

**T.C.
SÜLEYMAN DEMİREL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**YATAY HALKA ELEKTROMANYETİK (YHEM) VERİSİNDEN
FARKSAL ARAMA ALGORİTMASI KULLANARAK
PARAMETRE KESTİRİMİ**

Hilal ALKAN

**Danışman
Doç. Dr. Çağlayan BALKAYA**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
JEOFİZİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
ISPARTA - 2017**



© 2017 [Hilal ALKAN]

TEZ ONAYI

Hilal ALKAN tarafından hazırlanan " Yatay Halka Elektromanyetik (YHEM) Verisinden Farksal Arama Algoritması Kullanarak Parametre Kestirimi " adlı tez çalışması aşağıdaki jüri üyeleri önünde Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü **Jeofizik Mühendisliği Anabilim Dalı**'nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak başarı ile savunulmuştur.

Danışman

Doç. Dr. Çağlayan BALKAYA
Süleyman Demirel Üniversitesi



Jüri Üyesi

Prof. Dr. Gökhan GÖKTÜRKLER
Dokuz Eylül Üniversitesi



Jüri Üyesi

Yrd. Doç. Dr. Osman UYANIK
Süleyman Demirel Üniversitesi



Enstitü Müdürü

Prof. Dr. Yasin TUNCER

.....

TAAHHÜTNAME

Bu tezin akademik ve etik kurallara uygun olarak yazıldığını ve kullanılan tüm literatür bilgilerinin referans gösterilerek tezde yer aldığını beyan ederim.

Hilal ALKAN

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
İÇİNDEKİLER	i
ÖZET.....	ii
ABSTRACT.....	iv
TEŞEKKÜR.....	vi
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	vii
ÇİZELGELER DİZİNİ	xiii
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	xv
1. GİRİŞ	1
2. KAYNAK ÖZETLERİ	5
3. ELEKTROMANYETİK (EM) KURAM VE YHEM YÖNTEMİ	10
3.1. EM Kuram.....	10
3.1.1. EM alanların yayılımı	11
3.1.2. EM alanların sönümlenmesi ve derinlik penetrasyonu.....	13
3.2. EM Yöntemler	14
4. YATAY HALKA ELEKTROMANYETİK (YHEM) YÖNTEMİ	17
5. METASEZGİSEL, OPTİMİZASYON VE FARKSAL ARAMA (FA) ALGORİTMASI	22
5.1. Optimizasyon (Eniyileme), Metasezgisel ve Metasezgisel Optimizasyon.....	22
5.2. Farksal Arama (FA) Algoritması	25
5.3. Hlem_global	29
6. ARAŞTIRMA BULGULARI	32
6.1. Kuramsal Veri Kümesi	32
6.1.1. Bir yapıli model	32
6.1.1.1. Gürültüsüz veri	33
6.1.1.2. Gürültülü veri	48
6.1.2. İki yapıli model	56
6.1.2.1. Gürültüsüz veri	57
6.1.2.2. Gürültülü veri	69
6.2. Arazi Veri Kümeleri.....	75
6.2.1. Arazi verisi 1	76
6.2.1. Arazi verisi 2	78
7. SONUÇ VE ÖNERİLER (TARTIŞMA VE SONUÇLAR)	82
KAYNAKLAR	84
ÖZGEÇMİŞ	91

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

YATAY HALKA ELEKTROMANYETİK (YHEM) VERİSİNDEN FARKSAL ARAMA ALGORİTMASI KULLANARAK PARAMETRE KESTİRİMİ

Hilal ALKAN

Süleyman Demirel Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Jeofizik Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Doç. Dr. Çağlayan BALKAYA

Doğadan esinlenen ve sürü zekâsı yaklaşımını temel alan algoritmalar jeofizikte doğrusal olmayan optimizasyon (eniyeleme) problemlerini çözmek için en yaygın kullanılan metasezgiseller arasındadır. Brown benzeri bir rastgele yürüyüş hareketini kullanarak süper organizmaların göçünden esinlenen Farksal Arama (FA) algoritması gerçel değerli sayısal eniyeleme problemlerini çözmek için yakın zamanda önerilen metasezgisel yöntemlerden biridir. Bu çalışmada, ince eğimli iletkenler üzerinde elde edilen yatay halka elektromanyetik (YHEM) verisinden parametre kestirimi için FA algoritmasının bir uygulaması sunulmuştur. İletkenin derinliği, eğim açısı ve yüzeydeki izdüşümü genel olarak Slingram ismiyle bilinen bir YHEM belirtisinden kestirilen model parametreleridir.

Algoritmanın uygulanabilirliği ve doğruluğu ilk olarak gürültüsüz ve gürültü içeren iki kuramsal veri kümesi üzerinde test edilmiştir. İletken bir yapının neden olduğu anomaliler için çözümün yakınsama karakteristiğini etkileyen algoritmanın iki kontrol parametresi ayrıca araştırılmıştır. Belirlenen kontrol parametreleri, FA'nın bilimsel uygulamalarında yaygın olarak kullanılan parametre çiftlerine kıyasla daha başarılı istatistiksel sonuçlar üretmiştir. Daha sonra, Kuzey Avustralya'da eğimli grafitik şeyller üzerinde ölçülen iki alan anomalisi değerlendirilmiş ve algoritma, önceki çalışmaların ve sondaj bilgilerindeki ile oldukça uyumlu derinlik kestirimleri sağlamıştır. Kestirilen parametreler topluluk tabanlı bir metasezgisel olan parçacık sürü optimizasyonu uygulamasından elde edilenler ile de karşılaştırılmıştır. Hem kuramsal hem de alan çalışmalarından elde edilen sonuçlar, kestirilen parametrelerin doğruluğunu temsil eden güven aralıklarının belirlenmesi amacıyla normal dağılım için olasılık yoğunluk fonksiyonları hesaplanarak ayrıca istatistiksel olarak analiz edilmiştir. Elde edilen sonuçlar FA algoritmasının uygulamalı jeofiziğin görece küçük boyutlu ters problemleri için de etkili ve umut verici bir metasezgisel olduğunu göstermiştir.

Ayrıca bu tez çalışması kapsamında, bir YHEM anomalisinin değerlendirilmesi için etkili bir evirtim aracı sunulmuştur. MATLAB tabanlı yazılımın (*hlem_global*) algoritmik yapısının esnek ve kullanımının kolay olması nedeniyle, araştırmacılar,

geliştirilen yazılımın içeriğine aşina olduktan sonra, çeşitli amaç fonksiyonları, düz çözüm bağıntıları ve metasezgisellerle kendi amaçları doğrultusunda yazılımı kolayca değiştirebilir ve genişletebilir. *Hlem_global*, üretilen öğretici grafiksel ve video çıktıları yoluyla bir metasezgiselin temel özelliklerini daha iyi açıklamak ve sunmak için etkili bir eğitim aracı olarak ta kullanılabilir.

Anahtar Kelimeler: Elektromanyetik, YHEM (Slingram), Farksal Arama algoritması, Metasezgisel, Optimizasyon.

2017, 91 sayfa



ABSTRACT

M.Sc. Thesis

PARAMETER ESTIMATION BY DIFFERENTIAL SEARCH ALGORITHM FROM HORIZONTAL LOOP ELECTROMAGNETIC (HLEM) DATA

Hilal ALKAN

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

Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Çağlayan BALKAYA

Nature-inspired and swarm-intelligence-based algorithms are among the most widely used metaheuristics for solving nonlinear optimization problems in geophysics. Differential Search (DS) algorithm inspired by migration of super-organisms by using the concept of Brownian-like random-walk motion is one of the recently proposed metaheuristic optimization algorithms to solve real-valued numerical optimization problems. In this study, an implementation of DS algorithm is presented for parameter estimation from horizontal loop electromagnetic (HLEM) data obtained over thin dipping conductors. The depth, dip angle and the horizontal distance of the conductors are the estimated model parameters of an HLEM anomaly, which is commonly known as Slingram.

Accuracy and applicability of the algorithm were firstly tested on a synthetic data with and without noise. Two control parameters of the algorithm affecting the convergence characteristic of the solution have been also investigated for the anomalies caused by a conductive body. Tuned control parameters yielded more successful statistical results compared to broadly used parameter couples in scientific applications of DSA. Two field anomalies measured over a dipping graphitic shale from Northern Australia have been then considered, and the algorithm provided the depth estimates being in good agreement with those of previous studies and drilling information. The estimated parameters were compared with those obtained from particle swarm optimization, which is a population-based metaheuristic. The results obtained from both synthetic and field studies have been also analyzed statistically by computing probability density function (*PDF*) for the normal distribution to obtain confidence intervals representing the accuracy of estimated parameters. Based on the results, we can conclude that DS algorithm is also an effective and promising metaheuristic for the other relatively low-dimensional inverse problems of applied geophysics.

Within the scope of this thesis study, it was also presented an effective inversion tool for interpretation of HLEM anomaly. Since the algorithmic structure of MATLAB-based scheme developed (*hlem_global*) is easy to use and flexible, researchers after

being familiar with its content can easily modify and expand it via using various objective functions, forward formulations, and metaheuristics for their own purposes. Furthermore, *Hlem_global* can be used as an effective educational tool to better explain and present the main characteristics of a metaheuristic via produced instructive graphical and movie outputs.

Keywords: Electromagnetic, HLEM (Slingram), Differential Search algorithm, Metaheuristic, Optimization.

2017, 91 pages



TEŞEKKÜR

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

4806-YL2-16 No`lu Proje ile tezimi maddi olarak destekleyen Süleyman Demirel Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Yönetim Birimi Başkanlığı'na teşekkür ederim.

Tezimin her aşamasında beni yalnız bırakmayan aileme sonsuz sevgi ve saygılarımı sunarım.

Hilal ALKAN
ISPARTA, 2017



ŞEKİLLER DİZİNİ

	Sayfa
Şekil 3.1. EM indüksiyon yöntemlerinin çalışma ilkesi.....	10
Şekil 3.2. Zamanın bir fonksiyonu olarak (1, 2, ve 3 durumları) elektrik (E_x) ve manyetik alan bileşenlerinin (H_y) sinüzoidal davranışı	13
Şekil 4.1. (a) Bir YHEM çalışmasından (1945) görüntü (b) Bir YHEM ekipmanı, Geonics EM34-3	17
Şekil 4.2. Düşey bir iletken üzerinde YHEM yöntemiyle ölçülen anomali.....	18
Şekil 4.3. Tipik bir Slingram ölçüm düzeni. Yatay ve düşey eş düzlemlilik halkalar (elipsler) sırasıyla düşey ve yatay dipoller ile karakterize edilir. Tx ve Rx ise sırasıyla verici ve alıcı halkaları göstermektedir.	19
Şekil 4.4. (a) Düşey ve (b) Yatay ve eş düzlemlilik halkalar kullanılarak gerçekleştirilen YHEM ölçümlerinden bazı görüntüler	20
Şekil 4.5. YHEM ölçümlerinde kullanılan verici-alıcı düzenekleri	20
Şekil 5.1. Optimizasyon algoritmalarının genel sınıflaması	24
Şekil 5.2. Metasezgisel algoritmaların genel sınıflaması.....	25
Şekil 5.3. Hükümdar kelebekleri (solda), kuşlar (ortada) ve ateş karıncaları (sağda) gibi bazı süper organizma türleri	25
Şekil 5.4. FA için genelleştirilmiş akış şeması	26
Şekil 5.5. <i>Hlem_global</i> klasör yapısının şematik gösterimi	29
Şekil 6.1. a) Mükemmel ince iletkenin model parametrelerini yalınlaştırılmış gösterimi b) Kuramsal model c) Model parametreleri ve şematik gösterimleri.....	32
Şekil 6.2. a) Kuramsal bir yapı model b) $p1 = 1 \cdot rand()$ ve $p2 = 5 \cdot rand()$ kullanılarak 30 nesil sonunda elde edilen model parametrelerinden hesaplanan belirtinin kuramsal model ile karşılaştırılması c) Yanılgı enerjisinin her bir nesildeki değişimi d-f) Model parametrelerinin (sırasıyla z_0 , α ve x_0) her bir nesildeki değişimi	36
Şekil 6.3. a) Yaklaşım 2 kullanılarak ($Np = 45$, $p1 = 1 \cdot rand()$ ve $p2 = 5 \cdot rand()$ ve maksimum $G = 100$) 32. nesil sonunda elde edilen model parametrelerinden hesaplanan belirtinin kuramsal model ile karşılaştırılması b) Yanılgı enerjisinin her bir nesildeki değişimi c-e) Model parametrelerinin (sırasıyla z_0 , α ve x_0) her bir nesildeki değişimi	39
Şekil 6.4. a) Yaklaşım 2 kullanılarak ($Np = 45$, $p1 = p2 = 0.3 \cdot rand()$ ve maksimum $G = 100$) 87. nesil sonunda elde edilen model parametrelerinden hesaplanan belirtinin kuramsal model ile karşılaştırılması b) Yanılgı enerjisinin her bir nesildeki değişimi c-e) Model parametrelerinin (sırasıyla z_0 , α ve x_0) her bir nesildeki değişimi	41
Şekil 6.5. Gürültüsüz veri kümesi ve α - z_0 parametreleri için sırasıyla 1, 6, 15 ve 30. nesiller sonunda a-d) $p1 = p2 = 0.3 \cdot rand()$ ve e-h) $p1 = 1 \cdot rand()$ ve $p2 = 5 \cdot rand()$ kullanarak elde edilen yanılgı enerjisi haritaları ($G = 30$, $Np = 45$).....	42
Şekil 6.6. Gürültüsüz veri kümesi ve z_0 - x_0 parametreleri için sırasıyla 1, 10, 20 ve 30. nesiller sonunda a-d) $p1 = p2 = 0.3 \cdot rand()$ ve e-h) $p1 = 1 \cdot rand()$ ve $p2 = 5 \cdot rand()$ kullanarak elde edilen yanılgı enerjisi haritaları ($G = 30$, $Np = 45$)	43

