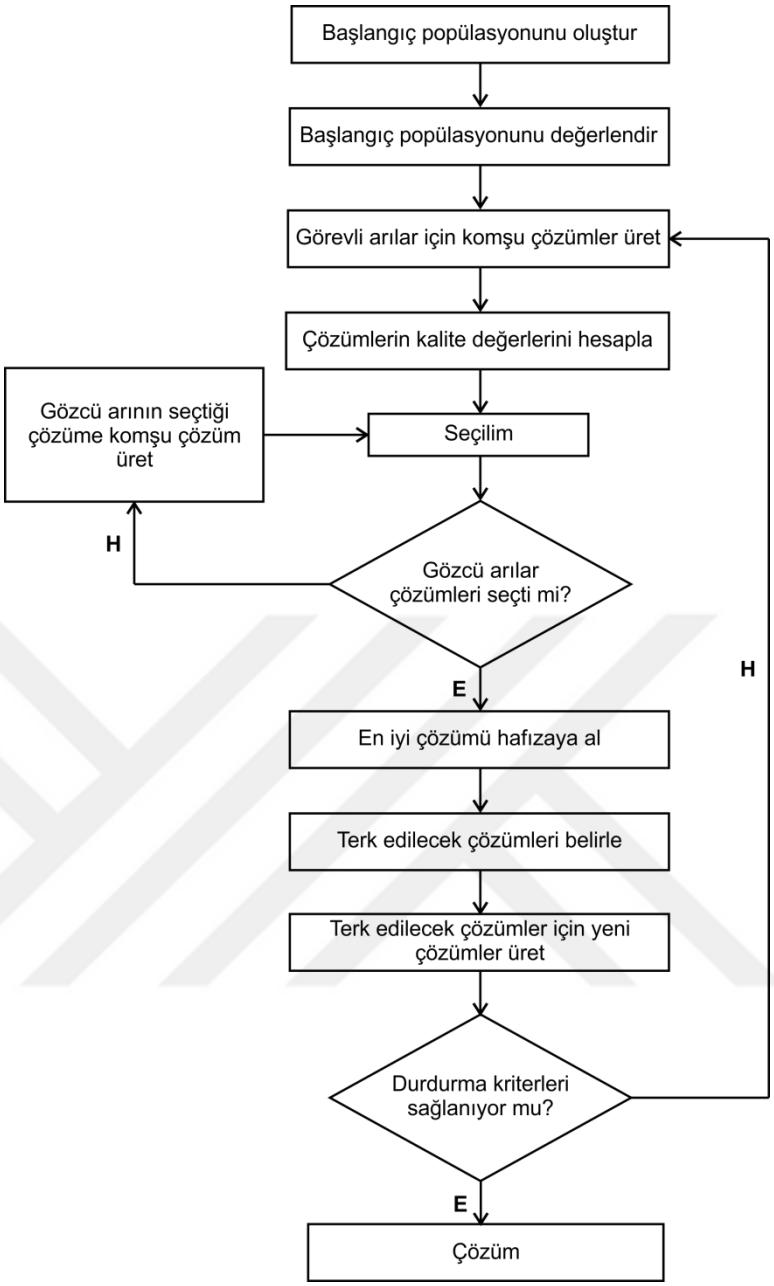
değeri 1 arttırılır. Algoritmanın çalıştırılması esnasında sonsuz döngüye girmemesi için limit değerine belirli bir üst değer belirlemek gerekir (Özdemir, 2013).

Adım 4. İşçi arılardan hemen sonra gözcü arılar devreye girerler. Yiyeceklerin kalitesine (uygunluk değerine) göre bir yiyecek kaynağı seçilir. Gözcü arılar bu yiyecek kaynağı üzerinde çalışmaya başlarlar. Elde edilen çözüm değeri önceki çözüm değeri ile karşılaştırılır ve çözüm değeri önceki değerden daha iyi ise bu yiyecekle ilgili bilgileri hafızalarında tutar. Eğer yiyecek kaynağında iyileşme sağlanırsa limit değeri sıfırlanır, aksi halde limit değeri 1 arttırılır. Bu safhada, gözcü arılar işçi arılardan farklı olarak uygunluk değerine göre seçim yaparlar (Özdemir, 2013).

Adım 5. Gözcü arıdan hemen sonrada kâşif arı devreye girer. Kâşif arı safhasının esas nedeni algoritmanın yerel minimum ya da maksimuma takılmasına engel olmaktır. Yani elde edilmiş olan çözümü tamamıyla bozarak, yani limit değerlerini sıfırlanarak yeni bir çözüm üretilmesini sağlar. Elde edilen bu yeni çözüm değeri ile önceden hafızaya alınmış çözüm değeri karşılaştırılır. Bu iki çözüm değerinden iyi olanının hafızada tutulmasına sürdürülür (Özdemir, 2013).

UNTIL (çevrim sayısı=Maksimum çevrim sayısı)

Adım 6. Maksimum döngü sayısı sağlanıncaya kadar işçi arı, kâşif arı ve gözcü arı safhası devam ettirilir. Durdurma kriteri sağlandığında ise algoritma sonlandırılır (Karaboğa, 2011).



Şekil 6.3. Yapay arı koloni algoritması akış diyagramı (Akay, 2009'dan uyarlanmıştır.)

6.3.1. Başlangıç Yiyecek Kaynağı Bölgelerinin Üretilmesi

Arama uzayını kovan çevresinde ki kaynaklar olarak düşünürsek, kâşif arılar rasgele kaynak arayışına başlarlar. Rasgele yer aramak için oluşturulan her bir parametrenin çözümü için alt ve üst limit değerleri belirlenir.

$$X_{ij} = x_j^{min} + rand(0,1)\left(x_j^{max} - x_j^{min}\right) \tag{6.1}$$

Burada besin kaynağı sayısı i ile parametre sayısı ise j ile gösterilmektedir. $x_j^{min} ve x_j^{max}$,j parametrenin alt ve üst sınırları olarak ifade edilir. Bir kaynağın nektar miktarının tükenip tükenmediği geliştirilememe sayacı ile kontrol edilmektedir ve bu kontrol parametresi "limit" olarak adlandırılmaktadır. Önceden tanımlanan limit sayısı algoritmada önemli bir kontrol parametresidir (Karaboğa ve Akay 2009). Başlangıç aşamasında geliştirilememe sayacı sıfırlanmaktadır. Algoritmada durdurma kriteri olarak genellikle maksimum çevrim sayısı (iterasyon) veya önceden tanımlanmış bir kriter kullanılmaktadır (Karaboğa ve Akay 2009). Kâşif arılar yiyecek kaynağı bulduktan sonra görevli arılara dönüşmektedir.

6.3.2. İşçi Arıların Besin Kaynaklarına Gönderilmesi

Arama uzayında çözüm değerleri belirlenirken, işçi arılar besin kaynaklarından bir tanesini random (rastgele) olarak belirlerler ve bu yiyecek kaynağının kalitesini yani çözüm değerlerini hesaplarlar. Elde edilen çözüm değeri hafızaya kaydedilir. Daha sonra işçi arılar, yiyecek kaynaklarına yöneldikçe hafızadaki bilgiler problemin amacına göre güncellenerek hafızada kalmaya devam edilir. Burada çözüm değerini iyileştiren değerlerin hafızada tutulacağını vurgulamakta fayda vardır. Bu durum aşağıda yer alan eşitlikte yer almaktadır.

$$v_{ij=x_{ij}+\phi_{ij}}(x_{ij} - x_{kj}) \tag{6.2}$$

Eşitlikte yer alan v_{ij}ile parametrelerin önceden belirlenmiş parametre sınırları arasında yer alması amaçlanmaktadır. Bu durum aşağıda yer almaktadır.

$$v_{ij} = \begin{cases} x_{ij,\ v_{ij}} < x_j^{min} \\ v_{ij,\ x_j^{min}} \leq v_{ij} \leq x_j^{max} \\ x_{j,}^{max}\ v_{ij} > x_j^{max} \end{cases} \tag{6.3}$$

Bu bilgiler ışığında, yiyecek kaynağının uygunluk değeri aşağıda yer alan eşitliğe göre hesaplanır.

$$\text{uygunluk}_i = \begin{cases} 1/(1+u_i)\,, u_i \geq 0 \\ 1+\text{abs}(u_i), u_i < 0 \end{cases} \quad (6.4)$$

Burada u_i ile yiyecek kaynağının uygunluk değeri ifade edilmektedir ve *abs* ise mutlak değerdir. Uygunluk değerinin hesaplanmasında problemin yapısı ön plana çıkmaktadır yani problemin maksimizasyon ya da minimizasyon olması durumuna göre uygunluk hesaplaması yapılmaktadır. Uygunluk değerine göre seçilen besin kaynağının çözüm değeri hesaplanır. Elde edilen çözüm, önceki çözümden daha kötü ise limit 1 arttırılarak önceden belirlenmiş olan limit değeri ile karşılaştırılır. Aksi durumda önceki çözüm değerinden daha iyi bir çözüm değeri elde edilmişse sayaç sıfırlanır. Kovanda bekleyerek dans alanındaki işçi arıları izleyen gözcü arılar, önceden hesaplanmış olan uygunluk değerine göre ilgili yiyecek kaynağına yöneleceklerdir. Uygunluk değerlerinin hesaplanmasında kullanılan yöntemler; rulet tekerleği seçim yöntemi, stokastik örnekleme, sıralamaya dayalı seçim yöntemi, turnuva yöntemi gibi yöntemlerdir. YAKA'da ise rulet tekerleği seçim yöntemi kullanılmıştır. Bu yöntemde rulet tekerleği bir pasta gibi düşünülürse, pastanın her bir dilimi için bir uygunluk değerine denk geldiğini söyleyebiliriz. Dolayısıyla uygunluk değeri daha yüksek olan çözümlerin seçilme olasılığı daha yüksektir.

Aşağıdaki eşitlikte rulet tekerleği seçim yönteminde seçim olasılığının hesaplanışı yer almaktadır.

$$p_i = \frac{\text{uygunluk}_i}{\sum_{j=1}^{SN} \text{uygunluk}_i} \quad (6.5)$$

Eşitlikteki $uygunluk_i$ ile *i.* kaynağın uygunluk değerini, *SN* ile işçi arı sayısını göstermektedir. Hesaplanan uygunluk değerinin, toplam uygunluk değerine oranlanması ile pastanın dilimlerinin yani diğer ifade ile ''rulet tekerleğinde yer alan parçaların genişlikleri'' elde edilmiş olmaktadır (Özdemir, 2013).

Rulet tekerleğine göre seçim işleminde her bir kaynak için [0, 1] aralığında üretilen *pi* değeri gelişigüzel üretilen bir değerden büyükse gözcü arı için Eşitlik (2)'i kullanarak yeni bir kaynak üret ve üretilen *vi* ile *xi* arasında seçim işlemi uygula, daha iyi olanı seç. *xi* çözümü gelişememişse *hatai= hatai+1*, gelişmişse

hatai=0 yap. Bu adımı tüm gözcü arılar yiyecek kaynağı bölgelerine dağılıncaya kadar tekrar et (Akyol ve Alataş, 2012).

6.3.3. Gözcü Arıların Besin Kaynaklarına Gönderilmesi

Yukarıda bahsedilen eşitlikte hesaplanan uygunluk değerine göre, gözcü arılar kovandan ayrılarak ilgili yiyecek kaynaklarına yönelerek yeni bir çözüm değeri elde eder. Elde edilen bu çözüm değeri, hafızadaki önceden hesaplanmış olan çözüm değeri ile karşılaştırılır. Bu çözüm değeri önceki çözüm değerinden daha iyi ise sayaç sıfırlanır aksi durumda sayaç 1 arttırılır. Bütün gözcü arılar yiyecek kaynağına ulaşana kadar süreç bu şekilde devam eder (Özdemir, 2013).

6.3.4. Besin Kaynağının Terk Edilmesi ve Kâşif Arı Üretilmesi

Yukarıda yer alan ikinci ve üçüncü aşama, yani işçi arıların yiyecek kaynaklarına gönderilmesi ile gözcü arıların yiyecek kaynaklarına gönderilmesi aşamaları tamamlanır. Daha sonra sayaç limit değerini aşmışsa, yani artık çözüm değeri iyileştirilemiyorsa görevi kâşif arılar devralırlar. Gerçek hayatta ise yiyecek kaynağının nektarı tükenmişse, nektarın çıkarılmasından sorumlu olan işçi arı yeni yiyecek kaynaklarının araştırılması için kâşif arıya dönüşmekteydi. Gerçek arıların yiyecek arama davranışlarında olduğu gibi YAKA'da da belirli bir limit adedince iyileştirilemeyen çözüm değeri için kâşif arılar üretilmekte ve bu kâşif arılar aracılığıyla yeni bir yiyecek kaynağı oluşturulup bu yiyecek kaynağının çözümü hesaplanmaktadır. Oluşturulan yeni yiyecek kaynağının çözüm değeri, önceki çözüm değeri ile karşılaştırılmakta ve elde edilen çözüm değeri iyiyse hafızada tutulmakta aksi halde ihmâl edilmektedir.