Şekil 6.7. Gürültüsüz veri kümesi ve α -xo parametreleri için sırasıyla 1, 10, 20 ve 30. nesiller sonunda a-d) $p1 = p2 = 0.3 \cdot rand()$ ve e-h) $p1 = 1 \cdot rand()$ ve $p2 = 5 \cdot rand()$ kullanarak elde edilen yanılğı enerjisi haritaları ($G=30, Np=45$)	44
Şekil 6.8. Yanılğı enerjisi haritalarının her bir parametre çifti için iki ve üç boyutlu gösterimi a) α -zo b) zo-xo ve c) α -xo	45
Şekil 6.9. Bir yapılı modelin gürültüsüz veri kümesi için 30 ayrı FA çalışması sonunda yaklaşım 2 ve $p1 = 1 \cdot rand()$ ve $p2 = 5 \cdot rand()$ kullanarak elde edilen sonuçların PDF grafikleri a-c) Tüm bağımsız çalıştırmalar dikkate alınarak her bir nesilden elde edilen parametrelerin (1313 çözüm) d-f) Tüm bağımsız çalıştırmaların her birinden elde edilen en iyi çözümlere (30 çözüm) ait parametrelerin ve g-ı) Şekil 6.3'te sunulan ve 30 çözüm arasında en iyi model parametrelerini üreten çözümün istatistiksel değerlendirmeleri. Doğru parametre değerleri ayrıca her bir grafik üzerinde gösterilmiştir.	46
Şekil 6.10. Bir yapılı modelin gürültüsüz veri kümesi için 30 ayrı FA çalışması sonunda yaklaşım 2 ve $p1 = p2 = 0.3 \cdot rand()$ kullanarak elde edilen sonuçların PDF grafikleri a-c) Tüm bağımsız çalıştırmalar dikkate alınarak her bir nesilden elde edilen parametrelerin (2129 çözüm) d-f) Tüm bağımsız çalıştırmaların her birinden elde edilen en iyi çözümlere (30 çözüm) ait parametrelerin ve g-ı) Şekil 6.4'te sunulan ve 30 çözüm arasında en iyi model parametrelerini üreten çözümün istatistiksel değerlendirmeleri. Doğru parametre değerleri ayrıca her bir grafik üzerinde gösterilmiştir	47
Şekil 6.11. a) Gürültülü veri kümesi kullanılarak ($Np = 45, p1 = 1 \cdot rand()$ ve $p2 = 5 \cdot rand()$) 50. nesil sonunda elde edilen model parametrelerinden hesaplanan belirtinin kuramsal model ile karşılaştırılması b) Yanılğı enerjisinin her bir nesildeki değişimi c-e) Sırasıyla, model parametreleri zo, α ve xo'ın her bir nesildeki değişimi.....	49
Şekil 6.12. a) Gürültülü veri kümesi kullanılarak ($Np = 45, p1 = p2 = 0.3 \cdot rand()$) 50. nesil sonunda elde edilen model parametrelerinden hesaplanan belirtinin kuramsal model ile karşılaştırılması b) Yanılğı enerjisinin her bir nesildeki değişimi c-e) Model parametrelerinin (sırasıyla zo, α ve xo) her bir nesildeki değişimi	50
Şekil 6.13. Gürültülü veri kümesi ve α -zo parametreleri için sırasıyla 1, 6, 15 ve 30. nesiller sonunda a-d) $p1 = p2 = 0.3 \cdot rand()$ ve e-h) $p1 = 1 \cdot rand()$ ve $p2 = 5 \cdot rand()$ kullanarak elde edilen yanılğı enerjisi haritaları ($G=30, Np=45$)	51
Şekil 6.14. Gürültülü veri kümesi ve zo-xo parametreleri için sırasıyla 1, 6, 15 ve 30. nesiller sonunda a-d) $p1 = p2 = 0.3 \cdot rand()$ ve e-h) $p1 = 1 \cdot rand()$ ve $p2 = 5 \cdot rand()$ kullanarak elde edilen yanılğı enerjisi haritaları ($G=30, Np=45$).....	52
Şekil 6.15. Gürültülü veri kümesi ve α -xo parametreleri için sırasıyla 1, 6, 15 ve 30. nesiller sonunda a-d) $p1 = p2 = 0.3 \cdot rand()$ ve e-h) $p1 = 1 \cdot rand()$ ve $p2 = 5 \cdot rand()$ kullanarak elde edilen yanılğı enerjisi haritaları ($G=30, Np=45$).....	53

Şekil 6.16. Yanılgı enerjisi haritalarının her bir parametre çifti için iki ve üç boyutlu gösterimi a) α -zo b) zo-xo ve c) α -xo.....	54
Şekil 6.17. Bir yapılı modelin gürültülü veri kümesi için 30 ayrı FA çalışması sonunda yaklaşım 2 ve $p1 = 1 \cdot rand()$ ve $p2 = 5 \cdot rand()$ kullanarak elde edilen sonuçların <i>PDF</i> grafikleri a-c) Tüm bağımsız çalıştırmalar dikkate alınarak her bir nesilden elde edilen parametrelerin (1500 çözüm) d-f) Tüm bağımsız çalıştırmaların her birinden elde edilen en iyi çözümlere (30 çözüm) ait parametrelerin ve g-ı) Şekil 6.3'te sunulan ve 30 çözüm arasında en iyi model parametrelerini üreten çözümün istatistiksel değerlendirmeleri. Doğru parametre değerleri ayrıca her bir grafik üzerinde gösterilmiştir.....	55
Şekil 6.18. Bir yapılı modelin gürültülü veri kümesi için 30 ayrı FA çalışması sonunda yaklaşım 2 ve $p1 = p2 = 0.3 \cdot rand()$ kullanarak elde edilen sonuçların <i>PDF</i> grafikleri a-c) Tüm bağımsız çalıştırmalar dikkate alınarak her bir nesilden elde edilen parametrelerin (1500 çözüm) d-f) Tüm bağımsız çalıştırmaların her birinden elde edilen en iyi çözümlere (30 çözüm) ait parametrelerin ve g-ı) Şekil 6.3'te sunulan ve 30 çözüm arasında en iyi model parametrelerini üreten çözümün istatistiksel değerlendirmeleri. Doğru parametre değerleri ayrıca her bir grafik üzerinde gösterilmiştir.....	56
Şekil 6.19. a) Kuramsal model b) Model parametreleri ve şematik gösterimleri	57
Şekil 6.20. a) Kuramsal iki yapılı model b) $p1 = 8 \cdot rand()$ ve $p2 = 5 \cdot rand()$ kullanılarak 50 nesil sonunda elde edilen model parametrelerinden hesaplanan belirtinin gürültüsüz kuramsal iki yapılı model ile karşılaştırılması c) Yanılgı enerjisinin her bir nesildeki değişimi d-f) Birinci yapının model parametrelerinin (sırasıyla zo, α ve xo) her bir nesildeki değişimi g-ı) İkinci yapının model parametrelerinin her bir nesildeki değişimi	60
Şekil 6.21. a) Yaklaşım 2 kullanılarak ($Np = 90$, $p1 = 8 \cdot rand()$ ve $p2 = 5 \cdot rand()$ ve maksimum $G = 100$) 78. nesil sonunda elde edilen model parametrelerinden hesaplanan belirtinin gürültüsüz kuramsal iki yapılı model ile karşılaştırılması b) Yanılgı enerjisinin her bir nesildeki değişimi c-e) Birinci yapının model parametrelerinin (sırasıyla zo, α ve xo) her bir nesildeki değişimi f-h) İkinci yapının model parametrelerinin (sırasıyla zo, α ve xo) her bir nesildeki değişimi.....	63
Şekil 6.22. a) Yaklaşım 2 kullanılarak ($Np = 90$, $p1 =$ ve $p2 = 0.3 \cdot rand()$ ve maksimum $G = 100$) 100. nesil sonunda elde edilen model parametrelerinden hesaplanan belirtinin gürültüsüz kuramsal iki yapılı model ile karşılaştırılması b) Yanılgı enerjisinin her bir nesildeki değişimi c-e) Birinci yapının model parametrelerinin (sırasıyla zo, α ve xo) her bir nesildeki değişimi f-h) İkinci yapının model parametrelerinin (sırasıyla zo, α ve xo) her bir nesildeki değişimi.....	64

- Şekil 6.23. İki yapılı modelin gürültüsüz veri kümesi için 30 ayrı FA çalışması sonunda yaklaşım 2 ve $p1 = 8 \cdot rand()$ ve $p2 = 5 \cdot rand()$ kullanarak elde edilen birinci yapıya ait sonuçların *PDF* grafikleri a-c) Tüm bağımsız çalıştırmalar dikkate alınarak her bir nesilden elde edilen parametrelerin (1994 çözüm) d-f) Tüm bağımsız çalıştırmaların her birinden elde edilen en iyi çözümlere (30 çözüm) ait parametrelerin ve g-ı) Şekil 6.21’de sunulan ve 30 çözüm arasında en iyi model parametrelerini üreten çözümün istatistiksel değerlendirmeleri. Doğru parametre değerleri ayrıca her bir grafik üzerinde gösterilmiştir..... 65
- Şekil 6.24. İki yapılı modelin gürültüsüz veri kümesi için 30 ayrı FA çalışması sonunda yaklaşım 2 ve $p1 = 8 \cdot rand()$ ve $p2 = 5 \cdot rand()$ kullanarak elde edilen ikinci yapıya ait sonuçların *PDF* grafikleri a-c) Tüm bağımsız çalıştırmalar dikkate alınarak her bir nesilden elde edilen parametrelerin (1994 çözüm) d-f) Tüm bağımsız çalıştırmaların her birinden elde edilen en iyi çözümlere (30 çözüm) ait parametrelerin ve g-ı) Şekil 6.21’de sunulan ve 30 çözüm arasında en iyi model parametrelerini üreten çözümün istatistiksel değerlendirmeleri. Doğru parametre değerleri ayrıca her bir grafik üzerinde gösterilmiştir..... 66
- Şekil 6.25. İki yapılı modelin gürültüsüz veri kümesi için 30 ayrı FA çalışması sonunda yaklaşım 2 ve $p1 = p2 = 0.3 \cdot rand()$ kullanarak elde edilen birinci yapıya ait sonuçların *PDF* grafikleri a-c) Tüm bağımsız çalıştırmalar dikkate alınarak her bir nesilden elde edilen parametrelerin (3000 çözüm) d-f) Tüm bağımsız çalıştırmaların her birinden elde edilen en iyi çözümlere (30 çözüm) ait parametrelerin ve g-ı) Şekil 6.22’de sunulan ve 30 çözüm arasında en iyi model parametrelerini üreten çözümün istatistiksel değerlendirmeleri. Doğru parametre değerleri ayrıca her bir grafik üzerinde gösterilmiştir..... 67
- Şekil 6.26. İki yapılı modelin gürültüsüz veri kümesi için 30 ayrı FA çalışması sonunda yaklaşım 2 ve $p1 = p2 = 0.3 \cdot rand()$ kullanarak elde edilen ikinci yapıya ait sonuçların *PDF* grafikleri a-c) Tüm bağımsız çalıştırmalar dikkate alınarak her bir nesilden elde edilen parametrelerin (3000 çözüm) d-f) Tüm bağımsız çalıştırmaların her birinden elde edilen en iyi çözümlere (30 çözüm) ait parametrelerin ve g-ı) Şekil 6.22’de sunulan ve 30 çözüm arasında en iyi model parametrelerini üreten çözümün istatistiksel değerlendirmeleri. Doğru parametre değerleri ayrıca her bir grafik üzerinde gösterilmiştir..... 68
- Şekil 6.27. a) $p1 = 8 \cdot rand()$ ve $p2 = 5 \cdot rand()$ kullanılarak 50 nesil sonunda elde edilen model parametrelerinden hesaplanan belirtinin gürültülü kuramsal iki yapılı model ile karşılaştırılması b) Yanılgı enerjisinin her bir nesildeki değişimi c-e) Birinci yapının model parametrelerinin (sırasıyla z_0 , α ve x_0) her bir nesildeki değişimi f-h) İkinci yapının model parametrelerinin her bir nesildeki değişimi 70

- Şekil 6.28. a) $p1 = 0.3 \cdot rand()$ ve $p2 = 0.3 \cdot rand()$ kullanılarak 50 nesil sonunda elde edilen model parametrelerinden hesaplanan belirtinin gürültülü kuramsal iki yapı model ile karşılaştırılması b) Yanılgı enerjisinin her bir nesildeki değişimi c-e) Birinci yapının model parametrelerinin (sırasıyla z_0 , α ve x_0) her bir nesildeki değişimi f-h) İkinci yapının model parametrelerinin her bir nesildeki değişimi..... 71
- Şekil 6.29. İki yapı modelin gürültülü veri kümesi için 30 ayrı FA çalışması sonunda yaklaşım 2 ve $p1 = 8 \cdot rand()$ ve $p2 = 5 \cdot rand()$ kullanarak elde edilen birinci yapıya ait sonuçların *PDF* grafikleri a-c) Tüm bağımsız çalıştırmalar dikkate alınarak her bir nesilden elde edilen parametrelerin (1500 çözüm) d-f) Tüm bağımsız çalıştırmaların her birinden elde edilen en iyi çözümlere (30 çözüm) ait parametrelerin ve g-ı) Şekil 6.27’de sunulan ve 30 çözüm arasında en iyi model parametrelerini üreten çözümün istatistiksel değerlendirmeleri. Doğru parametre değerleri ayrıca her bir grafik üzerinde gösterilmiştir..... 72
- Şekil 6.30. İki yapı modelin gürültülü veri kümesi için 30 ayrı FA çalışması sonunda yaklaşım 2 ve $p1 = 8 \cdot rand()$ ve $p2 = 5 \cdot rand()$ kullanarak elde edilen ikinci yapıya ait sonuçların *PDF* grafikleri a-c) Tüm bağımsız çalıştırmalar dikkate alınarak her bir nesilden elde edilen parametrelerin (1500 çözüm) d-f) Tüm bağımsız çalıştırmaların her birinden elde edilen en iyi çözümlere (30 çözüm) ait parametrelerin ve g-ı) Şekil 6.27’de sunulan ve 30 çözüm arasında en iyi model parametrelerini üreten çözümün istatistiksel değerlendirmeleri. Doğru parametre değerleri ayrıca her bir grafik üzerinde gösterilmiştir..... 73
- Şekil 6.31. İki yapı modelin gürültülü veri kümesi için 30 ayrı FA çalışması sonunda yaklaşım 2 ve $p1 = 0.3 \cdot rand()$ ve $p2 = 0.3 \cdot rand()$ kullanarak elde edilen birinci yapıya ait sonuçların *PDF* grafikleri a-c) Tüm bağımsız çalıştırmalar dikkate alınarak her bir nesilden elde edilen parametrelerin (1500 çözüm) d-f) Tüm bağımsız çalıştırmaların her birinden elde edilen en iyi çözümlere (30 çözüm) ait parametrelerin ve g-ı) Şekil 6.28’de sunulan ve 30 çözüm arasında en iyi model parametrelerini üreten çözümün istatistiksel değerlendirmeleri. Doğru parametre değerleri ayrıca her bir grafik üzerinde gösterilmiştir..... 74
- Şekil 6.32. İki yapı modelin gürültülü veri kümesi için 30 ayrı FA çalışması sonunda yaklaşım 2 ve $p1 = 0.3 \cdot rand()$ ve $p2 = 0.3 \cdot rand()$ kullanarak elde edilen birinci yapıya ait sonuçların *PDF* grafikleri a-c) Tüm bağımsız çalıştırmalar dikkate alınarak her bir nesilden elde edilen parametrelerin (1500 çözüm) d-f) Tüm bağımsız çalıştırmaların her birinden elde edilen en iyi çözümlere (30 çözüm) ait parametrelerin ve g-ı) Şekil 6.28’de sunulan ve 30 çözüm arasında en iyi model parametrelerini üreten çözümün istatistiksel değerlendirmeleri. Doğru parametre değerleri ayrıca her bir grafik üzerinde gösterilmiştir..... 75