Bu adımların hepsi önceden belirlenmiş olan döngü adedince gerçekleştirilerek durdurma kriteri sağlandığında algoritma sonlandırılacaktır (Özdemir, 2013).

6.4. YAKA Uygulama Alanları

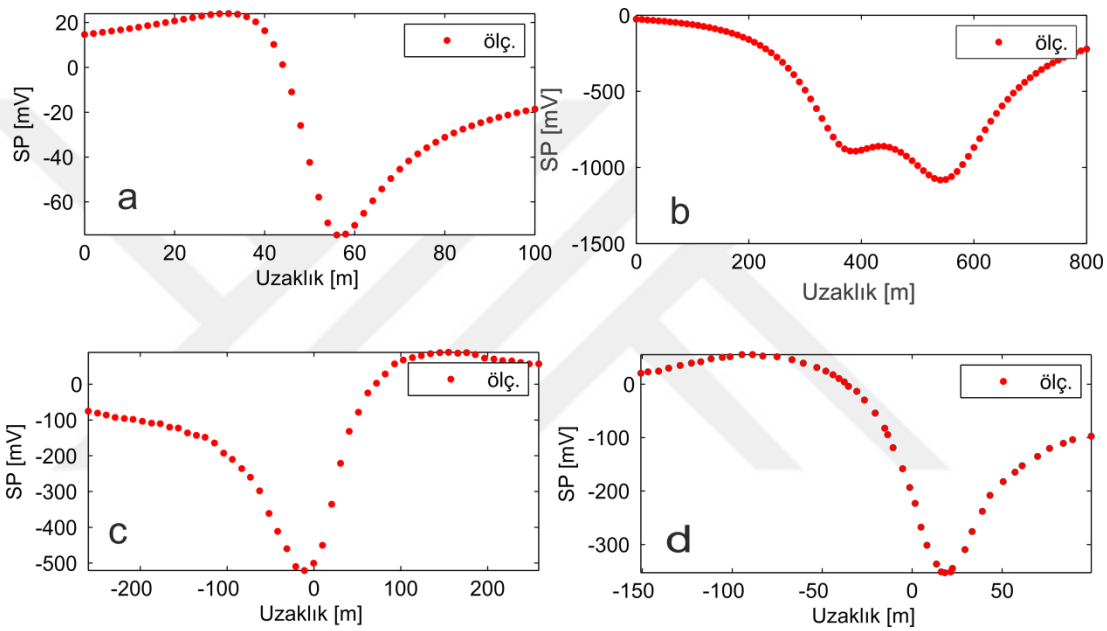
Yapay arı kolonisi yöntemi ilk olarak Karaboğa tarafından numerik optimizasyon problemlerine uygulanmış ve başarısı bilim insanları tarafından fark edilerek

farklı alanlarda ki problemlerin çözümünde kullanılmaya başlanmıştır. YAKA Türk Üniversiteleri'nden Scholarpedia'da yayınlanan ilk çalışma olmuştur. Ayrıca algoritma; sınırlamalı, sınırlamasız optimizasyon problemleri, karma problemler, mühendislik tasarım problemleri, YSA'ların eğitilmesi, yapısal optimizasyon, iş planlama vb. kullanılmıştır (Özdemir, 2013).

- Mühendislik tasarım problemleri
- Hastalık sınıflandırması
- Bilgisayar problemleri
- İstenmeyen sinyalleri bastırma
- Görüntü işleme
- İş planlama
- Yapısal optimizasyon
- Baraj sistemlerinin elastiklik modülü veya sertlik modülü gibi mekanik parametrelerinin belirlenmesi
- Uçaklarda hedef tanıma vb.

7. UYGULAMALAR

Bu tez çalışmasında YAKA kullanılarak DU veri kümelerinden parametre kestirimi gerçekleştirilmiştir. Uygulamada iki alan ve iki kuramsal veri değerlendirilmiştir. Kuramsal veri kümeleri sırasıyla bir ve iki eğimli levha tipi yapıların neden olduğu belirtileri kapsamaktadır. Hindistan'ın Rakha madenlerinin Surda bölgesinde Singhbum Cooper kuşağında ve güney Bavyera Ormanlarında (Almanya) bir grafit depoziti üzerinde ölçülen anomaliler, alan uygulamalarında kullanılmıştır (Reddi vd., 1982; Meiser, 1962).



Şekil 7. YAKA uygulamalarında kullanılan anomaliler a) Eğimli levha tipi bir yapının neden olduğu kuramsal anomali b) Eğimli levha tipi iki yapının neden olduğu kuramsal anomali c) Bavyera (Almanya) anomalisi d) Surda (Hindistan) anomalisi.

7.1. Kuramsal Anomaliler

7.1.1. Bir yapı içeren model

Şekil 1'de sunulan ve eğimli levha tipi bir yapının sebep olduğu anomaliyi üreten model parametreleri Çizelge 7.1'de verilmiştir. Tablo üzerinde, ayrıca, YAKA ile bu parametrelerin kestirilmesinde kullanılacak olan arama uzayı sınır değerleri de gösterilmiştir.

Çizelge 7.1. Eğimli levha tipi yapının neden olduğu anomaliyi üreten model parametreleri ve parametrelerin YAKA uygulamasında arama uzayı sınır değerleri

Açıklama	**Model parametreleri**				
	K**(mV)**	xo **(m)**	zo **(m)**	a	$\propto$ **(°)**
Doğru değer	50	50	10	5	30
Arama uzayı	25 | 100	25 | 100	5 | 20	0.5 | 10	15 | 60

- **Yanılgı Enerji Haritaları ve Parametre Ayrımlılığı**

Parametre belirsizlikleri yanılgı enerjisi haritalarındaki konturların şekillerinden tahmin edilmektedir (Başokur, 2001). Bu sebeple parametrelerdeki belirsizliklerin ve mevcut DU optimizasyon problemlerinin doğasını anlamak için maliyet-fonksiyon (cost-function) topoğrafyası araştırılmıştır (Fernández-Martínez vd., 2012).

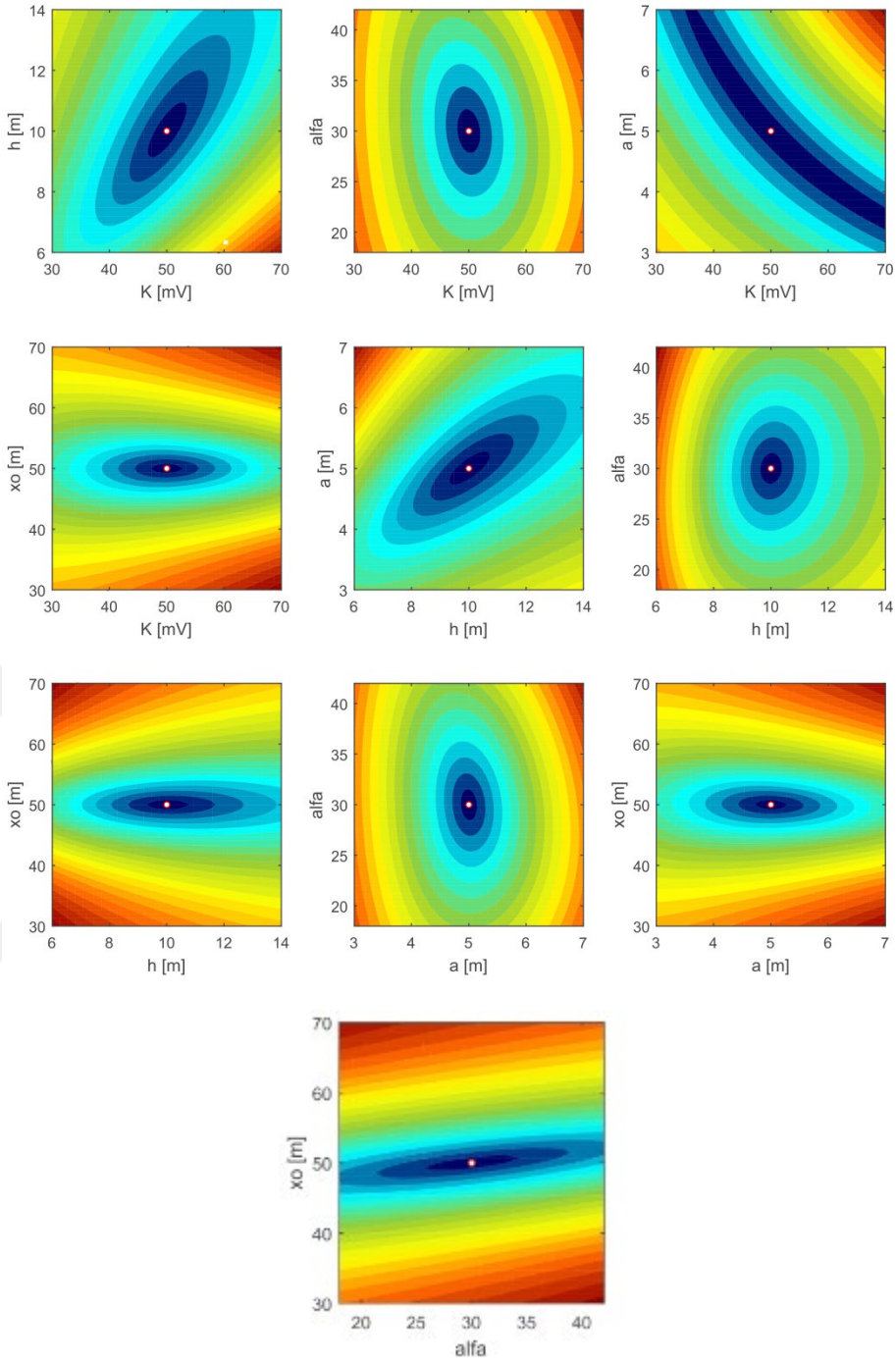
Dairesel şekillerdeki konturlar, parametrelerinin birbiri ile ilişkisiz olduğunu ve birbirinden bağımsız olarak çözülebileceğini göstermektedir. Yine, birinci veya ikinci parametre eksenine paralel, eliptik konturların oluşması durumunda, parametreler ayrı ayrı çözülebilir ve birbirleriyle ilişkili değildir. Bu parametrelerden biri daha geniş çözüm aralığına sahip olabilir ve daha az duyarlılıkla çözülebilir. Eliptik şekillerdeki konturların parametre eksenleri arasında bir açı olması durumunda parametreler arasında bir ilişki söz konusundur ve bir parametrenin çözümü diğer parametrenin çözümüne bağlıdır (Başokur,2001). Şekil 7.1'de DU optimizasyon problemi için hesaplanan yanılgı enerji haritaları gösterilmektedir. Yanılgı enerjileri aşağıdaki bağıntıdan yararlanarak hesaplanmıştır.

$$E = (d^{ölç} - d^{hes})^T (d^{ölç} - d^{hes})/Np \qquad (7.1)$$

$\boldsymbol{E}$ =Yanılgı Enerjisi

$\boldsymbol{d^{ölç}}$=ölçülen kuramsal

$\boldsymbol{d^{hes}}$=hesaplanan DU veri kümelerini göstermektedir.



Şekil 7.1. Kuramsal model için yanılgı enerjisi haritaları

Yanılgı enerjisi haritaları her bir parametre çifti için grafik eksenlerinde görülen parametre üst ve alt sınırlarında hesaplanmıştır. Diğer parametreler ise hesaplamada yanılgı enerjisi formülünde doğru model değerleri kullanılarak sabit olarak tutulmuştur.

Grafiklerin ortasında görülen ve global minimumu temsil eden beyaz yuvarlak noktalar parametre çiftlerinin doğru değerlerine karşılık gelmektedir. K–alfa, K–xo, h–alfa, α–alfa, h–xo ve alfa–xo için oluşturulan haritaların genel olarak, dairesel ve parametre eksenlerine paralel eliptik konturlar içerdikleri görülmektedir. Dolayısıyla, bu model parametreleri ilişkisiz ve birbirinden bağımsız olarak çözülebilir. Bununla birlikte $K-h$, $K-a$, $\alpha-xo$ ve $h-a$ parametre çiftleri için elde edilen haritalar dikkate alındığında konturların eksenlerinin parametre eksenlerine belirli bir açıda uzandıkları görülmektedir. Bu parametreler birbirleriyle ilişkilidir ve aralarındaki ilişki katsayısının negatif veya pozitif olmasına bağlı olarak toplamları veya farkları çözülebilir (Başokur, 2002).

- **YAKA Kontrol Parametrelerinin Ayarlanması**

YAKA ile model parametrelerinin kestirimi için en başta algoritmanın kendine has kontrol parametrelerini, mevcut optimizasyon problemine göre ayarlanmalıdır (parameter tuning). Ayarlama çalışması ile saptanan parametreler, algoritmanın başarısını önemli ölçüde etkilemiştir (Akkaş, 2019).

YAKA kullanılarak DU veri kümelerinden güvenilir bir parametre kestirimi sağlanabilmesi için araştırılan parametreler; sırayla, topluluk (popülasyon) sayısı (Np), YAKA yineleme (iterasyon) sayısı, YAKA besin kaynak sayısı, katsayıların ($coef$) çözüm üzerindeki etkisi, katsayı ve yinelemenin çözüm üzerindeki etkisi.

- **Topluluk sayısının çözüm üzerindeki etkisi**

Eğimli levha tipi yapıların kuramsal modeli oluşturan beş parametrenin (K, xo, zo, α, $\propto$) katları dikkate alınarak yapay arı koloni algoritması için popülasyon sayısının çözüm üzerindeki etkisi araştırılmıştır. Metasezgiseller bilindiği üzere, arama uzayında rastgele (random) örnekleme gerçekleştirir ve global minimum civarında çözümler üretmektedir. Başlangıç toplulukları da rastgele olarak bu arama uzayı sınırlarında üretilmektedir. Metasezgiseller bu nedenle her bir çalıştırmada farklı ancak birbirine yakın çözümler elde etmektedir. Dolayısıyla

metasezgiseller birden fazla çalıştırılarak, başlangıç topluluğu sayısının çözüm üzerindeki etkisinin istatiksel olarak araştırmamıza olanak sunar. Bu araştırmada, YAKA ve algoritmaları birbirinden bağımsız ve ardışık olarak 10 (N_run) kez çalıştırılırken maksimum iterasyon sayısı 500 olarak belirlenmiştir.

Başlangıç topluluğunun sırasıyla 20 (D×4), 40 (D×8), 60 (D×12), 80 (D×16), 100 (D×20) seçilmesiyle elde edilen araştırma bulguları çizelge 7.2'de verilmiştir. Değerlendirmede 10 ardışık çalıştırma (N_run) sonucunda YAKA kullanılarak elde edilen çözümlerin ürettiği ve RMS değerleri ve her bağımsız çalıştırmanın ortalama hesaplama (ort. hes.) süreleri (s) dikkate alınmıştır. Maksimum iterasyon sayısı 500 olarak belirlenmiştir. RMSdeğerleri eşitlik 7.2'de verilen yanılgı enerjisi bağıntısının karekökü alınarak elde edilmiştir.

Çizelge 7.2. Çeşitli topluluk sayıları kullanılarak elde edilen çözümlerin ürettiği RMS değerleri ve ortalama hesaplama süreleri (N_run: 10, $MaxIt$: 500).

Np	Limit	Yineleme	*RMS*				Ort.	Ort. hes.
			Min.	Max.	Ort.	S.S.	Limit	Süre[s]
20	60	500	0.021	0.213	0.11	0.054	17.5	3.34
40	120	300	0.0267	0.1	0.0612	0.0258	1	3.8
60	180	500	0.0117	0.0635	0.0365	0.0147	3.7	9.19
80	240	500	0.0168	0.0603	0.0401	0.0143	1.4	12.1
100	300	500	0.00893	0.0563	0.0317	0.0141	0.4	14.85

Çizelgede sunulan sonuçlar incelendiğinde YAK algoritmasının topluluk sayısının 100 (D×20) olması durumunda daha verimli sonuçlar ürettiği görülmüştür. Bununla birlikte topluluk sayısının artması her bir ajanın temsil ettiği çözüm vektörü için amaç fonksiyonunun da ayrıca hesaplanmasını gerektirmektedir. Bu da hesaplama maliyetinin görece artmasına neden olmaktadır. Bu nedenle, her iki algoritmanın izleyen uygulamalarında topluluk sayısı 100 (D×20) olarak seçilmiştir.

- **YAKA/ iterasyon sayısının çözüm üzerindeki etkisi**

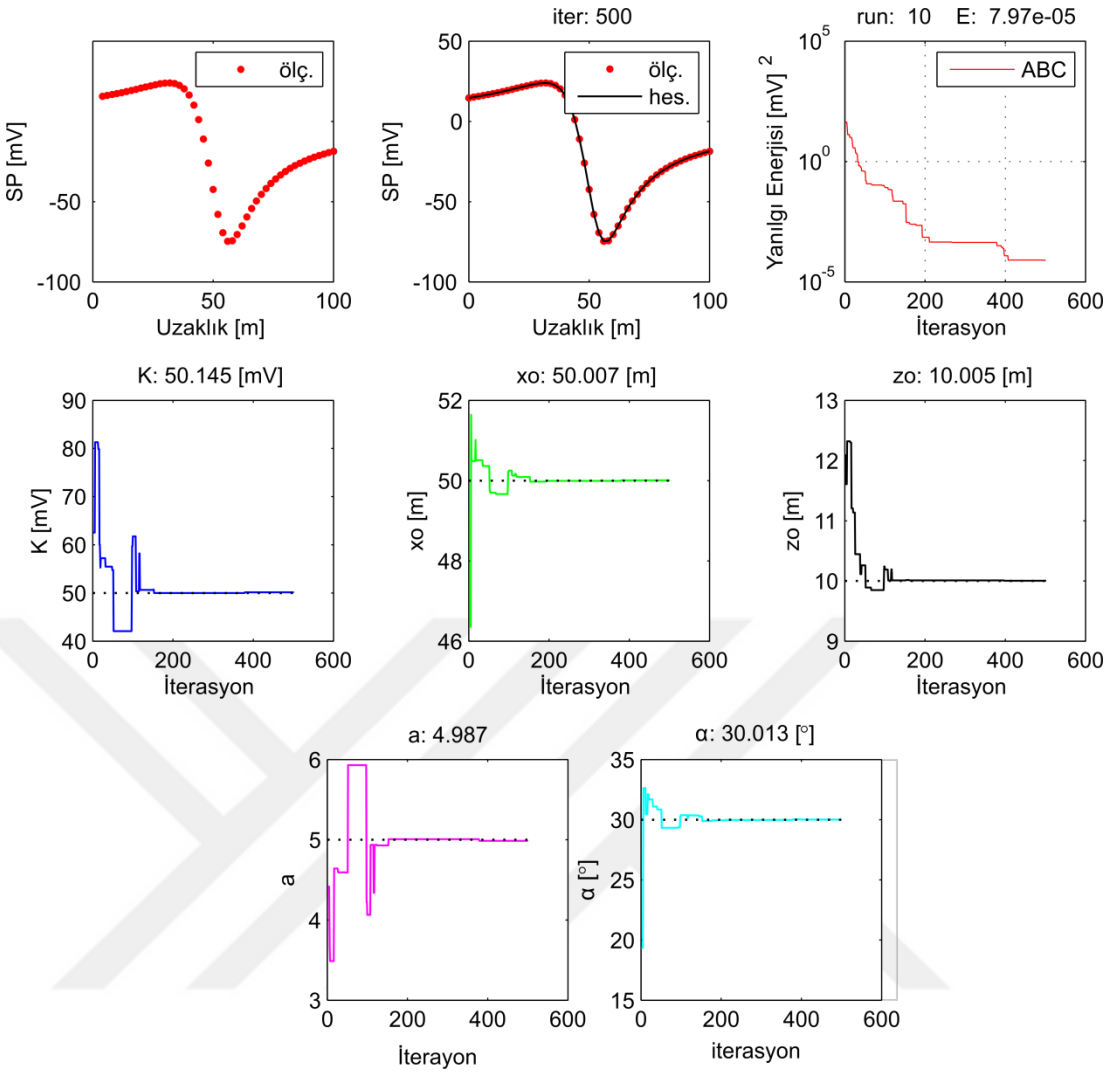
Metasezgisel algoritmaların, optimizasyon sürecindeki iterasyon sayıları elde edilen model parametrelerinin kalitesini etkilemektedir. Bununla birlikte, iterasyon sayısının artması hesaplama maliyetinin de artmasına neden olmaktadır. Bu nedenle, yapay arı koloni algoritmasının DU anomalilerinden

parametre kestirimi için optimum iterasyon sayısı araştırılmıştır. Araştırmada kullanılan yineleme (iterasyon) sayıları sırasıyla 200, 300, 500, olarak seçilmiştir. Algoritmaların 10 ardışık bağımsız çalışmasından elde edilen RMS sonuçları Çizelge 7.3'de verilmiştir ve Çizelge 7.4'de ise en iyi çözümün $K, xo, zo, a\ ve\ \propto$ parametreleri verilmiştir. Başlangıç toplulukları 100 (D×20) ajandan oluşturulmuştur.

Çizelge 7.3. Çeşitli iterasyon (yineleme) sayıları kullanılarak elde edilen çözümlerin ürettiği RMSdeğerleri ve ortalama hesaplama süreleri (N_run: 10, Np: 100)

Limit	Yineleme	*RMS*			
		Min.	Max.	Ort.	S.S.
0	200	0.545	4.4	2.07	1.22
0×5×100	300	1.04	3.01	1.78	0.622
	500	0.846	2.1	1.42	0.496
5	200	1.2	2.45	1.84	0.379
0.01×5×100	300	0.943	2.45	1.87	0.449
	500	0.643	2.41	1.46	0.624
25	200	0.293	1.25	0.862	0.257
0.05×5×100	300	0.371	1.18	0.78	0.304
	500	0.339	0.772	0.457	0.133
50	200	0.2	0.768	0.489	1.64
0.1×5×100	300	0.212	0.675	0.353	0.163
	500	0.0541	0.391	0.276	0.116
100	200	0.139	0.483	0.367	0.106
0.2×5×100	300	0.16	0.418	0.278	0.0974
	500	0.0571	0.464	0.157	0.115
200	200	0.0771	0.349	0.213	0.0983
0.4×5×100	300	0.122	0.521	0.262	0.134
	500	0.0429	0.214	0.111	0.0661
300	200	0.0135	0.757	0.357	0.196
	300	0.127	0.365	0.191	0.0827
	500	0.0519	0.211	0.11	0.0486
300	200	0.0504	0.19	0.116	0.0455
0.6×D×Np	300	0.0136	0.116	0.0531	0.0335
	500	0.00893	0.0563	0.0317	0.0141

Sonuçlar incelendiğinde, çizelge içerisindeki kırmızı olarak gösterilen yineleme değeri 500 seçildiğinde daha başarılı sonuçlar elde edildiği görülmektedir.

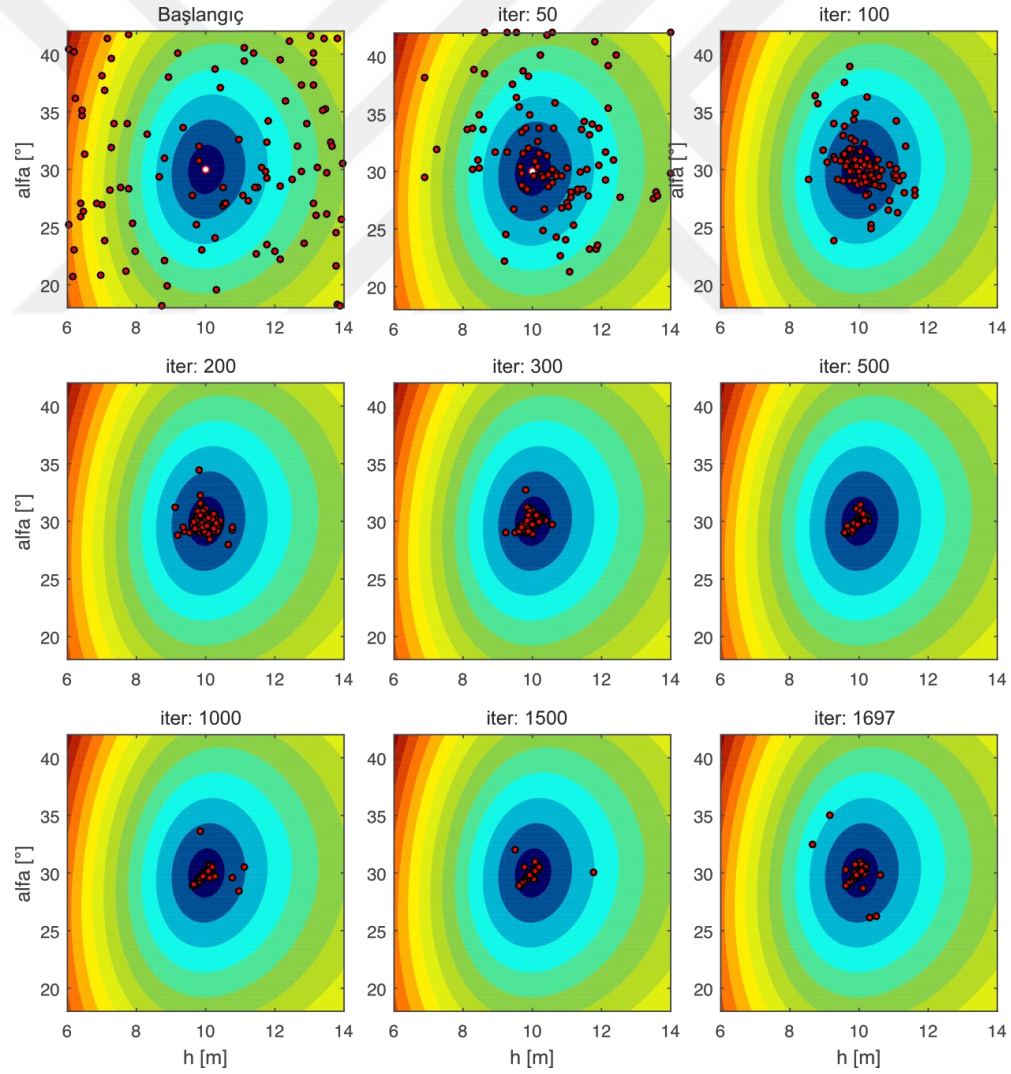


Şekil 7.2. Kuramsal model için çeşitli yineleme sayıları kullanılarak elde edilen en iyi çözümler.