Şekil 6.33. a) İlk arazi örneği için ölçülen ve hesaplanan belirtilerin karşılaştırılması. Düz mavi çizgi FA algoritması ile elde edilen model parametreleri kullanılarak hesaplanan belirtiyi, yeşil kesikli çizgi ise Dondurur ve Sarı (2004) tarafından sunulan belirtiyi göstermektedir. b) FA çözümü için yanlış enerjisinin her bir nesildeki değişimi c-e) Model parametrelerinin (sırasıyla z_0 , α ve x_0) her bir nesildeki değişimi	77
Şekil 6.34. İlk arazi veri kümesi için 30 ayrı FA çalışması sonunda yaklaşım 2 ve $p1 = 1 \cdot rand()$ ve $p2 = 5 \cdot rand()$ kullanarak elde edilen sonuçların PDF grafikleri a-c) Tüm bağımsız çalıştırmalar dikkate alınarak her bir nesilden elde edilen parametrelerin (1500 çözüm) d-f) Tüm bağımsız çalıştırmaların her birinden elde edilen en iyi çözümlere (30 çözüm) ait parametrelerin ve g-ı) Şekil 6.33'te sunulan ve 30 çözüm arasında en iyi model parametrelerini üreten çözümün istatistiksel değerlendirmeleri	78
Şekil 6.35. a) İkinci arazi örneği için ölçülen ve hesaplanan belirtilerin karşılaştırılması. Düz mavi çizgi FA algoritması ile elde edilen model parametreleri kullanılarak hesaplanan belirtiyi, yeşil kesikli çizgi ise Dondurur ve Sarı (2004) tarafından sunulan belirtiyi göstermektedir. b) FA çözümü için yanlış enerjisinin her bir nesildeki değişimi c-e) Model parametrelerinin(sırasıyla z_0 , α ve x_0) her bir nesildeki değişimi.....	80
Şekil 6.36. İkinci arazi veri kümesi için 30 ayrı FA çalışması sonunda yaklaşım 2 ve $p1 = 1 \cdot rand()$ ve $p2 = 5 \cdot rand()$ kullanarak elde edilen sonuçların PDF grafikleri a-c) Tüm bağımsız çalıştırmalar dikkate alınarak her bir nesilden elde edilen parametrelerin (1500 çözüm) d-f) Tüm bağımsız çalıştırmaların her birinden elde edilen en iyi çözümlere (30 çözüm) ait parametrelerin ve g-ı) Şekil 6.35'te sunulan ve 30 çözüm arasında en iyi model parametrelerini üreten çözümün istatistiksel değerlendirmeleri.....	81

ÇİZELGELER DİZİNİ

	Sayfa
Çizelge 1.1. Son on yılda uygulamalı jeofiziğin ters çözüm problemlerine uygulanan metasezgisellerin bir listesi.....	4
Çizelge 3.1. Nüfuz derinliğinin frekansla değişimi	14
Çizelge 3.2. EM yöntemler için genel bir sınıflandırma	16
Çizelge 4.1. Farklı halka aralıklarında Geonics EM34-3 sisteminin araştırma derinliği.....	19
Çizelge 4.2. YHEM yönteminin üstünlük ve zayıflıkları	21
Çizelge 5.1. <i>Hlem_global</i> içerisinde kullanılan bazı parametreler ve kullanımları	31
Çizelge 6.1. Bir yapıli model için $p1$ ve $p2$ parametrelerinin çözüm üzerindeki etkileri ($G = 30$, $Np = 15$, $p1 = 0.1, 0.3, 0.5, 1, 2$ ve $p2 = 0.1, 0.3, 0.5, 1, 2, 4, 5, 6, 8, 10$). Sonuçlar FA algoritmasının 30 bağımsız çalışmasından elde edilmiştir.....	34
Çizelge 6.2. Bir yapıli model için $p1$ ve $p2$ parametrelerinin çözüm üzerindeki etkileri. ($G = 30$, $Np = 15$, $p1 = 4, 5, 6, 8, 10$ ve $p2 = 0.1, 0.3, 0.5, 1, 2, 4, 5, 6, 8, 10$). Sonuçlar FA algoritmasının 30 bağımsız çalışmasından elde edilmiştir.	35
Çizelge 6.3. FA algoritmasında topluluk sayısının çözüm üzerindeki etkisi. En uygun Np değeri ve bu değer için elde edilen model parametreleri ve istatistiksel sonuçlar koyu olarak gösterilmiştir.....	37
Çizelge 6.4. Bir yapıli model için FA algoritmasında $p1 = 1$ ve $p2 = 5$ kullanılarak yaklaşım 1 (maksimum G sırasıyla 30, 50, 100) ve yaklaşım 2'den (eşik değeri, $1e-04$) gürültüsüz belirti için elde edilen sonuçlar (eğik yazı ile gösterilmiştir).....	38
Çizelge 6.5. Bir yapıli model için FA algoritmasında $p1 = p2 = 0.3$ kullanılarak yaklaşım 1 (maksimum G sırasıyla 30, 50, 100) ve yaklaşım 2'den (eşik değeri, $1e-04$) gürültüsüz belirti için elde edilen sonuçlar (eğik yazı ile gösterilmiştir)	40
Çizelge 6.6. Bir yapıli model için FA algoritmasında sırasıyla $p1 = 1$ ve $p2 = 5$ (düz yazı ile gösterilen sonuçlar) ve $p1 = 0.3$ ve $p2 = 0.3$ (eğik yazı ile gösterilen sonuçlar) kullanılarak yaklaşım 1'den 50 nesil sonunda gürültülü belirti için elde edilen sonuçlar.....	48
Çizelge 6.7. Kuramsal YHEM belirtisine ait model parametrelerinin değerleri, parametrelerin alt ve üst arama uzayı sınırları.....	57
Çizelge 6.8. İki yapıli model için $p1$ ve $p2$ parametrelerinin çözüm üzerindeki etkileri. ($G = 50$, $Np = 30$, $p1 = 0.1, 0.3, 0.5, 1, 2$ ve $p2 = 0.1, 0.3, 0.5, 1, 2, 4, 5, 6, 8, 10$). Sonuçlar FA algoritmasının 30 bağımsız çalışmasından elde edilmiştir.....	58
Çizelge 6.9. İki yapıli model için $p1$ ve $p2$ parametrelerinin çözüm üzerindeki etkileri. ($G = 50$, $Np = 30$, $p1 = 4, 5, 6, 8, 10$ ve $p2 = 0.1, 0.3, 0.5, 1, 2, 4, 5, 6, 8, 10$). Sonuçlar FA algoritmasının 30 bağımsız çalışmasından elde edilmiştir.....	59
Çizelge 6.10. İki yapıli model için FA algoritmasında $p1 = 8$ ve $p2 = 5$ kullanılarak yaklaşım 1 (maksimum G sırasıyla 30, 50, 100) ve yaklaşım 2'den (eşik değeri, $1e-04$) gürültüsüz belirti için elde edilen sonuçlar (eğik yazı ile gösterilmiştir)	61

Çizelge 6.11. İki yapılı model için FA algoritmasında $p1 = 0.3$ ve $p2 = 0.3$ kullanılarak yaklaşım 1 (maksimum G sırasıyla 30, 50, 100) ve yaklaşım 2'den (eşik değeri, $1e-04$) gürültüsüz belirti için elde edilen sonuçlar (eğik yazı ile gösterilmiştir).....	62
Çizelge 6.12. İki yapılı model için FA algoritmasında sırasıyla $p1 = 8$ ve $p2 = 5$ (düz yazı ile gösterilen sonuçlar) ve $p1 = 0.3$ ve $p2 = 0.3$ (eğik yazı ile gösterilen sonuçlar) kullanılarak yaklaşım 2'den (maksimum $G = 100$, eşik değeri, $1e-03$) gürültüsüz belirti için elde edilen sonuçlar	62
Çizelge 6.13. İki yapılı model için FA algoritmasında sırasıyla $p1 = 8$ ve $p2 = 5$ (düz yazı ile gösterilen sonuçlar) ve $p1 = 0.3$ ve $p2 = 0.3$ (eğik yazı ile gösterilen sonuçlar) kullanılarak yaklaşım 1'den 50 nesil sonunda gürültülü belirti için elde edilen sonuçlar.....	70
Çizelge 6.14. İlk arazi veri kümesi için PSO ve FA algoritmasında sırasıyla $p1 = 1$ ve $p2 = 5$ (düz yazı ile gösterilen sonuçlar) ve $p1 = 0.3$ ve $p2 = 0.3$ (eğik yazı ile gösterilen sonuçlar) kullanılarak yaklaşım 1'den ($G = 50$, $Np = 45$) 30 bağımsız çalıştırma sonunda elde edilen sonuçlar	76
Çizelge 6.15. İlk arazi veri kümesi için önceki çalışmalar ile bu çalışmadan FA ($p1 = 1$ ve $p2 = 5$) ve PSO kullanılarak elde edilen en iyi çözümlere ait sonuçların karşılaştırılması	77
Çizelge 6.16. İkinci arazi veri kümesi için PSO ve FA algoritmasında sırasıyla $p1 = 1$ ve $p2 = 5$ (düz yazı ile gösterilen sonuçlar) ve $p1 = 0.3$ ve $p2 = 0.3$ (eğik yazı ile gösterilen sonuçlar) kullanılarak yaklaşım 1'den ($G = 50$, $Np = 45$) 30 bağımsız çalıştırma sonunda elde edilen sonuçlar	79
Çizelge 6.17. İkinci arazi veri kümesi için önceki çalışmalar ile bu çalışmadan FA ($p1 = 1$ ve $p2 = 5$) ve PSO kullanılarak elde edilen en iyi çözümlere ait sonuçların karşılaştırılması	79

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

B	Manyetik indüksiyon
D	Elektrik yer değiştirme, parametre sayısı
d^{obs}	Gözlenen veri
d^{cal}	Hesaplanan veri
E	Elektrik alan şiddeti
E_x	Elektrik alan bileşeni
E_0	Elektrik alan bileşeninin genliği
f	Frekans
FA	Farksal Arama
FE	Farksal Evrim
G	Nesil sayısı
GA	Genetik algoritma
H	Manyetik alan şiddeti
H_y	Manyetik alan bileşeni
H_p	Birincil alan
H_s	İkincil alan
i	Birey sayısı sayacı
j	Parametre sayacı
J	Elektrik akım yoğunluğu
k	Yayılım parametresi
KKO	Karınca Koloni Optimizasyonu
L	Halka aralığı
LMA	Levenberg-Marquardt algoritması
low	Alt parametre sınırı
MT	Manyetotellürik
N	Veri sayısı
N_p	Birey sayısı
PSO	Parçacık sürü optimizasyonu
p1-p2	FA algoritmasının kontrol parametreleri
Rx	Alıcı halka
s	Konaklama yöneyi
s'	Deneme yöneyi
Tx	Yatay halka
up	Üst parametre sınırı
x	Yapay organizma bireyi
x_0	İletkenin yeryüzündeki izdüşümü
X	yapay organizma
YIIA	Yapay Isıl İşlem Algoritması
YHEM	Yatay Halka Elektromanyetik
z_0	İletkenin derinliği
β	Faz faktörü
ρ	Özdirenç
ρ_c	Elektrik yük yoğunluğu
μ	Manyetik geçirgenlik
σ	Elektrik iletkenlik
α	Sönüm faktörü, eğim açısı
ω	Açısal frekans
ϵ	Dielektrik geçirgenlik

1. GİRİŞ

1920'lerde geliştirilen elektromanyetik (EM) yöntemler, doğal veya yapay bir alternatif akım kaynağının neden olduğu birincil alan yoluyla yer altında indüklenmiş bir veya daha fazla elektrik veya manyetik alan bileşeninin ölçülmesi esasına dayanmaktadır (Sharma, 2004, s. 265). Çok çeşitli EM araştırma yöntemleri olmasına rağmen, EM yöntemler; (i) zamanın bir fonksiyonu olarak ölçümler gerçekleştiren geçici (transient) ve/veya zaman ortamı sistemler ya da (ii) bir veya daha fazla frekans kullanan frekans ortamı sistemler olarak basitçe sınıflandırılabilir (Reynolds, 2011, s. 404). Bu yöntemler, yüksek elektriksel iletkenliğe sahip cevher yapıları ve boruların, kırık/kayma zonlarının, ince iletken damarların ve sığ jeolojik yapıların yanı sıra yeraltı suyu araştırmaları için doğal yer sinyalleri (pasif) ve yapay olarak oluşturulan aktif kaynaklardan yararlanabilir (Sharma, 2004, s. 265-266).

EM yöntemler, galvanik doğru akım elektrik öz direnç yöntemi (direct current, DC, electrical resistivity method) gibi geleneksel yer elektrik yöntemlerle karşılaştırıldığında indüksiyon süreci nedeniyle yer yüzeyiyle doğrudan temas gerektirmezler. Bu nedenle bu yöntemler, yukarıda değinilen araştırmalar için daha hızlı ve ekonomik olan yaklaşımlar oldukları için günümüze değin görece sığ veya derin mineral araştırmaları ile çevre ve mühendislik problemlerinde yaygın olarak kullanılmışlardır (Ernst ve Kirsch, 2009, s. 458; Reynolds, 2011, s. 404). Bunlar arasında Slingram, Ronka, Boliden veya MaxMin gibi ticari adlarıyla bilinen yatay halka EM yöntem, YHEM (horizontal-loop EM method, HLEM) en yaygın kullanılan ve popüler frekans ortamı EM indüksiyon yöntemlerinden biridir (Lowrie, 2007, s. 271; Reynolds, 2011, s. 404). Son on yılda yöntem, yeraltı suyu (McNeill, 1990), akifer kırık zonları (Meju vd., 2001), zemin su ve/veya kil içerikleri (Khakural vd., 1998; Brevik vd., 2006; Sherlock ve McDonnell, 2003; Cockx vd., 2007), toprak tuzluluğu (Tabbagh, 1986; Batmunkh vd., 2004) ve/veya su kaynaklarının araştırılması (Williams ve Baker, 1982; McNeill, 1992; Sabbagh, 2012), cevher ve damar benzeri yapıların belirlenmesinin (Palacky vd., 1981; Batayneh, 2001) yanı sıra arkeolojik araştırmalarda (Tabbagh, 1986; Batmunkh vd., 2004) ve hassas tarım çalışmalarında da (Lund vd., 1999; Kitchen v.d., 2005) başarıyla uygulanmıştır.