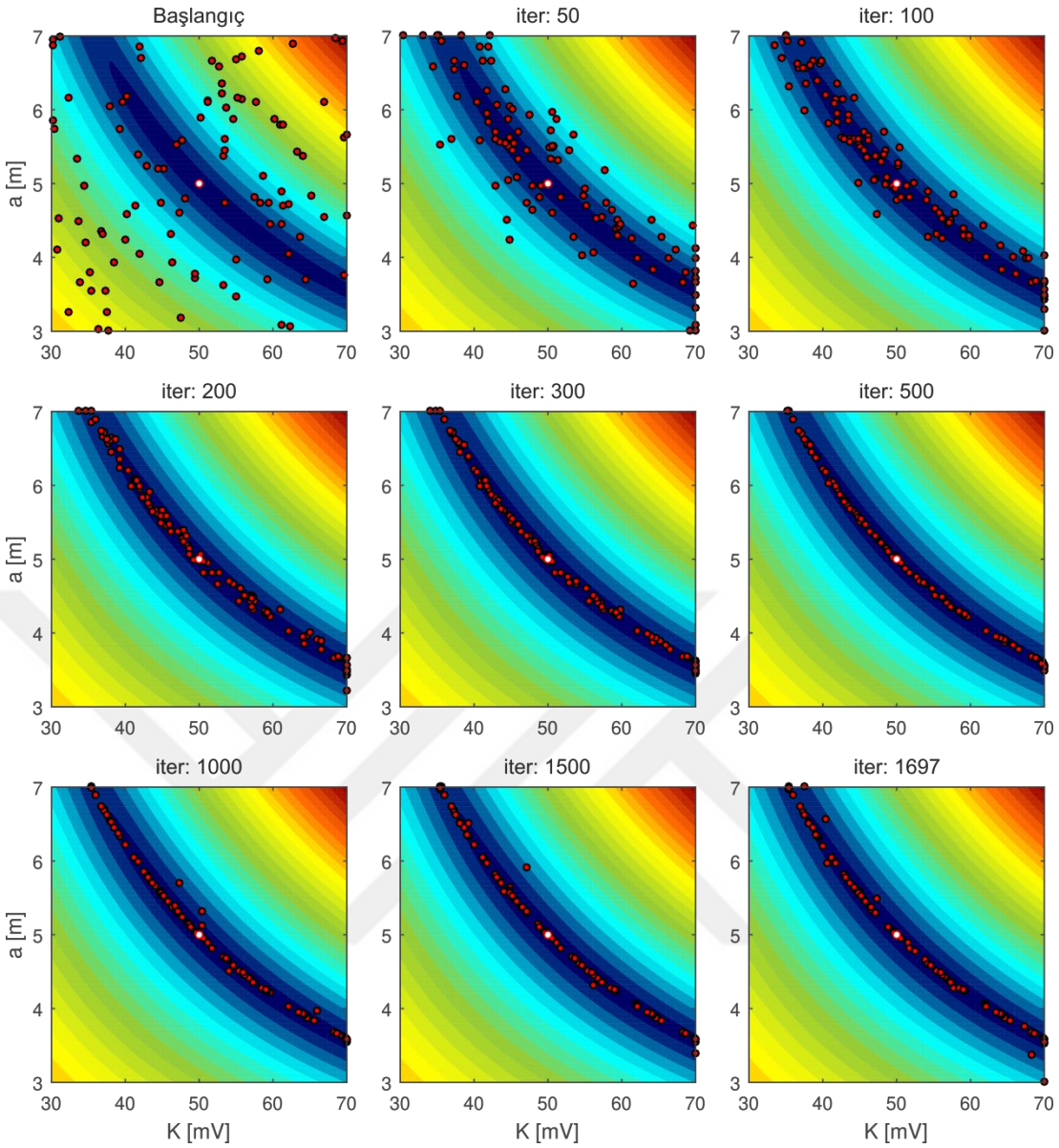
Çizelge 7.4. Çeşitli yineleme sayıları kullanılarak elde edilen çözümlerin araştırılmasında elde edilen en iyi sonucunun $K, xo, zo, a\ ve\ \propto (°)$ parametrelerinin değerleri (N_run:30, Np:100, coef:2)(Limit 300(0,6 x D x Np))

Algoritma	**Kestirilen parametreler**					***RMS* (mV)**
Yinileme	***K*(mV)**	***xo* (m)**	***zo* (m)**	***a***	**∝ (°)**	
200	49.295	49.962	9.989	5.076	29.923	5.036e-02
300	49.564	49.988	9.992	5.042	29.983	1.355e-02
500	50.145	50.007	10.005	4.987	30.013	8.929e-03

Sonuçlar incelendiğinde çizelge içerisindeki kırmızı renkle gösterilen 500 yinelemeye sahip çözüm en iyi değer olarak belirlenmiştir. Bununla birlikte, algoritmaların her bir bağımsız çalıştırmasında geçen süre de iterasyon sayındaki artışla doğru orantılı olarak artmaktadır. Bu nedenle, özellikle elde edilen $min\ RMS$ değerleri de dikkate alınarak farklı yineleme sayısı arama uzayında global minimuma yaklaşma karakteristiği ayrıca irdelenmiştir. Bu amaç doğrultusunda $h{-}\propto$ (Şekil 7.3) ve $K-a$ (Şekil 7.4) parametre çifti için üretilen yanılgı enerjisi haritası üzerinde $YAKA$ yaklaşımlarının 30 bağımsız çalıştırmasından elde edilen en iyi parametre değerleri gösterilmiştir. YAKA yaklaşımında, şekil içerisindeki içi mavi dairelerle izlenen çözümler dikkate alındığında yineleme sayısı 500 durumunda en başarılı çözümler üretebilmiştir.



Şekil 7.3. Çesitli yineleme değerlerinde YAKA yaklaşımlarından elde edilen h ve $\propto$ parametrelerinin yanılgı enerjisi haritaları üzerindeki gösterimi.



Şekil 7.4. Çesitli yineleme değerlerinde YAKA yaklaşımlarından elde edilen K ve a parametrelerinin yanılgı enerjisi haritaları üzerindeki gösterimi.

- **YAKA/ Besin Kaynak sayısının çözüm üzerindeki etkisi**

Metasezgisel algoritmaların besin kaynak sayılarının çözüm üzerindeki etkisini araştırmak amacıyla coefficient (katsayı) değerini ve yineleme değerini 3000 olarak sabit tutulup 30 tekrar ile besin kaynaklarını sırayla 10, 20, 30, 40, 50, 60, 70 olarak seçilmiştir. Çözümler doğrultusunda en iyi sonuç Çizelge 7.5'te verilmiştir. Çizelge 7.6'da en iyi çözümün $K, xo, zo, a\ ve\ \propto (°)$ parametreleri verilmiştir.

Çizelge 7.5. Çeşitli besin kaynak sayıları kullanılarak elde edilen çözümlerin standart sapma (SD) değerleri ve ortalama hesaplama süreleri (N_run:30, Np:100, coef:2)

Yaklaşım	Yineleme	Min.	Max.	Ort.	S.S.	Ort. hes. süresi (s)
foodNo_Np_01	3000	0.00641	0.0326	0.0161	0.0682	73.73
foodNo_Np_02	3000	0.00325	0.0306	0.012	0.00628	77.42
foodNo_Np_03	3000	0.00206	0.0245	0.0131	0.00584	80.01
foodNo_Np_04	3000	0.00343	0.0282	0.0133	0.0057	87.57
foodNo_Np_05	3000	0.00247	0.0255	0.014	0.00637	86.18
foodNo_Np_06	3000	0.00276	0.0315	0.0104	0.00681	92.29
foodNo_Np_07	3000	0.00639	0.0263	0.0129	0.00607	98.41

Elde edilen sonuçlar arasında foodNo_Np_03 yaklaşımı ile doğru parametrelere yakın değerler üretmiştir.

Çizelge 7.6. Çeşitli besin kaynak sayıları kullanılarak ulaşılan çözümlerin araştırılmasında elde edilen en iyi sonucunun $K, xo, zo, a\ ve\ \propto (°)$ parametrelerinin değerleri (N_run:30, Np:100, Coef:2)

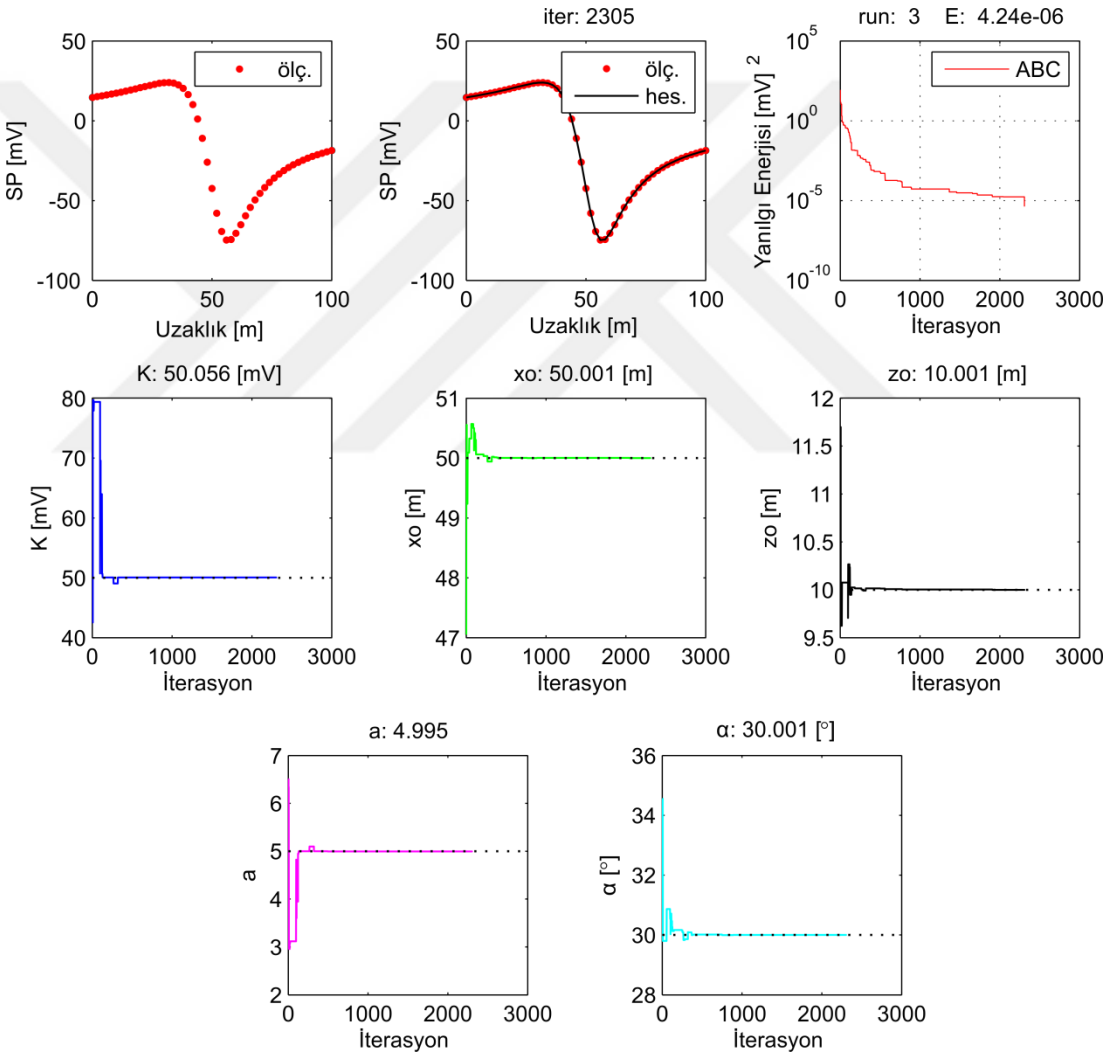
Algoritma	**Kestirilen parametreler**					**RMS (mV)**
Yinileme	**K(mV)**	**xo (m)**	**zo (m)**	**a**	**$\propto$ (°)**	
3000	50.056	50.001	10.001	4.995	30.00	2.058e-0

- **YAKA/Arama uzayının (coef) çözüm üzerindeki etkilesi**

Metasezgisel algoritmaların katsayılarının çözüm üzerindeki etkisini araştırmak amacıyla besin kaynak sayısını en iyi değer olan 30 seçilmiştir, limit değeri 300, yineleme değerini 3000 olarak sabit tutulmuştur ve 30 tekrar ile Coef değerlerini sırayla Coef_2, Coef_3, Coef_5, Coef_7, Coef_10, Coef_15 ve Coef_20 olarak seçilmiştir. Çözümler doğrultusunda en iyi sonuç Çizelge 7.7.'de verilmiştir. Çizelge 7.6'da K, xo, zo, a ve $\propto$ (°) parametrelerinin en iyi değerleri verilmiştir.

Çizelge 7.7. Çeşitli besin kaynak sayıları kullanılarak elde edilen çözümlerin standart sapma (SS) değerleri ve ortalama hesaplama süreleri (N_run:30, Np:100) (N_run:30, Np:100, Coef:2)

Yaklaşım	Yineleme	Min.	Max.	Ort.	S.S.	Ort. hes. süresi (s)
Coef_2	3000	0.00206	0.0245	0.0131	0.00584	80.01
Coef_3	3000	0.00478	0.0819	0.0234	0.0149	79.84
Coef_5	3000	0.00916	0.108	0.0531	0.0244	79.5
Coef_7	3000	0.00997	0.178	0.07	0.0415	80.87
Coef_10	3000	0.0371	0.264	0.128	0.0627	81.06
Coef_15	3000	0.0817	0.818	0.333	0.188	81.32
Coef_20	3000	0.0822	0.914	0.425	0.241	81.48



Şekil 7.5. Çeşitli besin kaynak sayıları kullanılarak elde edilen en iyi çözümler.

- **YAKA/Arama uzayı (coef) ve yineleme sayılarının çözüm üzerindeki etkileri**

Metasezgisel algoritmaların katsayılarının ve yineleme sayılarını çözüm üzerindeki etkisini araştırmak amacıyla besin kaynak sayısını en iyi değer olan 30 seçilmiştir, 30 tekrar ile çözümlenen sonuçlar için sırayla yineleme değerleri 300, 500, 1000, 2000, 3000 ve coef değerlerini sırayla Coef_2, Coef_3, Coef_5, Coef_7, Coef_10, Coef_15 ve Coef_20 olarak seçilmiştir. Çözümler doğrultusunda en iyi sonuç Çizelge 7.8.'de verilmiştir. Çizelge 7.9'da en iyi çözümün **K, xo, zo, a ve** $\propto$ (°) parametreleri verilmiştir.

Yineleme sayısı 3000 olan değerler daha iyi bir konfigürasyona sahip bir PC'de çalıştırılmıştır.

Çizelge 7.8. Çeşitli yineleme değerleri ve $coef$ değerleri ile elde edilen çözümlerin standart sapma (SD) değerleri ve ortalama hesaplama süreleri (N_run:30, Np:100)

	Yineleme	Min.	Max.	Ort.	S.S.	Ort. hes. süresi (s)
Coef_5	300	0.114	0.482	0.276	0.104	11.68
Coef_5	500	0.021	0.289	0.130	0.0529	19.46
Coef_5	1000	0.0232	0.172	0.069	0.0383	38.54
Coef_5	**2000**	**0.0145**	**0.0815**	**0.0444**	**0.0174**	**75.80**
Coef_5	3000	0.00769	0.137	0.0328	0.0246	112.61

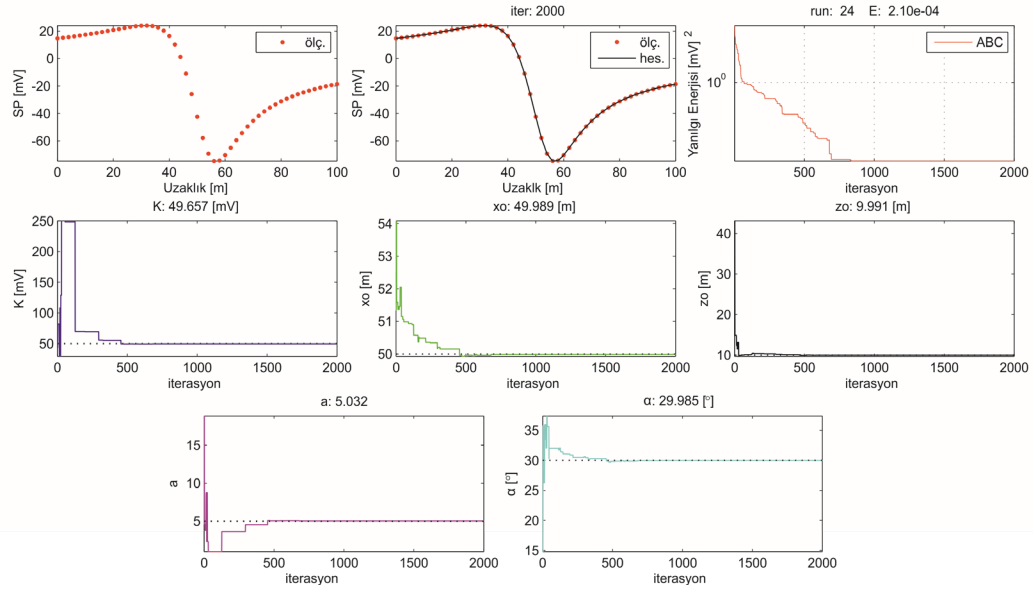
	Yineleme	Min.	Max.	Ort.	S.S.	Ort. hes. süresi (s)
Coef_10	300	0.254	0.787	0.582	0.168	11.49
Coef_10	500	0.133	0.532	0.3	0.115	18.95
Coef_10	1000	0.0159	0.217	0.105	0.0601	37.24
Coef_10	2000	0.0091	0.173	0.0702	0.0407	74.76
Coef_10	3000	0.0178	0.15	0.0515	0.0306	120.62

	Yineleme	Min.	Max.	Ort.	S.S.	Ort. hes. süresi (s)
Coef_15	300	0.444	0.798	0.718	0.0967	11.45
Coef_15	500	0.225	0.76	0.495	0.195	19.06
Coef_15	1000	0.0583	0.511	0.229	0.13	37.44
Coef_15	2000	0.0257	0.195	0.0968	0.0401	73.65
Coef_15	3000	0.0233	0.233	0.084	0.043	110.19

Yaklaşım	Yineleme	Min.	Max.	Ort.	S.S.	Ort. hes. süresi (s)
Coef_20	300	0.516	0.93	0.764	0.0742	11.66
Coef_20	500	0.268	0.801	0.642	0.15	18.98
Coef_20	1000	0.113	0.698	0.303	0.149	37.70
Coef_20	2000	0.0369	0.401	0.142	0.0821	74.61
Coef_20	3000	0.0438	0.33	0.128	0.0777	111.22

Çizelge 7.9. Farklı arama uzayı ve yineleme sayıları kullanılarak ulaşılan çözümlerin araştırılmasında elde edilen en iyi sonucunun $K, xo, zo, a\ ve\ \propto (^{o})$ parametrelerinin değerleri. (N_run:30, Np:100)

Algoritma		**Kestirilen parametreler**					***RMS* (mV)**
Coef	**Yinileme**	***K*(mV)**	***xo* (m)**	***zo* (m)**	***a***	**∝ (°)**	
Coef_5	2000	49.657	49.989	9.991	5.032	29.985	2.102e-04
Coef_10	3000	49.721	49.988	10	5.031	29.966	3.175e-04
Coef_15	3000	49.591	49.985	10.005	5.045	29.977	5.426e-04
Coef_20	3000	49.524	49.976	10.006	5.055	29.916	1.919e-03



Şekil 7.6. Farklı arama uzayı ve yineleme sayıları kullanılarak elde edilen en iyi çözümler.

7.1.2. İki yapı içeren model

Eğimli levha tipi yapıların neden olduğu kuramsal anomali üzerinde gerçekleştirilen araştırmalar sonucunda YAKA için optimum parametreler belirlenmiştir. Elde edilen verimli sonuçlar doğrultusunda iki yapılı kuramsal

veri üzerinde de uygulanmıştır. Her iki yapı için model parametreleri ve arama uzayı limitleri Çizelge 7.9. 'da verilmiştir.

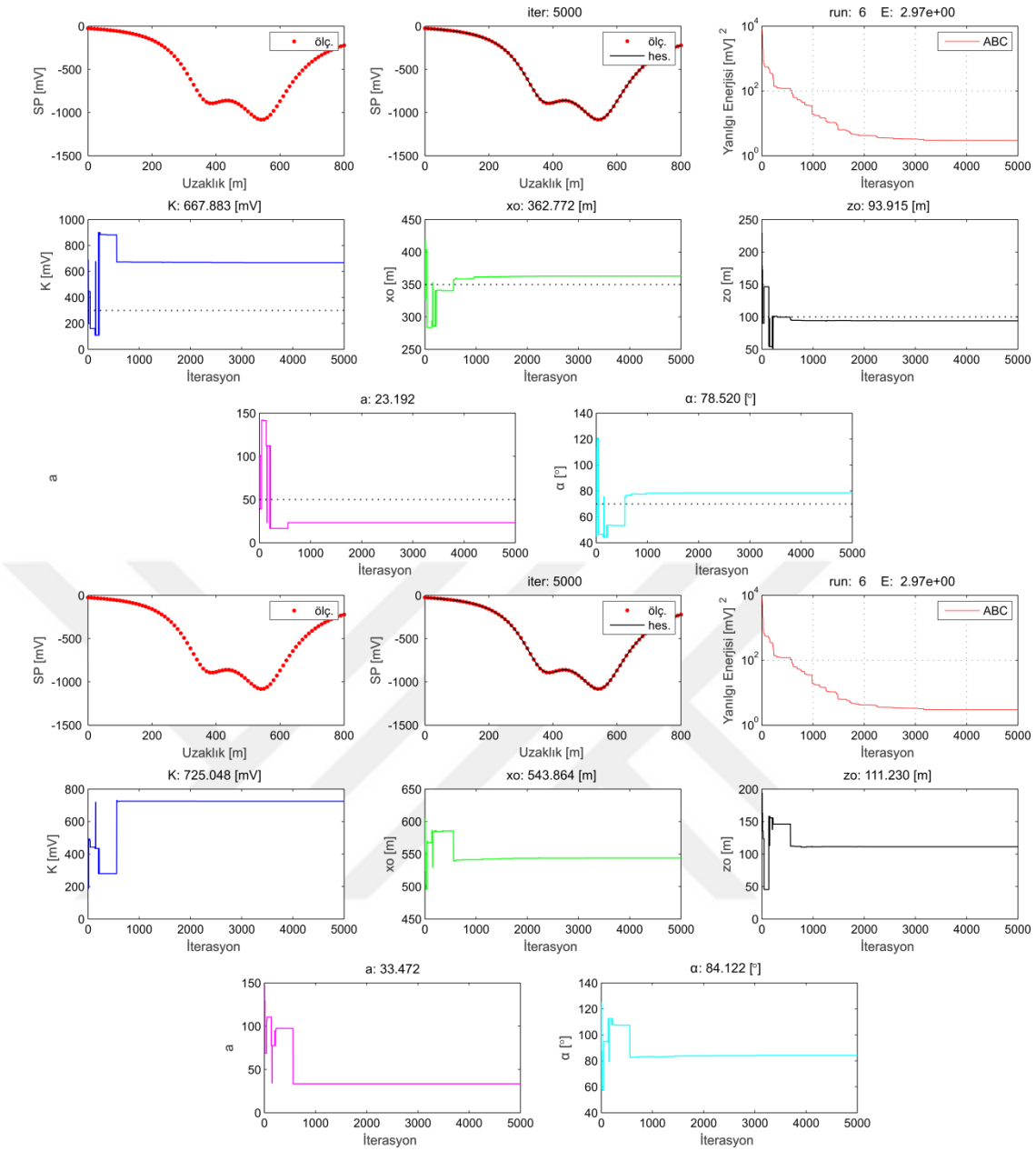
Çizelge 7.10. İki yapı içeren model parametreleri ve arama uzayı değerleri

Yapı no	**Açıklama**	**Model parametreleri**				
		K**(mV)**	xo **(m)**	zo **(m)**	a	$\propto$ **(°)**
1	Doğru değer	300	350	100	50	70
	Arama uzayı	100 | 900	250 | 450	33.3 | 300	16.7 | 150	0 | 180
2	Doğru değer	500	550	120	50	90
	Arama uzayı	166.7| 1500	450 | 650	4 0| 360	16.7 | 150	0 | 180

Metasezgisel uygulamalar için yineleme sayısı 5000, Food_No 60 seçilirken başlangıç topluluğu 200 (D×40) ajandan oluşturulmuştur. Uygulamasında ise tol: 1e-03 algoritmayı durdurma ölçütü olarak kullanılmıştır. Uygulama sonucu elde edilen değerler Çizelge 7.10.'da verilmiştir. Çizelgede metasezgisel yaklaşımlar için sunulan ve 10 bağımsız çalıştırmanın sonucunda elde edilmiştir.