EM yöntemler dikkate alındığında, düzensiz şekilli iletken cisimlerden kaynaklanan belirtilerin (anomalilerin) hesaplanması; küre, ince mükemmel iletken düşey veya eğimli dayk gibi analitik bir ifade ile tanımlanabilen sadece birkaç yapı bulunduğu için diğer uygulamalı jeofizik yöntemlere göre daha karmaşık olabilir (Grant ve West, 1965; Dondurur ve Sarı, 2004). Bu nedenle başlangıçta, bir YHEM anomalisinin değerlendirilmesi çeşitli ölçekli modellerden türetilmiş ana eğrilerle (master curves) gerçekleştirilmiştir (Ketola ve Puranen, 1967). İzleyen yıllarda, geleneksel yorumlama yaklaşımlarına tamamlayıcı bir yaklaşım olarak Slingram profillerinin geometrisini de dikkate alan yaklaşık bir derinlik kestirim yöntemi önerilmiştir (Duckworth vd., 1991). Bilindiği gibi, sönümlü en küçük kareler yöntemi (Levenberg-Marquardt algoritması, LMA) gibi türev tabanlı lokal optimizasyon teknikleri jeofizik ters çözüm problemlerinin değerlendirilmesinde yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Bu bağlamda, Dondurur ve Sarı (2004), Wesley (1958) tarafından geliştirilen bir düz çözüm izlencesini dikkate alarak, ince eğimli iletkenler üzerinde Slingram EM anomalilerinin ters çözümü için LMA'yı kullanmıştır. Dondurur (2005), anomaliye neden olan kaynak yapılara ait derinliğin belirlenmesi için Slingram EM anomalilerine normalize tam gradyent yöntemini uygulamıştır. Modern Slingram tipi indüksiyon sistemleri, iletken yapıların etkin bir şekilde belirlenebilmesini sağlayan çok yapılandırılmalı ölçümler (farklı frekans, halka ofseti ve düzeneği) gerçekleştirebilme yeteneklerine sahip olduklarından, Monteiro Santos (2004) ölçü profilleri boyunca elde edilen komşu bir boyutlu (1B) modeller arasındaki düzgünlük kısıtlarını dikkate alan bir ters çözüm izlencesi önermiştir. Halka-Halka EM verileri için, 2.5B'lu düz çözüm ve ardışık 2B'lu ters çözümü dikkate alan çok boyutlu yaklaşımlar da uygulanmıştır (Sasaki ve Meju, 2006; Song ve Kim, 2008). Ayrıca, Kamm vd., (2013) büyük Slingram tipi veri kümelerinden 2B ve 3B'lu çözümler elde etmek için Born yaklaşımına dayanan bir doğrusallaştırma kullanarak etkili bir ters çözüm izlencesi sunmuşlardır.

Son zamanlarda, türevden bağımsız ve genel olarak doğadan esinlenen metasezgisel algoritmaların kullanımı birçok uygulamada yaygınlaşmıştır (Yang vd., 2014). Son on yıldaki bu eğilime bağlı olarak; genetik algoritma (GA), parçacık sürü optimizasyonu (PSO), farksal evrim (FE) algoritması, genetik fiyat algoritması (GFA), karınca koloni optimizasyonu (KKO), yapay ısı işlem algoritması (YİİA) ve türevlerini içeren çeşitli metasezgiseller uygulamalı jeofiziğin görece düşük boyutlu ters çözüm problemlerine

de uygulanmıştır. Bu çalışmaların bir özetinin sunulduğu Çizelge 1.1 göz önüne alındığında, en yaygın kullanılan metasezgiseller GA, PSO ve YİİA olduğu açıkça görülmektedir. Doğal uçuşma (DU) ve DC elektrik özdirenci içeren yer elektrik yöntemleriyle birlikte gravite ve manyetik yöntemleri kapsayan potansiyel yöntemler ise uygulamalı jeofizikte metasezgisellerin en yaygın olarak kullanıldığı alanlardır. Bu algoritmalar ile gerçekleştirilen değerlendirmenin yukarıda değinilen geleneksel LMA'ya göre hesaplama maliyetinin daha fazla olmasına rağmen, bu yöntemlerin başarısının jeolojik bir yapı ya da bir cevher kütlesi üzerinde bir anomali üreten model parametrelerinin kestirimi için iyi başlangıç kestirimlerine bağlı olmaması önemli bir üstünlüktür. Dolayısıyla, bu çalışmada yukarıda da belirtilen Dondurur ve Sarı'nın (2004) çalışmasını izleyerek ince eğimli iletkenlerin neden olduğu YHEM anomalilerinin ters çözümü için Farksal Arama (FA) algoritmasının bir uygulaması sunulmuştur. FA algoritması gerçel değerli sayısal eniyileme problemlerini çözmek için yakın zamanda önerilen etkili sürü temelli bir algoritmadır (Civicioglu, 2012). Çizelge 1'den de açıkça görüleceği üzere, algoritma jeofizikte sadece Song vd., (2014) tarafından yüzey dalga veri kümelerinin ters çözümü için kullanılırken Yas ve Pekşen (2012) Slingram EM anomalilerinin değerlendirilmesi için 4. Yer Elektrik Çalıştay'ında (Çeşme, İzmir) PSO algoritmasının bir uygulamasını sunmuştur.

Bu tez çalışması kapsamında ise iletken hedefin derinliği, eğim açısı ve yüzeydeki izdüşümünü içeren üç parametrenin kestirilmesi amacıyla sırasıyla bir ve iki iletken yapıdan oluşan iki kuramsal anomali ve Kuzey Avustralya'da eğimli bir grafitik şeyl üzerinde ölçülen iki alan anomalisi değerlendirilmiştir. Ayrıca, Bölüm 5'te kapsamlı olarak irdelenecek olan algoritmanın iki kontrol parametresi literatürdeki yaygın uygulamadan farklı olarak her iki kuramsal veri kümesi için de detaylı olarak araştırılmıştır (parameter tuning). Hem kuramsal hem de alan verilerinden elde edilen sonuçlar, kestirilen parametrelerin doğruluğunu temsil eden güven aralıklarını elde etmek için olasılık yoğunluk fonksiyonu (probability density function, *PDF*) hesaplanarak istatistiksel olarak da analiz edilmiştir (Balkaya vd., 2017). Tüm uygulamalardan elde edilen sonuçlar oldukça tatmin edici olduğu için, FA algoritmasının literatürde daha yaygın olarak kullanılan PSO algoritması gibi diğer popülasyon (topluluk) tabanlı metasezgisellere etkili bir alternatif yaklaşım olduğu düşünülmektedir. Ayrıca, metasezgisel bir yaklaşımı uygulamak isteyen araştırmacılar için en büyük dezavantajın, bu araştırmacıların kendi bilimsel optimizasyon

problemlerine bir metasezgiseli nasıl adapte edileceği hususunda yaşandığı oldukça açıktır. Bu nedenle, bu tez çalışması kapsamında genelde klasik yöntemleri kullanmaya alışkın olan araştırmacılar için bu önemli boşluğun doldurulduğu düşünülmektedir.

Çizelge 1.1. Son on yılda uygulamalı jeofiziğin ters çözüm problemlerine uygulanan metasezgisellerin bir listesi

Araştırmacılar	Metasezgiseller							Jeofizik Yöntem
	ACO	DE	DSA	GA	GPA	PSO	SA	
Abdelazeem ve Gobashy (2006)				×				DU
Fernández-Martínez vd. (2010a)						×		
Monteiro Santos (2010)						×		
Pekşen vd. (2011)						×		
Göktürkler ve Balkaya (2012)				×		×	×	
Sharma ve Biswas (2013)							×	
Biswas ve Sharma (2014)							×	
Di Maio vd. (2016)					×			
Başokur vd. (2007)				×				DC elektrik
Shaw ve Srivastava (2007) ¹				×		×		özdirenç
Fernández Alvarez vd. (2008)				×				
Fernández-Martínez vd. (2010b)						×		
Balkaya vd. (2012)				×				
Balkaya (2013) ²		×						
Pekşen vd. (2014)						×		
Başokur vd. (2007)				×				Potansiyel alan
Srivastava vd. (2014)	×							yöntemleri
Biswas (2015)							×	
Ekinci (2016)						×		
Liu vd. (2014)	×							
Liu vd. (2015)	×							
Ekinci vd. (2016)		×						
Singh vd. Biswas (2016)						×		
Balkaya vd. (2017)		×						
Göktürkler (2011)							×	Kuyu içi sismik
Soupios vd. (2011)				×				
Song vd. (2014)			×					Yüzey dalgası
Sharma ve Kaikkonen (1999)							×	Zaman ortamı EM

^{1, 2} Bu araştırmacılar, kendi çalışmalarında sırasıyla manyetotellürik ve DU veri kümelerinin de uygulamalarını sunmuşlardır.

2. KAYNAK ÖZETLERİ

Bu tez çalışması kapsamında değinilen kaynak özetleri; YHEM, modelleme ve FA algoritması ile ilgili çalışmalar olmak üzere üç ana başlık altında değerlendirilmiştir.

2.1. YHEM ile ilgili Çalışmalar

Palacky vd. (1981), bir orta batı Afrika ülkesi olan Yukarı Volta Cumhuriyeti'nde kırık zonlarında yeraltı suyu araştırması için 35 farklı alanda elektrik öz direnç, YHEM ve çok alçak frekans EM (very-low frequency, VLF) yöntemlerini kullanmıştır. Bunlar arasında VLF, ülkedeki sınırlı sayıda verici istasyonu nedeniyle 45° – 105° doğrultulu iletkenlerin belirlenmesinde yetersiz kalırken çok frekanslı YHEM yöntemi başarılı olmuştur. Önerilen alanlarda gerçekleştirilen 24 adet sondajdan 23'ünde sonuç alınmıştır.

Tabbagh (1986), arkeolojik prospeksiyonda EM Slingram yönteminin avantajlarını ve uygulamalarını tartışarak yöntemin gömülü metallerin araştırılması ve görünür duyarlılık ölçümlerinde yeni olanaklar sunduğunu, birkaç alıcı kullanımının gömülü nesnelerin yerinin belirlenmesi ve araştırma derinliğinin artırılmasını sağlaması nedeniyle yöntemin çalışma alanını diğer jeofizik uygulamalar için sınırlandırılabileceğini belirtmiştir.

McNeill (1990), zaman ortamı ve duyulabilir manyetotellürik (audio-magnetotelluric, AMT), VLF, yapay kaynaklı manyetotellürik (control sourced audio-magnetotelluric, CSAMT) ve Slingram gibi frekans ortamı EM yöntemlerin yeraltı suyu araştırmalarında kullanımı irdelleyerek her bir yöntemin avantaj ve dezavantajlarını detaylı olarak sunmuştur.

Özürlan ve Ulugergerli (2005), genel olarak EM'nin kuramsal temelleriyle birlikte jeofizik mühendisliğinde kullanılan zaman ve frekans ortamı EM yöntemlerin tarihi, ilkeleri, uygulama alanları ve literatürdeki uygulamalardan da örneklerin sunulduğu Türkçe temel bir kaynaktır.

2.2 Modelleme ile ilgili Çalışmalar

Duckworth vd. (1991), geleneksel yorumlama yaklaşımlarına tamamlayıcı bir yaklaşım olarak Slingram profillerinin geometrisini de dikkate alan yaklaşık bir derinlik kestirim yöntemi önermiştir. İlgili çalışmada sunulan alan verileri aynı zamanda bu tez çalışması kapsamında kullanılan ve FA algoritması kullanılarak geliştirilen yazılım ile değerlendirilerek elde edilen sonuçlar karşılaştırılmıştır.

Duckworth ve Krebes (1995), Slingram ölçümleriyle belirlenebilen eğimli bir iletken damar tipi metalik maden yatağının EM tepkisini ünlü bir Amerikan teorik fizikçi olan Wesley (1958)'in teorisine dayanarak hesaplayan QuickBASIC programlama dilinde bir kod geliştirmiştir. Wesley (1958) ilgili çalışmasında, yavaş salınım yapan bir manyetik dipol kaynağının EM tepkisini gözlemleyerek bir sülfid cevheri daykının jeofiziksel olarak incelenebileceğini belirterek mükemmel ince iletkenlerin EM yanıtının Laplace eşitliğini sağlayan Green fonksiyonunun basit bir kapalı formuyla çözülebileceğini göstermiştir. Değinilen çalışmalar, bu tez çalışmasında YHEM belirtisinden parametre kestiriminde kullanılan düz çözümün temelini oluşturmaktadır.

Optimizasyon olarak bilinen matematik dalı birçok jeofiziksel uygulamada önemli bir kullanım bulmuştur. Sen ve Stoffa (1995, 2013), “*Global Optimization Methods in Geophysical Inversion*” başlıklı çalışmalarında avantaj ve sınırlamalarını açıklamak için iyi bilinen türev tabanlı optimizasyon yöntemlerinin yanı sıra yakın geçmişte geliştirilen YİİA, GA ve PSO gibi global optimizasyon yöntemlerinin temel ilkelerini ve bunların jeofizik problemler için uygulamalarını sunmuşlardır. Bu bağlamda söz konusu kitap, jeofizik öğrencileri ve araştırmacılar için global optimizasyon yaklaşımının kavranması açısından oldukça faydalıdır.

Dondurur ve Sarı (2004) çalışmalarında ince eğimli iletkenler üzerinde ölçülen Slingram EM anomalilerinin ağırlıklı en küçük kareler yöntemiyle ters çözümünü gerçekleştirmişlerdir. Bu nedenle, ilgili çalışma bu tez çalışmasında kullanılan düz çözüm, kuramsal ve arazi veri kümelerinin kaynağı olması açısından önemlidir. FA algoritmasından elde edilen sonuçlar söz konusu çalışmada geleneksel türev temelli bir yaklaşımdan elde edilen sonuçlarla da karşılaştırılmıştır.