Çizelge 7.11. İki yapı içeren kuramsal model için elde edilen sonuçlar (food_No:60, N_run:10, Np:200)

İter	**Yapı no**	**Kestirilen parametreler** K**(mV)**	xo **(m)**	zo **(m)**	a	$\propto$ **(°)**	RMS **(mV)**	**Lim_count**
5000	1	552.4	367.521	94.596	29.144	83.532	13.76	1
	2	1439.565	539.345	105.862	16.667	79.833		
5000	1	352.767	351.927	89.923	37.248	72.371	32.78	0
	2	669.818	546.281	546.281	122.45	89.8		
5000	1	758.05	354.554	85.394	16.916	72.088	29.14	1
	2	559.084	549.887	124.671	48.272	90.922		
5000	1	445.077	362.560	33.333	93.521	86.466	7.575	0
	2	1482.581	542.406	109.354	16.667	83.498		
5000	1	558.744	361.254	91.423	25.895	77.135	20.21	0
	2	420.057	543.021	61.122	123.284	87.747		
5000	1	667.883	362.772	93.915	23.192	78.520	2.966	1
	2	725.048	543.864	111.23	33.472	84.122		
5000	1	253.981	331.435	95.31	53.204	52.905	27.04	1
	2	278.595	578.981	151.587	102.644	104.616		
5000	1	296.410	351.673	103.042	53.288	72.299	4.785	1
	2	1117.047	547.976	110.311	21.394	87.889		
5000	1	409.561	357.087	89.112	32.853	75.147	23.37	1
	2	452.644	544.705	125.915	59.074	87.542		
5000	1	340.952	344.422	94.812	40.546	63.165	17.42	1
	2	392.143	560.054	131.831	67.777	96.474		



Şekil 7.7. İki yapı içeren kuramsal anomali ile YAKA yaklaşımından elde edilen en iyi çözümler.

- **Gürültü İçeriği**

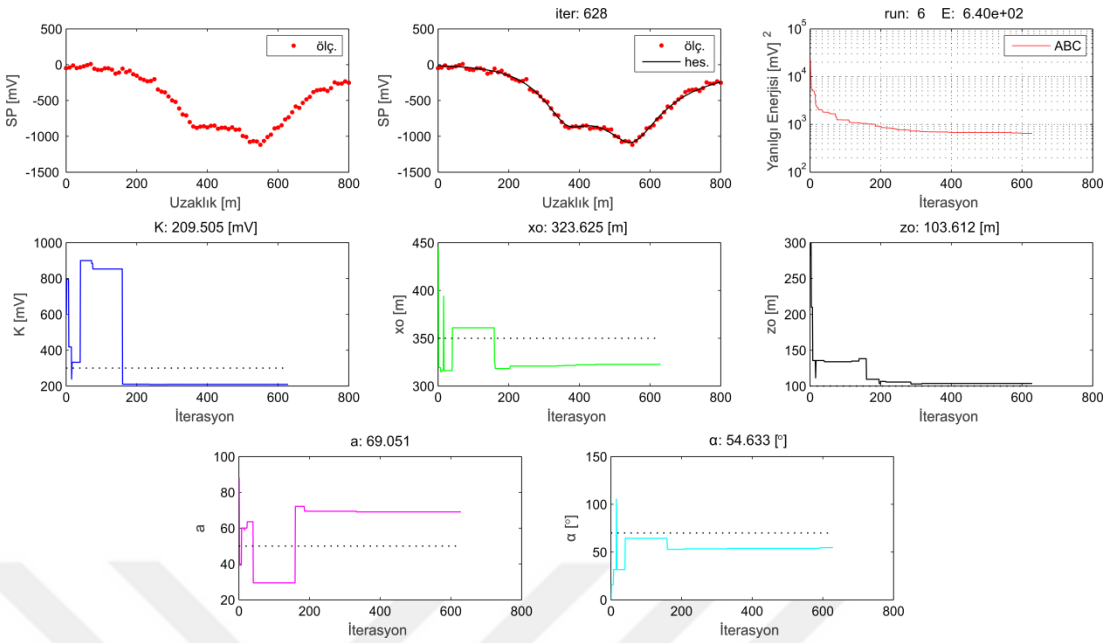
Gürültü içeriğine sahip algoritmaların çözüm kalitesindeki değişimlerinin araştırılması için kuramsal veri kümesine sıfır oratalamaya sahip, standart sapma (S.S.) değeri ±25mV sahip rastgele değerler eklenmiştir. Bu çalışmada, iki yapı içeren eğimli levha tipi yapıların gürültü içeriğinin etkisi araştırılırken yineleme sayısı 5000, Food_No 60 seçilmiş, başlangıç topluluğu 200 (D ×40) ajandan oluşturulmuştur. Uygulamasında ise tol: 6e+02 algoritmayı durdurma ölçütü

olarak kullanılmıştır. Uygulama sonucu elde edilen değerler Çizelge 7.11.'da verilmiştir. Çizelgede metasezgisel yaklaşımlar için sunulan ve 10 bağımsız çalıştırmanın sonucunda elde edilmiştir.

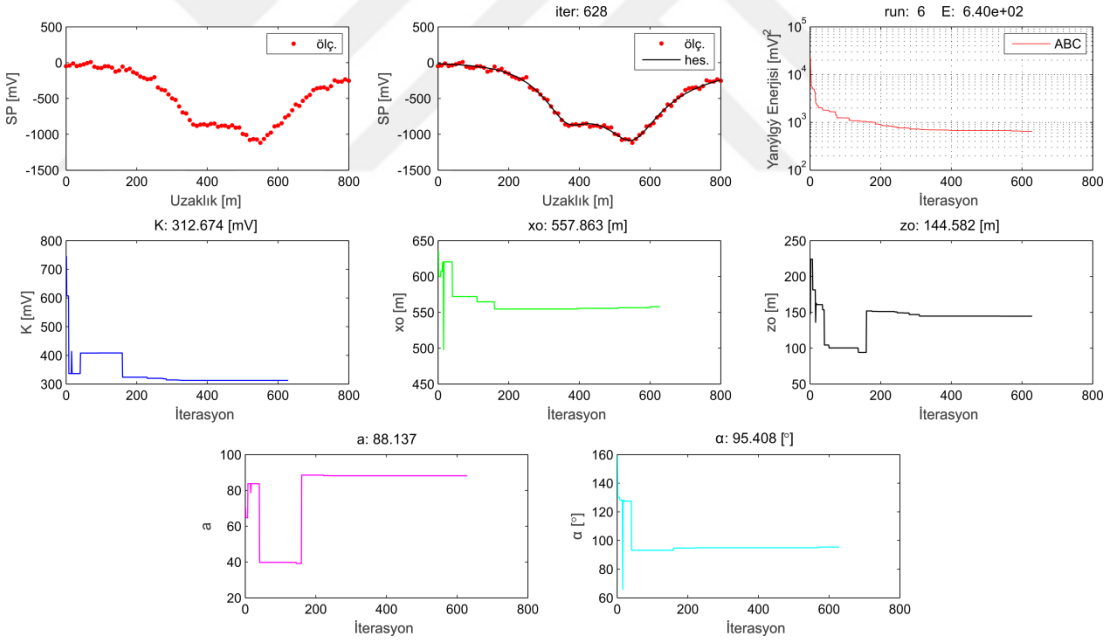
Çizelge 7.12. Gürültü içeriğine sahip iki yapılı kuramsal model için elde edilen sonuçlar (food_No:60, N_run:10, Np:200)

Algoritma	**İ*ter***	**Yapı no**	**Kestirilen parametreler**						
			***K*(mV)**	***xo* (m)**	***zo* (m)**	***a***	**∝ (°)**	***RMS* (mV)**	**Lim_count**
YAKA	2896	1	558.036	359.195	91.844	25.682	76.641	645.8	0
		2	383.342	538.328	128.449	69.218	83.215		
	1479	1	893.213	362.256	96.979	18.852	78.756	642.5	0
		2	1066.597	538.125	106.504	21.914	78.712		
	3347	1	429.491	358.051	101.883	38.471	75.4	646.1	0
		2	418.922	537.613	118.948	57.966	80.931		
	744	1	900	368.031	94.002	17.782	82.381	645.8	0
		2	798.095	543.789	108.421	30.278	80.593		
	909	1	730.184	363.430	106.235	25.825	77.658	646.7	0
		2	1074.167	541.454	103.151	20.035	78.835		
	628	1	209.505	323.625	103.612	69.051	54.633	639.9	0
		2	312.674	557.863	144.582	88.137	95.408		
	380	1	187.084	320.448	102.908	74.149	55.587	644.3	0
		2	540.207	555.6	130.893	50.651	96.08		
	608	1	205.965	330.285	112.467	76.128	60.219	646.7	0
		2	531.85	555.242	123.477	47.910	93.931		
	1041	1	892.130	348.682	97.754	16.667	62.001	646.5	0
		2	269.385	558.964	148.611	99.905	93.761		
	1095	1	703.661	360.285	106.401	25.266	73.419	640.5	0
		2	561.823	545.7	40	112.606	87.611		

a)



b)



Şekil 7.8. Gürültü içeren iki yapılı kuramsal anomali ile YAKA yaklaşımından elde edilen en iyi çözümler.

7.2. Arazi Anomalileri

Bu tez çalışması kapsamında, Surda (Hindistan) ve ve güney Bavyera Ormanlarında bir grafit depoziti üzerinde ölçülen anomaliler (Meiser, 1962)

üzerinde uygulanmıştır. Değerlendirmede kullanılan parametre arama uzayları aşağıdaki çizelgede verilmiştir.

Çizelge 7.13. Bavyera ve Surda anomalilerinin değerlendirilmesinde kullanılan arama uzayı sınırları

Anomali	**Model parametreleri**				
	K**(mV)**	xo **(m)**	zo **(m)**	a	$\propto$ **(°)**
Bavyera	10 | 300	-50 | 50	10 | 100	10 | 200	0 | 180
Surda	1 | 500	-150 | 100	1 | 50	1 | 50	1 | 180

7.2.1. Bavyera Anomalisi

Alan verilerinin birinci örneği, Meiser (1962) tarafından güney Bavyera (Almanya) ormanlarında bir grafit yatağı üzerinde ölçülen bir DU anomalisi için gerçekleştirilmiştir. Genel olarak negatif DU değerleri sunan ve 520 m uzunluğundaki bir profil üzerinde ölçülen anomali yaklaşık olarak -520 ve 90 mV değerlerinde genlikler sunmaktadır.

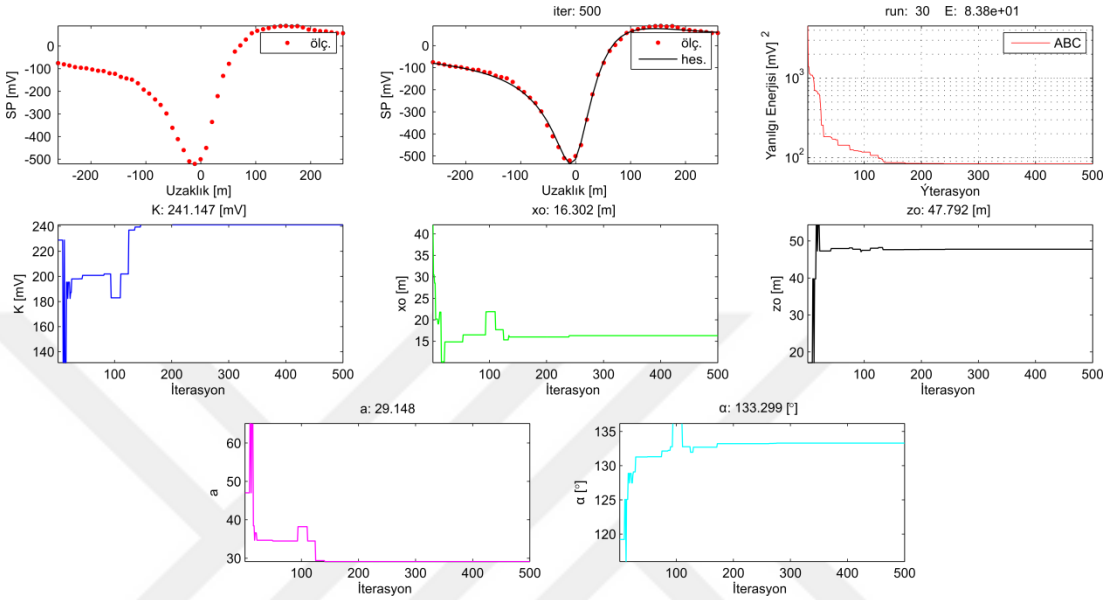
Metasezgisel uygulamalar için yineleme sayısı 500, Food_No 30 seçilirken başlangıç topluluğu 100 (D×20) ajandan oluşturulmuştur. Uygulamasında ise tol: 9e+00 algoritmayı durdurma ölçütü olarak kullanılmıştır. Uygulama sonucu elde edilen en iyi değerler olan 30. çözüm değerleri Çizelge 7.14.'de verilmiştir. Çizelge 7.15.'de RMS ve ortalama hesaplama süreleri verilirken Şekil 7.9.'da Bavyera anomalisi ile YAKA yaklaşımından elde edilen çözümler verilmiştir ve Çizelge 7.16.'da ise önceki çalışmalar ile kıyaslanması yapılmıştır.

Çizelge 7.14. Bavyera anomalisinin değerlendirilmesinde kullanılan parametrelerin en iyi sonuçları.

Anomali	**Model parametreleri**					
	K**(mV)**	xo **(m)**	zo **(m)**	a	$\propto$ **(°)**	$_{RMS\text{(mV)}}$
Bavyera	241.147	16.302	47.792	29.148	133.299	83.78

Çizelge 7.15. Bavyera anomalisinin ortalama RMS değerleri ve ortalama hesaplama süreleri (s) (food_No:30, N_run:30, Np:100)

Limit	Yineleme	Min.	Max.	Ort.	S.S.	Ort. hes. süresi (s)	Tol.
300	500	0.0317	9.31	9.15	0.0317	18.80	9e+00



Şekil 7.9. Bavyera anomalisi ile YAKA yaklaşımından elde edilen çözüm

Çizelge 7.16. Bavyera anomalisi için YAKA yaklaşımından elde edilen mevcut çalışmanın ve *VFSA*, *PSO* ve NN metasezgiselleri kullanılarak elde edilen önceki çalışmanın sonuçları.

Anomali	**Model parametreleri**					
	***K*(mV)**	***xo* (m)**	***zo* (m)**	***a***	**∝ (°)**	***RMS*(mV)**
Meiser (1962)	–	53	–	–	–	–
Abdelrahman vd. (2013)	–	51.9	–	–	–	–
Sharma ve Biswas (2013)	158.3 ± 3.1	50.9 ± 0.3	134.3 ± 0.2	44.6 ± 0.8	20.5 ± 0.4	16.6
Mehanee (2014)	27105	46	57	–	–	–
Di Maio vd. (2016)	– 230	49	46	31	278	32.8
Bu çalışma	241.147	16.302	47.792	29.148	133.299	83.78

7.2.2. Surda Anomalisi

Alan verilerinin ikinci örneği, Hindistan'ın Rakha madenlerinin Surda bölgesinde Singhbum Cooper kuşağında gözlemlenen DU anomalilerini içermektedir (Murthy vd., 2005; El-Kaliouby and Al-Garni 2009).

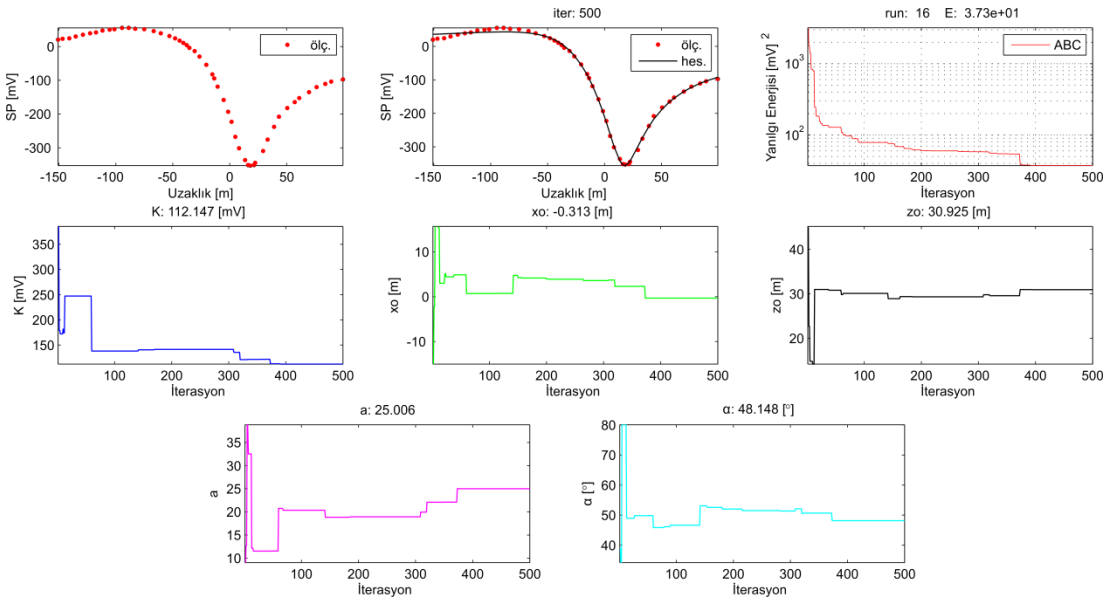
Metasezgisel uygulamalar için yineleme sayısı 500, Food_No 30 seçilirken başlangıç topluluğu 100 (D×20) ajandan oluşturulmuştur. Uygulamasında ise tol: 9e+00 algoritmayı durdurma ölçütü olarak kullanılmıştır. Uygulama sonucu elde edilen en iyi değerleri olan 16. çözüm değerleri Çizelge 7.17.'de verilmiştir. Çizelge 7.18.'de RMS ve ortalama hesaplama süreleri verilirken Şekil 7.10.'da Surda anomalisi ile YAKA yaklaşımından elde edilen çözümler verilmiştir ve Çizelge 7.19.'da ise önceki çalışmalar ile kıyaslanması yapılmıştır.

Çizelge 7.17. Surda belirtisinin değerlendirilmesinde kullanılan parametrelerin en iyi sonuçları.

Anomali	**Model parametreleri**					
	K**(mV)**	xo **(m)**	zo **(m)**	a	∝ **(°)**	RMS**(mV)**
Surda	112.147	-0.313	30.925	25.006	48.148	37.35

Çizelge 7.18. Surda anomalisinin ortalama RMS değerleri ve ortalama hesaplama süreleri (s) (food_No:30, N_run:30, Np:100)

Limit	Yineleme	Min.	Max.	Ort.	S.S.	Ort. hes. süresi (s)	Tol.
300	500	6.11	7.37	6.41	0.303	19.20	9e+00



Şekil 7.10. Surda anomalisi ile YAKA yaklaşımından elde edilen çözüm

Çizelge 7.19. Surda anomalisi için YAKA yaklaşımından elde edilen mevcut çalışmanın ve *VFSA*, *PSO* ve NN metasezgiselleri kullanılarak elde edilen önceki çalışmanın sonuçları.

Model parametreleri	Bu çalışma	Biswas (2016) VFSA	Biswas and Sharma (2013)			El-Kaliouby and Al-Garni (2009) NN	Monteiro Santos (2010) PSO
			VFSA	PSO	NN		
K (mV)	112.147	122.5±2.9	121.3	98.3	130.8	130.8	98.3
xo (m)	-0.313	1.3±0.2	1.1	-3.9	5.8	5.8	-3.9
zo(m)	30.925	30.4±0.1	30.4	31.4	27.8	27.8	31.4
a (m)	25.006	22.2±0.5	22.4	28.8	19.5	19.5	28.8
∝ (°)	48.148	50.8±0.2	50.8	45.9	50.9	50.9	45.9

8. SONUÇ VE ÖNERİLER

DU optimizasyon problemi için veri kümelerinden parametre kestirim çalışması güncel metasezgisel algoritmalardan YAKA ile gerçekleştirilmiştir. YAKA algoritması, genel olarak, arıların yiyecek arama davranışlarından esinlenilerek geliştirilen görece yeni bir optimizasyon algoritmasıdır. Bu amaç için, eğimli levha tipi yapıların neden olduğu DU belirtileri ele alınmıştır. Bu belirtiye neden olan ve bu çalışma kapsamında belirlenmesi istenen model parametreleri; belirtinin genliği (K) ve sırasıyla ilgili yapının yeryüzündeki izdüşümü (xo), derinliği (zo), yarı uzunluğu (a) ve uçlaşma açısıdır (α). Bu problem için, öncelikle parametrelerin çözülebilirliğinin araştırılması yanılgı enerji haritaları oluşturulmuştur. Buna göre, bu parametreler arasında K ve a arasında negatif bir ilişki olduğu ve bu parametrelerin kullanılan metasezgiselden ve/veya ters çözüm yaklaşımından bağımsız olarak görece farklı belirlenebileceği ortaya konmuştur.

Bu çalışma kapsamında, algoritmanın kullanıcı tanımlı kontrol parametreleri olan topluluk sayısı ve besin/kaynak sayısının çözüm üzerindeki etkileri incelenmiştir. Ayrıca, algoritmanın optimizasyon süresince gereksinim duyduğu yineleme sayısı araştırılmıştır. Belirlenen optimum parametrelerle, kuramsal belirtinin optimizasyonu gerçekleştirilmiştir. Kuramsal belirtiye eklenen gürültü içeriğilede algoritmanın verimliliği araştırılmıştır. Ek olarak, kestirilmek istenen model parametreleri için metasezgisellerin gereksinim duyduğu parametre uzaylarının çözüm üzerindeki etkileri araştırılmıştır.

Araştırılan ilk parametre algoritmanın etkin bir çözüm sunabilmesi için gerek duyduğu optimum topluluk sayısıdır (Np). Bu amaç için, algoritmanın ardışık ve birbirinden bağımsız olarak 30 çalıştırması gerçekleştirilirken genel olarak bilinmeyen parametre sayısının (D) katları araştırılmıştır. Elde edilen sonuçlar, mevcut DU optimizasyon problemi için $YAKA$ uygulamalarında optimum Np değerinin 100 yani D x 20 olduğunu göstermiştir.

YAKA algoritması için, farklı iterasyon sayıları kullanılarak elde edilen çözümlerin RMS değerleri ve ortalama hesaplama süreleri detaylı olarak incelenmiştir. İterasyon sayısının artışı düşük RMS değerlerinde çözümler üretmekle birlikte hesaplama maliyetinin artmasına neden olmaktadır. Bu nedenle, uygulamada $minRMS$ değerleri üreten çözümler arasında ve görece daha düşük hesaplama süresiyle optimum çözümler belirleyen yineleme değeri (500) olarak belirlenmiştir.

Bu araştırmadan elde edilen verimli sonuçlar ışığında, YAKA'nın model parametre sayısının artması durumunda sergileyeceği davranışın belirlenmesi amacıyla eğimli levha tipi iki yapının neden olduğu ikinci bir kuramsal belirti üretilmiş ve ayrıca bu belirtiye sıfır ortalamaya sahip, standart sapma (S.S.) değeri ±25mV sahip rastgele gürültü değeri eklenmiştir. Elde edilen sonuçlar, algoritmanın etkinliğini göstermiştir. Kuramsal belirtilere ek olarak, bu çalışma kapsamında, iki alan verisi de değerlendirilmiştir. Parametre kestiriminde kuramsal çalışmadan belirlenen optimum sonuçlar kullanılmıştır. Elde edilen sonuçlar, Bavyera ve Surda belirtilerinin literatürden diğer araştırmacıların sonuçlarıyla karşılaştırılmıştır. Buna göre, YAKA; DU veri kümelerinin optimizasyonu için elde edilen sonuçlar ışığında verimli bir metasezgisel olarak değerlendirilebilir. Bu nedenle, jeofiziğin diğer bir boyutlu optimizasyon problemleri için de başarılı sonuçlar üreteceği öngörülmektedir.

KAYNAKLAR

Akkaş, E., 2019. BOA ve Levenberg-Marquardt Yöntemi ile Doğal Uçlaşma Verilerinin Ters Çözümü İçin Ardışık Melez Bir Yaklaşım, Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 86s, Isparta.