Karaboğa (2011), YİİA, GA, PSO, FE, KKO ve yazar tarafından geliştirilen yapay arı optimizasyon (YAO) algoritması gibi literatürde çok çeşitli bilim dallarında yaygın uygulama alanı olan yapay zekâ optimizasyon algoritmalarının temel ilkelerini açıklayan oldukça önemli bir Türkçe kaynaktır.

Civicioglu (2012), hükümdar kelebekleri, ateş karıncaları ve birçok kuş türü gibi süper organizmaların mevsimsel koşullar nedeniyle yiyecek ve barınma açısından daha verimli alanlara göç davranışlarından esinlenerek bu tez çalışmasında kullanılan FA algoritmasını geliştirmiştir. Dolayısıyla algoritmanın temel yayını olan bu çalışmada genel olarak önerilen metasezgiselin temel ilkelerinin yanı sıra çeşitli test fonksiyonları ve jeosentrik kartezyen koordinatların jeodezik koordinatlara dönüşüm problemi üzerinde de uygulamaları sunulmuştur. Ayrıca, algoritmanın performansı FE ve türevleri, YAO, PSO ve yerçekimsel arama algoritması (YAA) gibi diğer bazı metasezgisellerden elde edilen sonuçlarla karşılaştırılmış ve etkinliği açıkça gösterilmiştir. Bu çalışma, FA algoritmasının YHEM veri kümelerinde parametre kestiriminde ilk uygulamasıdır.

Göktürkler ve Balkaya (2012), basit geometrik şekilli (küre, silindir) yapıların neden olduğu DU belirtilerinin ters çözümü için doğadan esinlenilerek geliştirilen YİİA, GA ve PSO’u kapsayan üç metasezgisel algoritmayı kullanmışlardır. Hem kuramsal (gürültülü ve gürültüsüz) hem de alan veri kümelerinin değerlendirilmesiyle anomaliye neden olan yapının; yeryüzündeki izdüşümü, derinliği, uçuşma açısı ve elektrik dipol momentini belirlenmiştir. Bu metasezgisellerle kestirilen parametreler önceki çalışmaların çeşitli optimizasyon algoritmaları kullanılarak elde edilen sonuçlarıyla karşılaştırılmıştır. Elde edilen sonuçlar, kullanılan metasezgisellerin literatürde daha yaygın olarak kullanılan lokal optimizasyon algoritmalarıyla uyumlu çözümler ürettiğini göstermiştir.

Yas ve Pekşen (2012), Slingram EM anomalilerini PSO algoritması ile değerlendirerek yeraltındaki ince eğimli iletkenin derinliği eğim açısı ve yüzeydeki izdüşümünü belirlemiştir. Elde edilen sonuçlar önceki çalışmalarla karşılaştırılarak histogramlar ve olasılık yoğunluk fonksiyonu kullanılarak istatistiksel olarak da incelenmiştir.

Balkaya (2013), doğal uğlaşma ve elektrik özdirenci (düşey elektrik sondajı, DES) kapsayan yer elektrik yöntemlerden elde edilen veri kümelerinin ters çözümü için topluluk tabanlı bir evrimsel algoritma olan farksal evrim (FE) metasezgiselini kullanmıştır. Algoritma, GA'da kullanılan ve mutasyon, çaprazlama ve seçimden oluşan üç genetik operatör kullanırken bunlar arasında mutasyon, FE algoritmasının başarısında en önemli olan operatördür. Bu nedenle, hem kuramsal hem de alan verilerinin değerdendirilmesinde algoritmanın mutasyon aşaması için geliştirilen üç farklı stratejisi (DE/best/1, DE/rand/1 ve DE/rand-to-best/1) binomial çaprazlama ile birlikte kullanılmıştır. Bunlar arasında seçkinci (elitist) seçilimin uygulandığı (DE/best/1) stratejinin parametre kestiriminde hesaplama maliyeti olarak en verimli olan yaklaşım olduğu vurgulanmıştır. Kuramsal veri kümeleri için elde edilen sonuçlar jeofizikte ve diğer bilim dallarında daha yaygın olarak kullanılan PSO algoritmasının uygulanmasıyla elde edilenlerle karşılaştırılmıştır. Ayrıca, kestirilen parametrelerin doğruluğu bir belirsizlik analiziyle araştırılmıştır. Bu analiz için soğutma işleminin uygulanmadığı bir yapay ısıt işlem yaklaşımını kullanan Metropolis–Hastings (M–H) örnekleme algoritması kullanılmıştır. Belirsizlik analizinden elde edilen sonuçlar FE algoritmasının güven aralıkları içinde kalan parametre kestirimleri sağladığını açıkça göstermiştir.

Song vd. (2014), çalışmalarında FA algoritmasının jeofizikteki ilk uygulamasını yüzey dalgası veri kümeleri üzerinde gerçekleştirmişlerdir. Bu amaç için Rayleigh dalgası dispersiyon eğrisini kullanmışlardır. Çalışmalarının sonuçlarını daha yaygın olarak uygulanan genetik algoritmadan elde edilen sonuçlarla karşılaştırarak FA'nın etkinliğini göstermişlerdir.

Göktürkler vd. (2016); PSO, GA, FE ve YII kapsayan dört metasezgisel algoritmayı jeofiziğin bir, iki ve üç boyutlu ters çözüm problemlerinde kullanmışlardır. Bu amaç için; DU, doğru akım özdirenç, manyetik ve karşılıklı kuyu yer radarı uygulamalarından elde edilen kuramsal ve/veya alan veri kümeleri yukarıda değinilen metasezgisellerden biriyle yorumlanmıştır. Her bir metasezgisel algoritmanın gerek duyduğu kullanıcı tanımlı parametreler incelenen problemler dikkate alınarak test çalışmalarıyla belirlenmiştir. Ayrıca, metasezgiseller tarafından elde edilen sonuçların güvenilirlikleri çeşitli istatistiksel ve belirsizlik analizleriyle araştırılmıştır. Burada kullanılan metasezgisellerin çeşitli jeofizik problemlerin model parametrelerinin

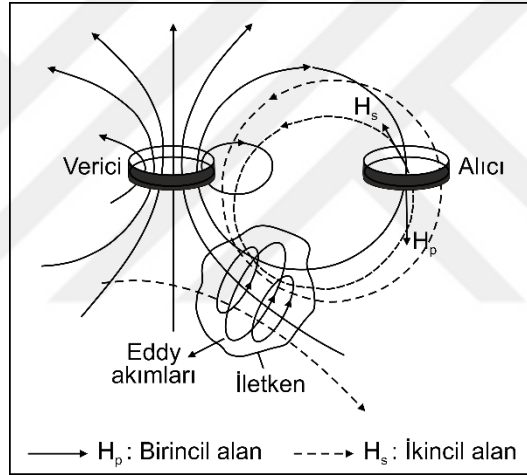
kestiriminde başarılı sonuçlar üretmesi bu algoritmaların, jeofiziğin küçük ve görece büyük boyutlu veri kümelerine uygulanabilirliğini göstermiştir.

Ekinci vd. (2016), stokastik vektör tabanlı bir metasezgisel olan FE algoritmasını rezidüel gravite veri kümelerinden model parametrelerinin kestirimi için önermişlerdir. Algoritmanın uygulanabilirliği ve etkinliği hem kuramsal hem de alan anomalileri üzerinde gösterilmiştir. Elde edilen sonuçlardaki belirsizlik M–H örnekleme algoritması kullanılarak irdelenmiştir. Yazarlar, global minimuma ulaşmak için iyi bir başlangıç modeline gereksinim duymayan algoritmanın söz konusu optimizasyon problemi için görece az hesaplama maliyeti ve elde edilen verimli sonuçlar nedeniyle potansiyel alan veri kümelerinden parametre kestiriminde algoritmaya daha fazla ilgi gösterilmesi gerektiğini vurgulamışlardır.

3. ELEKTROMANYETİK (EM) KURAM VE YHEM Yöntemi

3.1. EM Kuram

Elektromanyetik (EM) prospeksiyon, her biri doğal ya da yapay bir alternatif akım kaynağından üretilen bir birincil alan tarafından yer altında indüklenmiş bir ve/veya daha çok elektrik veya manyetik alan bileşenlerinin ölçülmesi esasına dayanan çok çeşitli EM araştırma yöntemlerini içerir. Yer altında ve yer yüzeyinde boşlukta yayılan birincil alan EM indüksiyon yasalarına uygun olarak yeraltında iletkenlerdeki akımları indükler. Bu akımlar birincil alanı bozan ikincil EM alanlara neden olur. EM indüksiyon yöntemlerinin çalışma ilkesi Şekil 3.1'de gösterilmektedir. Genel olarak, uygun bir alıcı halka tarafından toplanabilen bu alan yoğunluk, faz ve yön olarak birincil alandan farklıdır ve bir iletkenin varlığını gösterir (Sharma, 2004).



Şekil 3.1. EM indüksiyon yöntemlerinin çalışma ilkesi (Lange ve Seidel, 2007, s. 239'dan düzenlenmiştir).

Birincil alanın sürekli olmadığı fakat geçici olduğu durumlarda iletkende indüklenen ikincil alan kaynak kapatıldığında yavaş yavaş bozunacaktır. Bu bozunma yüksek iletkenliğe sahip yapıda yavaştır. İkincil akımların ve bu akımların alanların bozunmasının oranının ölçülmesi iletken yapıların yerinin belirlenmesini sağlar.

EM sistemler genel olarak aktif bir verici kullanır. Böylece kaynak geometrisi ve dalga frekansı (geçici darbe süresi) alan çalışmaları süresince kontrol edilebilir. Yapay alan EM yöntemlerinin temel amacı yüksek elektriksel iletkenliğe sahip yapıların belirlenmesidir. Bu nedenle her ne kadar bu yöntemler yeraltı suyu araştırmaları, ince iletken damarlar, kayma zonları ve fayların belirlenmesi amacıyla kullanılsa da en

uygun hedefler metalik cevherler ile yeraltı boru ve kablolardır. Elektrik yöntemlerle kıyaslandığında bu yöntemlerin en önemli avantajı yer ile bir temas gerektirmemesi ve çoğu EM sistemlerin uçaktan kullanılabilir olmasıdır.

AFMAG (audio-frequency magnetic field) ve AMT (audio-magnetotelluric) gibi doğal alan EM yöntemler yıldırım boşalımaları ve iyonosferik salınımlar gibi doğal kaynaklardan seçilen frekans aralıklarında EM enerjiyi kullanırlar. Bu yöntemlerde derinlik penetrasyonu yapay kaynaklı yöntemlerden çok daha fazladır (Sharma, 2004).

3.1.1. EM alanların yayılımı

Bir EM alan; elektrik alan şiddeti (E , V/m), manyetik alan şiddeti (H , A/m), manyetik indüksiyon veya akı yoğunluğu (B , Wb/m² veya tesla) ve elektrik yer değiştirme (D , C/m²) olmak üzere dört alan vektörüyle tanımlanabilir. Maxwell eşitlikleri genel olarak bu vektörleri aşağıda verildiği gibi elektrik yük yoğunluğu (ρ_c , C/m³) ve elektrik akım yoğunluğu (J , A/m²) ile ilişkilendirir.

$$\text{rot } E = -\frac{\partial B}{\partial t} \quad 3.1$$

$$\text{rot } H = J + \frac{\partial D}{\partial t} \quad 3.2$$

$$\text{div } B = 0 \quad 3.3$$

$$\text{div } D = \rho_c \quad 3.4$$

Alan vektörlerini bağlayan diğer üç eşitlik ise izleyen şekilde tanımlanmaktadır.

$$D = \epsilon E, \quad B = \mu H, \quad J = \sigma E \quad 3.5$$

Burada, ϵ , μ ve σ sırasıyla ortamın dielektrik geçirgenliği (F/m), manyetik geçirgenliği (H/m) ve elektriksel iletkenliğidir (S/m). Bilindiği gibi, elektrik iletkenlik öz direncin tersi olarak tanımlanmaktadır ($\sigma = 1/\rho$). Yukarıda verilen eşitlikleri kullanarak Maxwell denklemleri sadece 2 vektör (E ve H) açısından irdelenebilir (Grant ve West, 1965, s. 469). E ve H , $E(t) = E_0 e^{i\omega t}$ eşitliğinin zaman bağımsız bir formu olarak düşünülürse bunlar için vektörel eşitlikler $i = \sqrt{-1}$ olmak üzere aşağıda verildiği gibi yazılabilir.

$$\nabla^2 E = i\omega\mu\sigma E - \varepsilon\mu\omega^2 E \quad 3.6$$

$$\nabla^2 H = i\omega\mu\sigma H - \varepsilon\mu\omega^2 H \quad 3.7$$

Eşitlik 3.6 ve 3.7, homojen ve izotropik bir ortamda elektrik ve manyetik alan yayılımı için temel eşitliklerdir. Burada, $i\omega\mu\sigma$ ve $\varepsilon\mu\omega^2$ terimlerini içeren ifadeler sırasıyla iletim ve yer değiştirme akımlarıyla ilişkilidir. Açısal frekans (ω) ve kaya özellikleri (ε , μ ve σ) izleyen eşitlikte gösterildiği gibi gruplanabilir.

$$k^2 = -i\omega\mu(\sigma + i\omega\varepsilon) = \mu\varepsilon\omega^2 - i\omega\mu\sigma \quad 3.8$$

Bu durumda 3.6 ve 3.7’de verilen eşitlikler,

$$\nabla^2 E + k^2 E = 0, \quad \nabla^2 H + k^2 H = 0 \quad 3.9$$

şeklinde yazılabilir. Burada, $k = \sqrt{(\mu\varepsilon\omega^2 - i\omega\mu\sigma)}$ terimi kompleks dalga sayısı ya da yayılım parametresi olarak tanımlanmaktadır. Frekansla birlikte yayılım parametresinin davranışı EM dalga yayılımı ve sönümlenmenin anlaşılması açısından önemlidir ve burada ayrıca iki önemli durum ayırt edilebilir.

1. Düşük frekanslarda ($f < 10^5$ Hz) yer değiştirme akımları iletim akımlarından çok düşüktür ($\mu\varepsilon\omega^2 \ll i\omega\mu\sigma$). Bunun nedeni, çoğu kayaçlar için ε değerinin küçük olması ($\simeq 10\varepsilon_0$, $\varepsilon_0 = 9 \times 10^{-12} \text{ F/m}$) ve σ değerinin EM çalışmalarındaki uygun hedefler için genellikle $\gtrsim 10^{-2} \text{ S/m}$ olmasıdır. Bu durumda yayılım parametresi $k^2 \cong -i\omega\mu\sigma$ şeklinde verilir.
2. 10 MHz veya daha yüksek frekanslarda ise yer değiştirme akımları düşük iletkenliğe sahip ($\sigma < 1 \text{ mS/m}$) yer malzemelerinde iletim akımları üzerinde baskın hale gelir ($\mu\varepsilon\omega^2 \gg i\omega\mu\sigma$). Bu durumda ise yayılım parametresi $k^2 = \mu\varepsilon\omega^2$ olarak tanımlanır.