Akyol, S., Alataş, B. 2012. Güncel Sürü Zekâsı Optimizasyon Algoritmaları. Nevşehir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitü Dergisi, 1, 36-50.

Al-Garni, M. A., 2010. Interpretation of Spontaneous Potential Anomalies from Some Simple Geometrically Shaped Bodies Using Neural Network Inversion. Acta Geophysica, 58, 143-162.

Alkan, H., Balkaya, Ç., 2018. Parameter Estimation by Differential Search Algorithm from Horizontal Loop Electromagnetic (HLEM) Data, Journal of Applied Geophysics, 149, 77-94.

Ata, B., Çoban, R., 2017. Yapay Arı Kolonisi Algoritması ile Bir Arabalı Ters Sarkacın Lineer Kuadratik Kontrolü: Deneysel Bir Çalışma. Çukurova Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi, 32, 109-124.

Babayiğit, B., Özdemir, R., 2012. Modifiye Yapay Arı Koloni Algoritması ile Nümerik Fonksiyon Optimizasyonu, ELECO '2012 Elektrik - Elektronik ve Bilgisayar Mühendisliği Sempozyumu, 29 Kasım – 1 Aralık, 618-622. Bursa.

Balkaya, Ç., Göktürkler, G., Erhan, Z., Ekinci, Y. L., 2012. Exploration for a Cave by Magnetic and Electrical Resistivity Surveys: Ayvacık Sinkhole Example Bozdağ, İzmir (Western Turkey). Geophysics, 77, B135-B146.

Balkaya, Ç., 2013. An Implementation Of Differential Evolution Algorithm for Inversion of Geoelectrical Data. Journal of AppliedGeophysics, 98, 160-175.

Balkaya, Ç., Ekinci, Y. L., Göktürkler, G., Turan, S., 2017. 3D Non-Linear Inversion of Magnetic Anomalies Caused by Prismatic Bodies using Differential Evolution Algorith. Journal of Applied Geophysics 136, 372-386.

Bilgili, L., 2015. Jeofizikte Global Optimizasyon Uygulamaları, Dokuz Eylül Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 130s. İzmir.

Biswas, A., 2016. A Comparative Performance of Least-Square Method and Very Fast Simulated Annealing Global Optimization Method for Interpretation of Self-Potential Anomaly over 2-D Inclined Sheet Type Structure. Journal Geologıcal Society of India, 88, 493-502.

Candansayar, M.E., 2010. JFM 316 Elektrik Yöntemler Lisans Ders Notları.

Corwin, R.F., Hoover, B.D., 1979. The Self-PotentialMethod in Geothermal Exploration. Geophysics, 44, 226-245.

Corwin, R.F., Payne K.M., 1990. Self-Potential Methods to Investigate the Water Seepage Flow through Earth Fill Embankment Dams. Symposium on the Application of Geophysics to Engineering and Environmental Problems Proceedings, 41-48.

Coşku, A., 2007. Yapay Zekâ Optimizayson Teknikleri: Literatür Değerlendirmesi, Gazi Üniversitesi, Endüstriyel Sanatlar Eğitim Fakültesi, Doğu Anadolu Bölgesi Araştırmaları, 142-146. Ankara.

Çağlar, İ., 1991. Jeofizikte Doğal Polarizasyon (SP) Yöntemi, İstanbul Teknik Üniversitesi Matbaası. İstanbul.

Çavuş, V., Tuncer, A., 2017. İnsansız Hava Araçları için Yapay Arı Kolonisi Algoritması Kullanarak Rota Planlama. Karaelmas Fen ve Mühendislik Dergisi, 7, 259-265.

Çivicioğlu, P. 2011. Sezgisel Optimizasyon Algoritmalarının İmge Bölütleme Performanslarının Karşılaştırılması, Elektrik-Elektronik ve Bilgisayar Sempozyumu, 65-68. Elazığ.

Dobrin, M.B., 1960. Introduction to Geophysical Prospecting (3th end). NY:McGraw-Hill.

Ekinci, Y. L., Balkaya, Ç., Göktürkler, G., Turan, S., 2015. Model Parameter Estimations from Residual Gravity Anomalies due to Simple-Shaped Sources using Differential Evolution Algorithm. Journal of Applied Geophysics, 139, 133-147.

Ekinci, Y. L., Özyalın, Ş., Sındırgı, P., Balkaya, Ç., Göktürkler, G., 2017. Amplitude Inversion of the 2D Analytic Signal of Magnetic Anomalies through the Differential Evolution Algorithm. Journal of Geophysics and Engineering, 14, 1492-1508.

Ekinci, Y. L., Balkaya, Ç., Göktürkler, G., 2019. Parameter Estimations from Gravity and Magnetic Anomalies due to Deep-Seated Faults: Differential Evolution Versus Particle Swarm Optimization. Turkish Journal of Earth Sciences, 28, 860-881.

Ekinci, Y. L., Balkaya, Ç., Göktürkler, G., Özyalın, Ş., 2021. Gravity Data Inversion for the Basement Relief Delineation through Global Optimization: A Case Study from the Aegean Graben System, Western Anatolia, Turkey. Geophysical Journal International, 224, 923-944.

Göktürkler, G., Balkaya, Ç., 2012. Inversion of Self-Potential Anomalies caused by Simple-GeometryBodies using Global Optimization Algorithms. Journal of Geophysical and Engineering, 9, 498-507.

Gao, W., Liu, S.,2012. A Modified Artifical Bee Colony Algorithm. Computers & Operations Research, 39, 687-697.

Gümüş, K.K., 2012. Güç Santrallerinde Primer Frekans ve Yük Kontrolü, İstanbul Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 71s, İstanbul.

Hançer, E., 2016. Yapay Arı Koloni Algoritma Tabanlı Görüntü Kümeleme Yöntemlerinin Geliştirilmesi, Erciyes Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, 179s, Kayseri.

Karaboğa, D., 2005. An Idea Based on Honey Bee Swarm for Numerical Optimization, Erciyes University, Engineering Faculty, Computer Engineering Department, Technical report-tr06, 1-10p, Kayseri.

Karaboğa, D., Akay, B. 2007. Artificial Bee Colony (ABC) Algorithm on Training Artificial Neural Networks, IEEE 15th Signal Processing and Communications Applications, Eskişehir.

Karaboğa, D., Baştürk, B. 2007. Artificial Bee Colony (ABC) Optimization Algorithm for Solving Constrained Optimization Problems. In: Melin P., Castillo O., Aguilar L.T., Kacprzyk J., Pedrycz W. (eds) Foundations of Fuzzy Logic and Soft Computing. IFSA 2007. Lecture Notes in Computer Science, vol 4529. Springer, Berlin, Heidelberg.

Karaboğa, D., Baştürk, B. 2008. On the performance of artificial bee colony (ABC) algorithm. Applied Soft Computing, 8, 687-697.

Karaboğa, D., Akay, B. 2009. A comparative study of Artificial Bee Colony algorithm. Applied Mathematics and Computation, 214, 108-132.

Karaboğa, D., 2017. Yapay Zekâ Optimizasyon Algoritmaları. Nobel Akademik Yayıncılık Eğitim Danışmanlık Tic. Ltd. Şti., 231s, Ankara.

Kaymak, B., Dağdeviren, U., 2018. Simetrik Ağırlık İstinat Duvarlarının Optimum Tasarımı, Dumlupınar Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 40, 45-57.

Keçeli, A., 2012. Uygulamalı Jeofizik, TMMOB Jeofizik Mühendisleri Odası Eğitim Yayınları No:12, Ankara.

Kıran, M.S., 2014. Optimizasyon Problemlerinin Çözümü için Yapay Arı Kolonisi Algoritması Tabanlı Yeni Yaklaşımlar, Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, 116s, Konya.

Kıran, M.S., Gündüz, M., 2013. A recombination-based hybridization of particle swarm optimization and artificial bee colony algorithm for continuous optimization problems. Applied Soft Computing, 13, 2188–2203.

Michel, S., Zlotnicki, J., 1998. Self-potential and magnetic surveying of Lafournaise volcano correlations with faulting, fuild curcilation, and eruptions. Journal of Geophysical Resarch, 103, 17845-17857.

Murty, K. G., 2003. Junior Level Self-Teaching Web-Book for Optimization Models for Decision Making, 1-600s.

Ogilvy, A.A., Ayed, M.A., ve Bogoslovsky, V.A., 1969. Geophysical Studies of Water Leakages From Reservoirs. Geophysics, 17, 36-62s.

Özdemir, M. 2013. Zaman Kısıtı Altında Takım Oryantiring Problemlerinin Yapay Arı Kolonisi Yaklaşımı ile Çözümü (Yüksek Lisans Tezi), İstanbul Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, 1-134s, İstanbul.

Özer, Ç., 2012. Doğal Gerilim (SP) ve Elektromanyetik VLF Yöntemleri ile Aktif Tektonik Zonlarının İncelenmesi, Dokuz Eylül Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 86s, İzmir.

Özyalın, Ş., Özer, Ç., Polat, O., 2017. Yapay Arı Kolonisi Yöntemiyle Deprem Parametreleri Tayini: İlksel Sonuçlar, 4. Uluslararası Deprem Mühendisliği ve Sismoloji Konferansı, Anadolu üniversitesi, Eskişehir.

Rao R. S., Narasimham S. V. L., Ramalingaraju M., 2008. Optimization of Distribution Network Configuration for Loss Reduction using Artificial Bee Colony Algorithm, World Academy of Science, Engineeringand Technology International Journal of Electrical and Computer Engineering, 2, 1964-1970.

Recep, M., 2005. İstanbul Tuzla İçmeler Bölgesinde Tuzlu Su Yayılımının Jeofizik Yöntemlerle Araştırılması, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 68s, İstanbul.

Reis, S., Torun, A. T. 2015. Yapay Arı Koloni Algoritmasının Tarım Alanlarının Sınıflandırılmasında Kullanılabilirliğinin İrdelenmesi, TUFUAB III. Teknik Sempozyumu, s.424-428.

Saplıoğlu, K., Şenel, F.A., Topçu, F., 2017. Yapay Arı Kolonisi ile Hazne Kapasitesinin Optimizasyonu: Köprüçay Örneği. Harran Üniversitesi Mühendislik Dergisi, 2, 101-108.

Santos, M. F. A., 2010. Inversion of self-potential of idealized bodies' anomalies using particle swarm optimization. Computers & Geosciences, 36, 1185-1190p.

Sharma, S. P., Biswas, A., 2013. Interpretation of self-potential anomaly over a 2D inclined structure using very fast simulated-annealing global optimization — An insight about ambiguity. Geophysics, 78, 1MJ-Z75.

Sevim, Ö., 2013. Yapay Arı Koloni Algoritması Kullanılarak 3 Boyutlu Çelik Yapıların Optimum Tasarımı (Yüksek Lisans Tezi), Aksaray Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 1-64s. Aksaray.

Sevim, Ö., Sönmez, M., Sezer, R., 2014. Yapay Arı Koloni Algoritması ile Uzay Çelik Yapıların Optimum Tasarımı, ISITES2014, 488-498s. Karabük.

Sevim, Ö., Sönmez, M., 2014. Geliştirilmiş Yapay Arı Koloni Algoritması ile Kafes ve Düzlemsel Çelik Yapıların Optimum Tasarımı. Niğde Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, 3, 38-51.

Sharma, P.V., 1997. Environmental and Engineering Geophysics, Cambridge University Press, 475p. Cambridge.

Şahan, Ç., Şiranün, S., Aksakal, O. A., Kaynak, E., Avcıoğlu, H., Aşçı, M., Kurtuluş, C., 2012. Jeofizik Yöntemlerle Yanal Süreksizliklerin İncelenmesi, Uygulamalı Yer Bilimleri Dergisi, 11, 59-65.

Tsai, P-W., Pan, J-S., Liao, B-Y., Chu, S-C., 2009. Enhanced Artificial Bee Colony Optimization. International Journal of Innovative Computing, Information and Control, 5, 5081–5092.

Turan, S., Balkaya, Ç., Ekinci, Y. L., Göktürkler, Doğal Uçlaşma Belirtilerinin Pertürbasyon Temelli Yeni Bir Evrimsel Algoritmayla Ters Çözümü, 6. Yer Elektrik Çalıştayı, 120-124. Kocaeli.

Yılmaz, S., Köksoy, M., 2017. Bir Toprak Dolgu Barajındaki Sızıntı Yollarının Belirlenmesinde Elektrik Özdirenç Görüntüleme ve Doğal Potansiyel Yöntemlerin Uygulanması. Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, 23, 799-803.

Yayınlar

Eray, M., Balkaya, Ç., 2018. Yapay Arı Koloni Algoritması Kullanarak Eğimli Levha Tipi Yapıların Neden Olduğu Doğal Uçlaşma Belirtilerinin Ters Çözümü. 7. Yer Elektrik Çalıştayı, Eğirdir (Isparta), Mayıs 2018, s. 124-128.