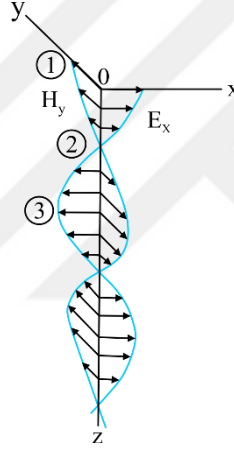
Düşük iletkenlik ve yüksek frekans durumunda EM alanın yayılımı daha çok kayacın dielektrik geçirgenliğine bağlıdır ve bu tip yayılım alanları yer radarı yönteminde kullanılır (Sharma, 2004).

3.1.2. EM alanların sönümlenmesi ve derinlik penetrasyonu

Eşitlik 3.9’da verilen alan denklemleri için basit bir çözüm; (i) sadece x bileşenine sahip bir elektrik alan, (ii) sadece y bileşenine sahip bir manyetik alan ve (iii) sinüzoidal olarak değişen iki alanın genlikleriyle (bk. Şekil 3.2) iletkenlik (σ) yarı uzayında z yönünde yayılan bir düzlem dalga olması durumunda aşağıda gibi verilebilir.

$$E_x = E_0 e^{-ikz} = E_0 e^{-i(\beta + i\alpha)z} \quad 3.10$$

Burada, E_0 elektrik alan bileşeninin genliği, E_x $z=0$ durumunda ortamdaki bazı referans noktası ve k ise yayılım parametresi ya da dalga sayısıdır. Manyetik alan için çözüm ise E yerine H yazılmasıyla elde edilebilir.



Şekil 3.2. Zamanın bir fonksiyonu olarak (1, 2, ve 3 durumları) elektrik (E_x) ve manyetik alan bileşenlerinin (H_y) sinüzoidal davranışı (Sharma, 2004, s. 268’den düzenlenmiştir).

Yayılım parametresi k ’nın gerçel bileşeni dalganın faz faktörü (β , rad/m) ve imajiner kısmı ise sönüm faktörü (α , db/m) ile ilgilidir. Faz ve sönüm faktörü için eşitlikler izleyen şekildedir.

$$\beta = \frac{2\pi}{\lambda} = \omega \left\{ \frac{\mu\epsilon}{2} \left[\left(1 + \frac{\sigma^2}{\epsilon^2 \omega^2} \right)^{1/2} + 1 \right] \right\}^{1/2} \quad 3.11$$

$$\alpha = \omega \left\{ \frac{\mu\epsilon}{2} \left[\left(1 + \frac{\sigma^2}{\epsilon^2 \omega^2} \right)^{1/2} - 1 \right] \right\}^{1/2} \quad 3.12$$

İletken yapılar için, EM prospeksiyonda olduğu gibi, iletim akımlarının yer değiştirme akımları üzerinde baskın olduğu durumda ($\alpha^2/\varepsilon^2\omega^2 \gg 1$) α ve β için eşitlikler yalınlaştırılabilir.

$$\alpha = \beta = \sqrt{(\omega\mu\sigma/2)} \quad 3.13$$

Nüfuz derinliği, EM dalganın 1/e (% 37) kadar soğurulduğu derinlik, sönüm faktörü (α) ile ilişkilidir ve izleyen şekilde verilir.

$$\delta = 1/\alpha = (2/\mu_0\rho\omega)^{1/2} = 504(\rho/f)^{1/2} \quad 3.14$$

Burada, ρ ($1/\sigma$) özdirenç (Ωm), f EM dalganın frekansı (Hz) ve manyetik olmayan ortamlar için $\mu \simeq \mu_0(4\pi \times 10^{-7})$ dir.

Çizelge 3.1 nüfuz derinliğinin frekans ve özdirençle değişimini göstermektedir. Bununla birlikte, alan uygulamasında nüfuz derinliği aletsel gürültü, yüzeye yakın iletkenlik değişimlerinden kaynaklanan belirtilerin büyüklükleri ve derin iletkenlerin geometrisinden de etkilenebilir (Sharma, 2004).

Çizelge 3.1. Nüfuz derinliğinin frekansla değişimi (Sharma, 2004, s. 269'dan düzenlenmiştir).

f [Hz]	ρ [Ωm]			
	10^{-2}	1	10^2	10^4
0.01	500	5000	5.0×10^4	5.0×10^5
0.1	160	1600	1.6×10^4	1.6×10^5
1	50	500	5000	5.0×10^4
10	16	160	1600	1.6×10^4
10^2	5	50	500	5000
10^3	1.6	16	160	1600
10^4	0.5	5	50	500
10^5	0.16	1.6	16	160

3.2. EM Yöntemler

EM yöntem 1920'li yıllarda İskandinavya, Amerika Birleşik Devletleri ve Kanada'da metal yataklarının belirlenmesi sürecinde gelişmiştir. İletken yataklar ile dirençli ana kaya ve genel olarak ince örtü tabakası ile karakterize edilen bu alanlardaki yüksek zıtlık maden yataklarının kolayca belirlenebilmesini sağlamıştır (Telford vd., 1990, s. 343). Jeofizik Mühendisliği'nde kullanılan yer elektrik ve EM yöntemler yeraltındaki

jeolojik yapıların elektrik özdirenç/iletkenlik, ucaylanma özelliklerinin, elektrik olarak yüklenebilirliğinin ve dielektrik özelliklerinin değişimlerinin belirlenmesini hedeflerken doğal elektrik ve EM alanların gözlemlenmesi de söz konusu bu yapıların araştırılmasında etkindir (Özürlan ve Ulugergerli, 2005). Geniş bir frekans ve zaman aralığında uygulanabilen EM yöntemler aşağıda verildiği gibi birkaç şekilde sınıflandırılabilir (Özürlan ve Ulugergerli, 2005)

- i. Kullanılan kaynak sinyalinin türüne göre (zaman bağımlı dönemli yani periyodik ya da darbecik, impulse),
- ii. Kaynak enerjinin yere verilmiş biçimine yani yer ile iletişim türüne (galvanik ya da manyetik alan ile uyartım, inductive),
- iii. Yöntemin nerede uygulandığına göre (yeryüzü, hava, deniz, kuyu içi),
- iv. Verici ve alıcıların konumlarına göre ve
- v. Uygulandığı ortam bilgisine göre (zaman veya frekans).

EM yöntemlerin uygulamaları zamanın bir fonksiyonu olarak ölçümler gerçekleştiren geçici (transient) ve/veya zaman ortamı sistemlerin ya da bir veya daha fazla frekans kullanan frekans ortamı sistemler tarafından gerçekleştirilmektedir (Reynolds, 2011, s. 404). Frekans ortamı EM yöntemler birincil manyetik alan tarafından indüklenen ikincil manyetik alanlar aracılığı ile yüzeye yakın iletken yapıları belirler. Frekans ortamında, birincil alan genellikle tek bir frekanslı sinüs dalgası olarak sürekli iletilir. EM31 ve EM34 gibi sistemlerde ikincil alanın gücü birincil manyetik alanın %10-20'si olabilir ve bu durumda ikincil alanı ölçmek kolaydır. Bununla birlikte, yeraltındaki iletken yapının derinliğinin artması ikincil alanın zayıflamasına neden olur. Ayrıca, daha kuvvetli birincil manyetik alan varlığında zayıf bir ikincil alanı tespit etmek zor olabilir. Karada gerçekleştirilen çalışmalardan 30 yıl sonra uygulanmaya başlanılan havadan EM araştırmalarda (Telford vd., 1990, s. 343), ikincil elektromanyetik alanlar genel olarak birincil manyetik alanların milyonda biri (ppm) olarak ifade edilir. Zaman ortamı EM yöntemler ise zayıf ikincil alanların belirlenmesinde alternatif bir yaklaşım olarak düşünülebilir. Bu sistemler en basit tanımlamayla birincil alanın kapatılarak ikincil manyetik alanlardaki bozunumların ölçülmesi esasına dayanırlar ve genel olarak geçici EM yöntem (transient electromagnetic method, TEM) ya da zaman ortamı EM yöntem (time-domain EM method, TDEM) olarak adlandırılırlar (Unsworth, 2009). Jeofizikte yaygın olarak kullanılan manyetotellürik (MT), yapay kaynak manyetotellürik (YKMT), YHEM,

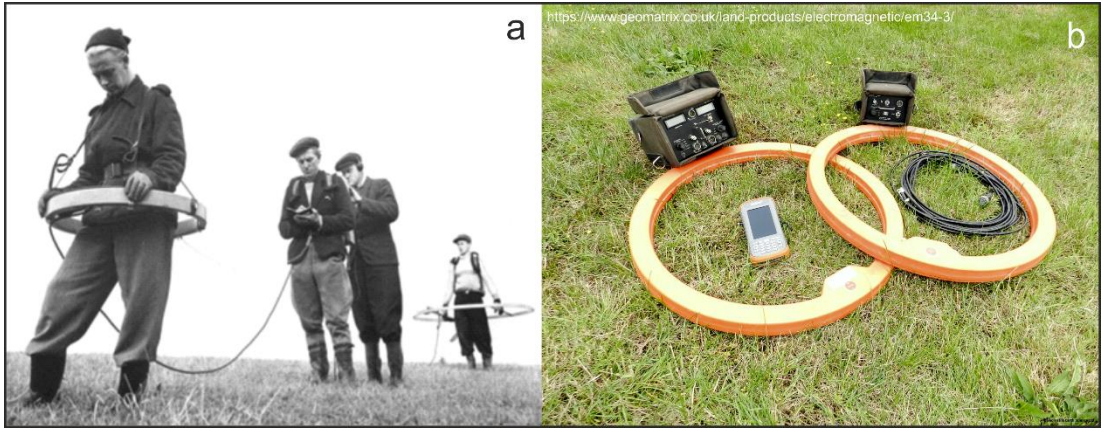
VLF, TEM ve yer radarı gibi EM yöntemler ile ilgili olarak özet bir sınıflandırma ve açıklamalar Çizelge 3.2’de verilmiştir. Buradan da açıkça görüldüğü gibi bu yöntemlerde kullanılan frekans aralıkları birbirlerinden farklılıklar göstermektedir. Bu nedenle, birbirlerine göre farklı derinliklerden bilgi sağlarlar. Söz konusu yöntemler için daha detaylı bilgiler Özürkan ve Ulugergerli (2005)’te bulunabilir.

Çizelge 3.2. EM yöntemler için genel bir sınıflandırma (Özürkan ve Ulugergerli 2005, s. 27’ ve 28’den düzenlenmiştir)

Yöntem	Frekans / Zaman aralığı	Kaynak (verici)	Yerle iletişim	Alıcı	Ölçülen büyüklük	Hesaplanan büyüklükler	Uygulama Alanları *
MT	10^{-3} – 10^3 Hz	doğal	indüktif	halka ve elektrod	E ve H	GÖ, ind.vektör	1, 2
YKMT	1 Hz–10 kHz	dipol	galvanik, indüktif	halka ve elektrod	E ve H	GÖ, ind.vektör	1, 2
YHEM	100 Hz–60 kHz	halka	indüktif	halka	Hs/Hp (%)	IP, OP, tilt	4–7, 9, 10
VLF	15–30 kHz	radyoerici	indüktif	halka	Hs/Hp (%)	IP, OP, tilt	2, 4–7, 9, 10
TEM	5 μ s–5 ms	halka	indüktif	halka	dB/dt	GÖ	2–10
Yer radarı	20 MHz–1 GHz	anten	kapasitif	anten	E	Hız	5–10
*					1. Kabuk araştırmaları 2. Jeolojik haritalama 3. Hidrokarbon araştırmaları (petrol, kömür vb.), 4. Jeotermal araştırmalar 5. Maden yatakları araştırmaları 6. Hidrojeolojik (yeraltı suyu vb.) araştırmalar, 7. Çevre jeofiziğı (yeraltı suyu kirliliğı) 8. Karstik boşluk araştırmaları 9. Mühendislik jeofiziğı (zemin araştırmaları) 10. Arkeolojik prospeksiyon		

4. YATAY HALKA ELEKTROMANYETİK (YHEM) YÖNTEMİ

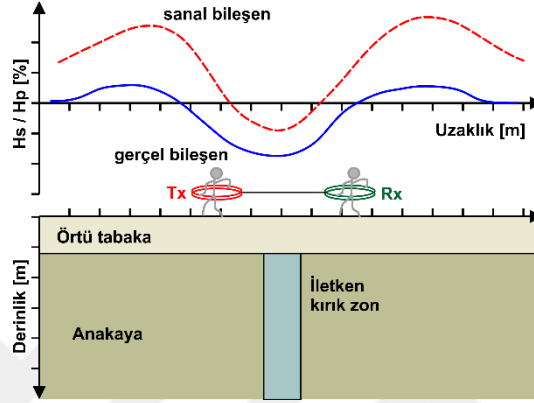
Frekans ortamı EM bir yöntem olan YHEM yöntemi ilk olarak İsveç'te 1936'da Werner ve Holm tarafından geliştirilmiştir (Viberg vd., 2009). McNeill (1980) ise yöntemin genel olarak kuramını ve uygulamalarını ayrıntılı olarak irdelemiştir. 1950'li yıllardan itibaren düşük maliyeti ve uygulama kolaylığı nedeniyle en popüler EM yöntemlerden biri olan YHEM (Dondurur, 2000), sabit bir mesafede taşınabilen (1-100 m) bir yatay verici (Tx) ve alıcı (Rx) halka çiftinden oluşur. Paal (1965) ve Parasnis (1966) çalışmalarında İsveç Jeolojik Araştırma ve Boliden Madencilik Şirketi'nin maden arama çalışmalarında 1936 yılından bu yana YHEM yöntemini kullandıklarını belirtmiştir (Ketola, 1968). Şekil 4.1a, Boliden Madencilik tarafından 1945 yılında gerçekleştirilen bir YHEM çalışmasından görüntüyü ve Şekil 4.1b ise bir YHEM ölçü sisteminin temel bileşenlerini göstermektedir. Sistem şekilden de görüldüğü gibi genel olarak taşınabilir aktif bir verici ile sinüs biçimli bir değişken akım kullanarak 35 Hz–60 kHz arasındaki frekans bandında sinyal üreten bir verici halka ile aynı frekanslarda ölçü alan bir alıcı halkadan oluşmaktadır (Özürkan ve Uluggerli, 2005, s. 117).



Şekil 4.1. (a) Bir YHEM çalışmasından (1945) görüntü (Boliden, 2012) (b) Bir YHEM ekipmanı, Geonics EM34-3

YHEM yönteminde yaklaşık 1 m çaplı bobinler bir referans sinyali taşıyan bir kablo ile bağlanır ve sistem, birincil alanın kompanzasyonu nedeniyle yalnızca ikincil alanlara tepki verir (Kearey vd., 2002). Alternatif bir akım, ortamdaki herhangi bir iletken malzemede alternatif birincil elektromanyetik alan üreten bir verici bobininde üretilir. Bir yer malzemesinde indüklenen alternatif akımlar, yakındaki bir alıcı bobin

tarafından algılanan ikincil bir elektromanyetik alan meydana getirir. Bu ikincil manyetik alanın birincil manyetik alana oranı YHEM sisteminde doğrudan iletkenliğine dönüştürülür ve yer iletkenliği açısından yorumlanır (ASTM, 2001). Bu nedenle yöntem kısaca; birincil alana göre (H_p) indüklenmiş yani ikincil düşey manyetik alanın gerçel (in-phase) ve sanal (quadrature) bileşenlerinin genliklerinin ölçülmesi esasına dayanır (Şekil 4.2).



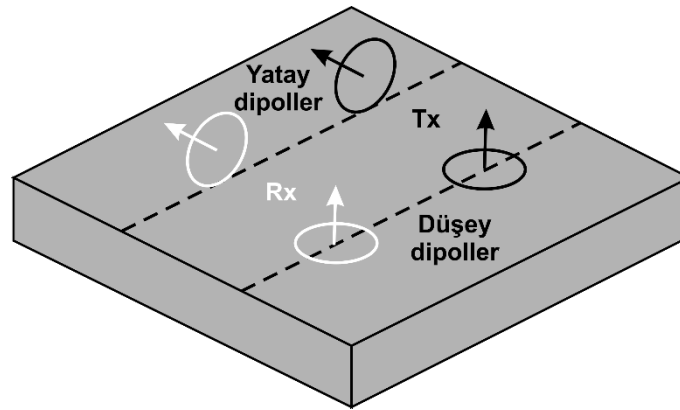
Şekil 4.2. Düşey bir iletken üzerinde YHEM yöntemiyle ölçülen anomali (McNeill, 1990'dan düzenlenmiştir)

Ticari ve Amerikan patentli olan Geonics EM34-3 yer iletkenliğini (mS/m) doğrudan ölçebilen bir YHEM sistemidir. Sistem (Şekil 4.1), her biri taşınabilir halkalar ve bir elektronik modülden oluşan bir verici ve alıcıya sahiptir. Şekil 4.3'ten de açıkça görüldüğü gibi ölçümler, genel olarak halkaların aynı düzlemde (coplanar) yer yüzeyine paralel ya da dik tutulmasıyla gerçekleştirilirken halka merkezinden geçen manyetik dipol halka düzlemine dik olur. Genel olarak, düşey eş düzlem yönlendirmesi yatay dipol ve yatay eş düzlem yönlendirmesi de düşey dipol konumu olarak adlandırılır. Sistem 10, 20, 40 m olarak üç farklı halka aralığı dolayısıyla 3 farklı frekans seçeneği (sırasıyla 0.4, 1.6, 6.4 kHz) sağlayabilmektedir (McNeill, 1980). Halka aralığındaki artış, her iki halka pozisyonunda da sistemin penetrasyon derinliğinin orantılı olarak artmasını sağlamaktadır (Çizelge 4.1). Düşey halka yönlendirmesi, halkaların eş düzlemlili konumlarından sapmalarına daha az duyarlı olmakla birlikte yatay halka yönlendirmesiyle gerçekleştirilen ölçümlerden iki kat daha fazla derinlik bilgisi elde edilebilmektedir. Ayrıca, uygulamadaki kolaylık ve hızlılık her iki halkanın yatay bulunduğu konumun YHEM çalışmalarında daha fazla tercih edilmesini dolayısıyla da birçok ölçüm sistemi tarafından kullanılmasını sağlamıştır. Yatay halka ölçüm aygıtlarının yaygın olarak bilinen patentlenmiş ticari

isimleri CM-31, EM-31, EM-38, EM34-3, GENIE, MAX-MIN VE MAXIPROBE olarak sıralanabilir. Bunlardan EM-38, EM-31 ve CM-31 gibi görece eski sistemler daha çok yüzeye yakın düşey süreksizliklerin aranmasında kullanılırken, bu ölçü sistemleri ile sadece tek frekansta ölçümler gerçekleştirilebilmektedir. Beş ayrı frekansta ölçümler yapabilen GENIE sistemi ise aynı zamanda VLF ve VLF-R gibi sistemlerle de birlikte çalışabilmektedir. MAX-MIN sistemi sondaj ve kaydırma ölçüm teknikleriyle 400 m'ye ulaşabilirken 256 farklı frekans kullanarak yaklaşık 1500 m araştırma derinliği sağlayan MAXIPROBE son yıllarda daha yaygın kullanılan sistemdir (Özürkan ve Ulugergerli, 2005, s. 119). Sonuç olarak; araştırmanın derinliği, alternatif akımın frekansı, verici ve alıcı halkalar arasındaki mesafe ve halka yönelimine bağlıdır (ASTM, 2001). Şekil 4.4, yukarıda değinilen sistemlerden Geonics EM34-3 ile gerçekleştirilen YHEM çalışmalarından bazı görüntüler sunmaktadır.

Çizelge 4.1. Farklı halka aralıklarında Geonics EM34-3 sisteminin araştırma derinliği (McNeill, 1980)

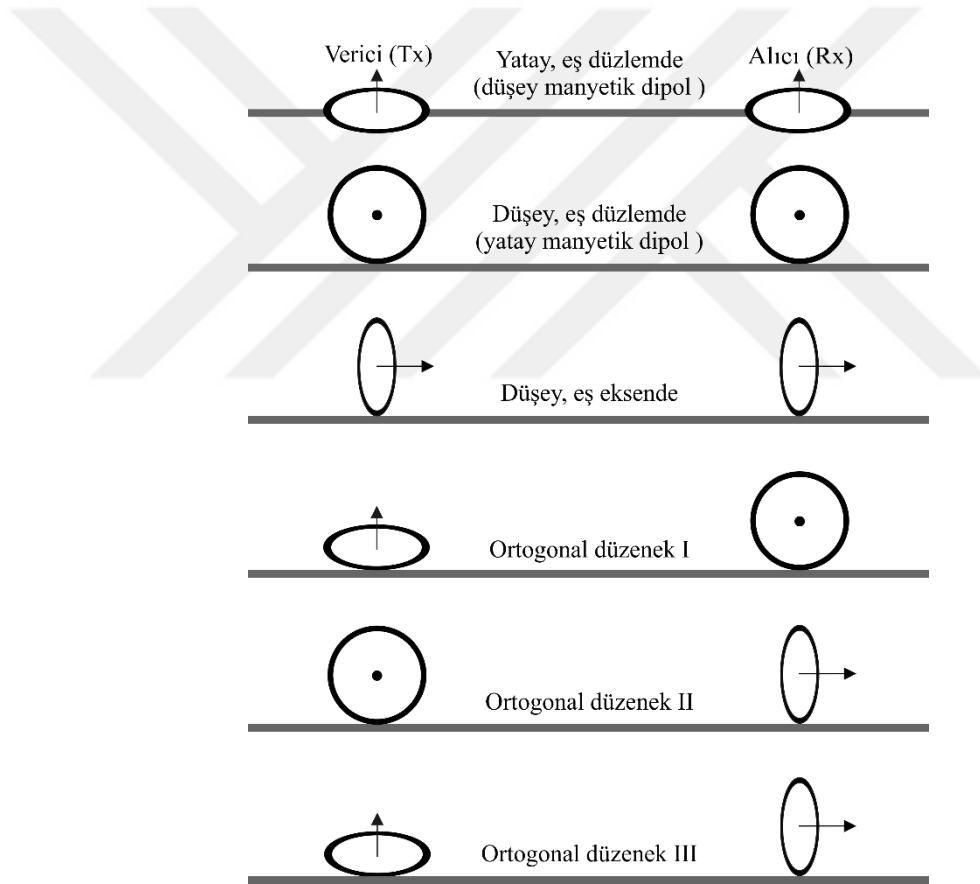
Halka aralığı [m]	Araştırma derinliği [m]	
	Düşey halkalar	Yatay halkalar
10	7.5	15
20	15	30
40	30	60



Şekil 4.3. Tipik bir Slingram ölçüm düzeni. Yatay ve düşey eş düzlemli halkalar (elipsler) sırasıyla düşey ve yatay dipoller ile karakterize edilir. Tx ve Rx ise sırasıyla verici ve alıcı halkaları göstermektedir (Kamm vd. 2013'ten düzenlenmiştir).



Şekil 4.4. (a) Düşey ve (b) Yatay eş düzlemlı halkalar kullanılarak gerçekleştirilen YHEM ölçümlerinden bazı görüntüler



Şekil 4.5. YHEM ölçümlerinde kullanılan verici-alıcı düzenekleri (Milsom, 2003, s. 131'den düzenlenmiştir)

YHEM yönteminde diğer elektrik ve EM yöntemlerde olduğu gibi kaydırma, sondaj ve haritalama teknikleri kullanılarak ölçümler gerçekleştirilebilmektedir (Özürlan ve Uluggerli, 2005, s. 118). Yöntemde aynı boyutlardaki alıcı-verici bobinler, iletkenin

uzanımına (strike) dik bir doğrultu boyunca, ard-arda veya paralel hatlar üzerinde hareket ettirilirlir (Ward, 1967; Dondurur, 2000). Şekil 4.5, YHEM yönteminde yaygın olarak ölçüm düzeneklerini göstermektedir. Verici ve alıcı bobinler aynı düzlemedir ve çoğu araştırmada bobinler yatay tutulur (Sharma, 2004). Çizelge 4.2, kısaca yöntemin üstünlük ve zayıflıklarını göstermektedir.

Çizelge 4.2. YHEM yönteminin üstünlük ve zayıflıkları (Dondurur, 2000; ASTM, 2001 ve Özürlan ve Ulugergerli, 2005, s. 132’den düzenlenmiştir)

Üstünlükler	Zayıflıklar
➤ Uygulamada az sayıda kişi gerektiren kolay taşınabilir ve yüksek hareket kabiliyetine sahip sistemler olmaları nedeniyle görece hızlı veri toplanabilir. ➤ Doğru akım elektrik özdirenç yönteminde olduğu gibi doğrudan yer ile temas gerektirmediğinden beton ve asfalt kaplı alanlarda ayrıca yüksek dirençli örtü tabakasının bulunduğu yerlerde kolaylıkla uygulanabilir. ➤ Yanal yönde iletkenlik değişiminin az olduğu alanlarda iyi sonuçlar vermektedir. ➤ Sistem çok fazla duyarlı değilse simetrik düzeneklerde verici-alıcı çiftinin yer değiştirmesi ölçümü etkilemez. ➤ Elektrik alan ölçümü için elektrot kullanılmadığı için sabit kayma (static shift) sorunu yoktur. ➤ Yeraltında akım akışı görece küçük bir alanda gerçekleştiğinden iletkenlik değişimleri oldukça yüksek bir duyarlılıkta belirlenebilir.	➤ Verici-alıcı aralığı iletken derinliğine eşit olduğunda iletkenin hiçbir tepki alınmaz ve bu durumda bir belirti elde edilemez ve kütle yakalanamaz. ➤ Verici ve alıcı çiftinin karşılıklı etkileşimi nedeniyle verilere gürültüler eklenebileceği gibi elektrik güç hatları, iletişim araçları, yakın binalar, yüzeye yakın metaller, metal çitler, borular, yeraltı depolama tankları kültürel gürültü kaynaklarıdır. ➤ Çalışma alanının engebeli bir yer yüzeyine sahip olması nedeniyle oluşabilecek etkiler. ➤ Sistemin tepkisinin genliği genel olarak araştırılan iletkenin derinliğine ve verici-alıcı çifti arasındaki mesafeye bağlıdır. ➤ Sistem üreticisinin önerdiği şekilde aletin kalibrasyonu düzenli bir şekilde ve belirli periyotlarda gerçekleştirilmelidir. ➤ Sondaj çalışmalarında her iki halka yönelimi ile de sadece iki veya üç tabakalı katmanlar makul bir şekilde yorumlanabilir. Katmanlar arasında önemli bir iletkenlik zıtlığı olmalıdır.

5. METASEZGİSEL, OPTİMİZASYON VE FARKSAL ARAMA (FA) ALGORİTMASI

5.1. Optimizasyon (Eniyileme), Metasezgisel ve Metasezgisel Optimizasyon

Optimizasyon, verilen bir optimizasyon sorununun en iyi çözümünü bulmak için özel olarak tasarlanmış yöntemleri ve teknikleri inceleyen matematik ve hesaplamalı bilimin dallarından biridir. Bilindiği gibi biz mühendisler; tasarımda, imalatta veya bakım çalışmalarının aşamalarında kararlar almak zorundayız. Bütün bu kararların nihai amacı, en az seviyede çaba harcayarak kazanımlarımızı en yüksek seviyeye ulaştırmaya çalışmaktır. Bu bağlamda optimizasyon, bir fonksiyonun hedeflenen amacının maksimum veya minimum değerini veren koşulları bulma süreci olarak tanımlanmaktadır (Rao, 2009). Dolayısıyla optimizasyon, içinde bulunulan veya verilen koşullar altında en iyi sonucun elde edilmesini amaçlar. Çoğu gerçek dünya optimizasyonu, çeşitli karmaşık kısıtlamalar altında doğrusal olmayan ve çok çözümlüdür ve bu nedenle farklı amaçlar genellikle çelişir. Bazen tek bir amaç için bile en uygun çözümler hiç oluşmayabilir. Genel olarak, en uygun çözümü bulmak veya yakın bir çözümü bulmak kolay değildir (Yang, 2011).

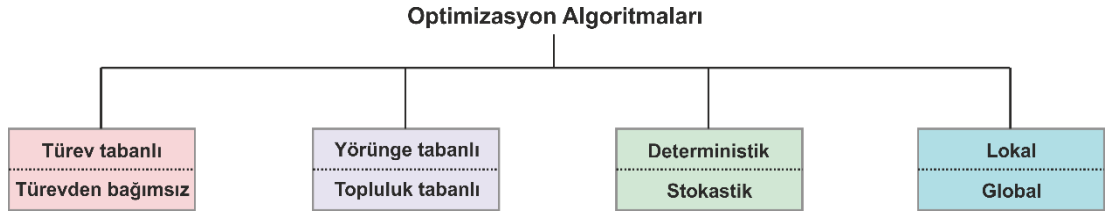
En basit anlamda optimizasyon, bir enküçükleme ya da bir enbüyükleme problemidir (Yang, 2011). Dolayısıyla, bu gibi problemler, bir veya daha fazla bağımlı değişkene dayanan bir veya daha fazla amaç fonksiyonunun enküçüklenmesini ya da en büyükleme amaçlar. Doğrusal ve doğrusal olmayan (linear, nonlinear), tamsayılı (integer), kuadratik (quadratic), stokastik (stochastic), dinamik (dynamic) programlamalar ile kombinatorial (combinatorial) optimizasyon geleneksel optimizasyon yöntemleridir. Bilindiği gibi, yerel en iyi çözümlerin aşılması, ıraksama riski, kısıtlamaları ele alma ve birinci veya ikinci dereceden türev hesaplama ile ilgili sayısal zorluklar geleneksel yöntemlerin karşılaştığı zorluklardır. Bu nedenlerle, 1970'li yılların başında sezgisel ve metasezgisel teknikler önerilmeye başlanmıştır. Yukarıda değinilen yöntemlerden farklı olarak, (meta)sezgisel yöntemlerin basit ve kompakt bir teorik desteğe sahip olmaları çoğu durumda ampirik nitelikteki doğa ölçütlerine dayanmaktadır. Sezgisel algoritmalar genellikle makul bir hesaplama süresi içinde deneme-yanılma (trial-error) ile bir optimizasyon problemine iyi bir çözüm bulmayı amaçlamaktadır. Bir sezgisel, mükemmel bir doğru çözümü değil,

tam çözüme iyi bir yaklaşım belirleyebilen alternatif bir optimizasyon yöntemidir. Sezgisel yöntemler başlangıçta uzmanların bilgi ve tecrübelerine dayanıyor ve arama uzayının özellikle kolay bir şekilde araştırılmasını amaçlıyordu. Bu yöntemler, daha düşük doğrulukta çözümler sunabilse de geleneksel optimizasyon tekniklerine göre daha iyi hesaplama performansı sağlamak üzere tasarlanmıştır.

Bir metasezgisel ise sezgisel (heuristic) optimizasyon algoritmalarını geliştirmek için bir dizi stratejiler sağlayan ileri seviye, problem bağımsız bir algoritmik yapı/çerçeve olarak düşünülebilir (Sörensen ve Glover, 2013). Dolayısıyla metasezgisel algoritmalar, üst düzey sezgisel algoritmalar. Metasezgisel kelimesi ilk olarak 1986 yılında Glover tarafından kullanılmıştır. Bir metasezgiselin en cazip özelliği, uygulamanın, çözülmesi gereken optimizasyon problemi için özel bir bilgiye (türev gibi) ihtiyaç duymamasıdır. Genetik/evrimsel algoritmalar, tabu arama, Yİİ, KKO, PSO ve günümüzde çok daha fazlası metasezgisellere örnek olarak verilebilir. Genel olarak metasezgisel optimizasyon, değinilen bu metasezgisel algoritmaları kullanarak optimizasyon problemlerinin çözümü ile ilgilidir. Para, kaynak ve zaman her zaman kısıtlı olduğundan bu kaynakların en iyi kullanımı çok önemlidir. Bu nedenle günümüzde optimizasyon, mühendislik tasarımından ekonomiye ve tatil planlamasından internet yönlendirmesine kadar neredeyse tüm alanlarda kullanılmaktadır (Yang, 2011).

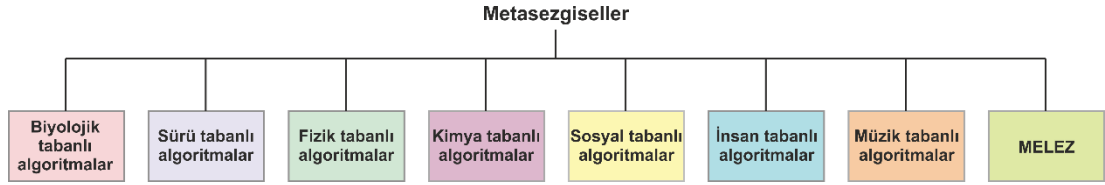
Optimizasyon algoritmaları çeşitli bakış açıları ve algoritmaların genel karakteristikleri dikkate alınarak Şekil 5.1’de sunulduğu gibi değişik şekillerde sınıflandırılabilir. Bir fonksiyonun eğimi ya da türevi odak noktası ise optimizasyon türev tabanlı ya da türevden bağımsız algoritmalar olarak sınıflandırılabilir. Tepe tırmanma (hill-climbing) gibi türev bilgisi kullanan algoritmalar genellikle çok etkilidir. Bununla birlikte, süreksizliklere sahip fonksiyonlar için veya türevlerin doğru bir şekilde hesaplanmasının maliyetli olduğu durumlarda Nelder-Mead simplex gibi türev bilgisine gereksinim duymayan algoritmalar oldukça yararlıdır. Farklı bir perspektiften bakıldığında, optimizasyon algoritmaları, yörünge ve topluluk tabanlı olarak sınıflandırılabilir. Bir yörünge tabanlı algoritma, genellikle, yinelemeler devam ederken belirli bir yolu izleyen tek bir çözümü kullanır. Tepe tırmanma aynı zamanda yörünge tabanlı bir algoritmadır ve algoritmada bir başlangıç noktasından çözüme izlenen yol bir zikzak şeklindedir. Diğer taraftan, PSO gibi topluluk tabanlı

algoritmalar, çözüme birden fazla birey kullanarak ve çok sayıda değişik yollar izleyerek ulaşabilir (Yang, 2011).



Şekil 5.1. Optimizasyon algoritmalarının genel sınıflaması (bk. Yang, 2011)

Optimizasyon algoritmaları aynı zamanda deterministik veya stokastik olarak sınıflandırılabilir. Bir algoritmanın temel olarak işleyişinde bir rastgelelik söz konusu ise stokastik değilse deterministik olarak tanımlanmaktadır. Tepe tırmanma ve simplex gibi deterministik algoritmalar daima aynı başlangıç noktasından başladığında aynı son çözüme ulaşırken GA ve PSO gibi stokastik algoritmalar aynı başlangıç noktası kullanılsa bile her bir uygulamasında her zaman farklı bir noktaya ulaşırlar. Sınıflandırmada algoritmaların arama yetenekleri de genel olarak kullanılmaktadır. Bu durumda algoritmalar, lokal ve global arama algoritmaları olarak tanımlanabilir. Aynı zamanda deterministik olan lokal optimizasyon algoritmaları genelde lokal bir optimuma yakınsar ve lokal bir optimumdan kaçma olanağı yoktur. Bu nedenle, global optimizasyon için uygun değildirler. Bu amaç için modern metasezgisel algoritmalar kullanılır. Metasezgiseller, her zaman başarılı veya etkili olmamakla birlikte, çoğu durumda global optimizasyona uygun olma eğilimi sergilerler. Rastgeleleştirme, metasezgiseller için oldukça önemli ve etkili bir bileşendir (Yang, 2011). Metasezgiseller, biyolojik tabanlı (genetik algoritma, farksal evrim gibi), sürü tabanlı (parçacık sürü optimizasyonu, karınca koloni optimizasyonu), fizik tabanlı (yer çekimi arama algoritması gibi), kimya tabanlı (yapay kimyasal reaksiyon algoritması gibi), sosyal tabanlı (tabu arama gibi), insan tabanlı (av arama ve öğrenme tabanlı algoritma gibi), müzik tabanlı (armoni arama algoritması gibi) ve bunların kombinasyonlarından oluşan melez algoritmalar (biyoloji ve sosyal tabanlı kültürel arama algoritması gibi) olarak sınıflandırılabilir (Şekil 5.2) (Akyol ve Alataş, 2012). Bu tez çalışması kapsamında ise sürü zekâsına dayalı yeni bir evrimsel metasezgisel olan farksal arama (FA) algoritması (Civicioglu, 2012) jeofizik problemlerin optimizasyonu için kullanılmıştır.



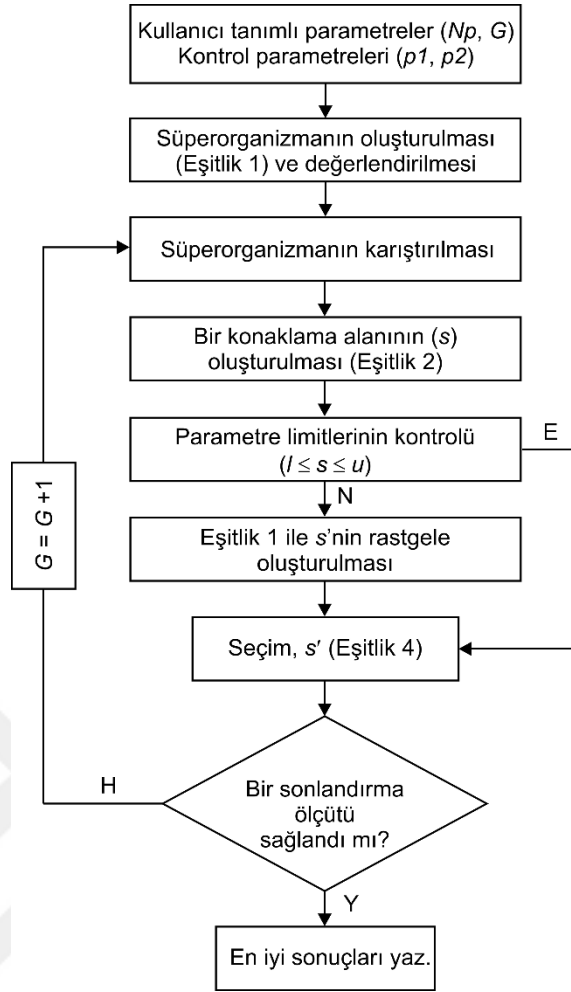
Şekil 5.2. Metasezgisel algoritmaların genel sınıflaması (Akyol ve Alataş, 2012’den düzenlenmiştir)

5.2. Farksal Arama (FA) Algoritması

Doğadan esinlenilen ve sürü zekâsına dayalı FA algoritması, gerçel değerli sayısal en iyileme problemlerini çözmek için önerilen yeni ve etkili evrimsel bir algoritmadır (Civicioglu, 2012). Doğada, yaşayan canlıların pek çok türü (kuşların birçok türü, hükümdar kelekleri, ateş karıncaları, bal arıları, balinalar) gibi süper organizmalar yaşam alanlarındaki besin kaynaklarının kapasitesinin ve verimliliğinin periyodik olarak sık sık değişmesi nedeniyle yılın bazı bölümlerinde mevsimsel bir göç hareketi gerçekleştirir (Şekil 5.3). Göç, süper organizmaların su kaynakları ve otlaklar gibi hayati kaynaklarının azaldığı bir yaşam alanından daha verimli bir yaşam alanına hareket etmesini sağlar. Bu bağlamda, FA algoritması; iki konaklama yeri arasında göç eden süper organizmaların davranışlarının bir benzetimini uygular (Civicioglu, 2012). Bu hareket, Brown hareketine benzer bir rastgele yürüyüş modeliyle tanımlanır ve FA algoritmasının biyolojik kökenini oluşturur. Süper organizma, yeni bir verimli alan bulduğunda geçici bir süre burada konaklama ve sonrasında da daha bereketli yaşam alanlarını araştırarak (global minimum) göçünü sürdürme davranışı sergiler (Civicioglu, 2012). FA için genelleştirilmiş bir akış şeması Şekil 5.4’de sunulmuştur. Sözde kod (pseudocode) ise algoritmanın orijinal makalesinde bulunabilir.



Şekil 5.3. Hükümdar kelekleri (solda), kuşlar (ortada) ve ateş karıncaları (sağda) gibi bazı süper organizma türleri



Şekil 5.4. FA için genelleştirilmiş akış şeması

FA'da bir topluluk, yapay organizmalardan $(X_i, i = \{1, 2, 3, \dots, Np\})$ oluşan yapay bir süper organizma ($Superorganism_G = [X_i]$) ile temsil edilir. Global minimuma göç eden yapay organizmanın her bir bireyi $(x_{i,j}, j = \{1, 2, 3, \dots, D\})$ ele alınan optimizasyon probleminin boyutuna bağlı olarak rastgele çözümler içerir. Burada G nesil sayısını, Np süper organizmadaki birey sayısını, D parametre sayısını ve i, j ise sırasıyla Np ve D ile ilgili sayaçlardır. Diğer topluluk tabanlı metasezgisellerde olduğu gibi kullanıcı tanımlı üst ($up = \{u_1, u_2, \dots, u_D\}$) ve alt ($low = \{l_1, l_2, \dots, l_D\}$) parametre sınırları içerisindeki bir yapay organizma izleyen eşitlik aracılığıyla üretilebilir.

$$x_{i,j} = low_{j,min} + rand_{i,j}[0,1] \cdot (up_{j,max} - low_{j,min}), \quad 5.1$$

burada $rand_{i,j}[0,1]$ 0 ve 1 arasında tekdüze dağıtılmış rastgele sayıları temsil etmektedir. Bu nedenle, yapay organizmalar $X_i = [x_{i,j}]$ olarak tanımlanmıştır.

FA algoritmasında yiyecek açısından zengin yeni bir verimli alana göç Brown benzeri bir rastgele yürüyüş hareketiyle sağlanır. Mevcut topluluktaki her bir bireye veya hedef yöneye karşılık gelen bir konaklama yöneyi ($s_{i,G}$) ile tanımlanan konaklama alanının konumu aşağıdaki gibi tanımlanabilir.

$$s_{i,G} = X_{i,G} + scale \cdot (donor - X_{i,G}), \quad 5.2$$

burada algoritma içinde gama, normal veya log normal dağılımlar tarafından üretilebilen $scale$ değeri yaşam alanındaki (arama uzayı) yapay organizmaya karşılık gelen bireyin konumundaki değişikliğin boyutunu kontrol eder. $donor = X_{r1,G}|_{random_shuffling}$ ise $r1 \in (1, 2, 3, \dots, Np)$ ve $r1 \neq i$ olmak üzere rastgele seçilmiş tamsayılardır. FA'da, rastgele karıştırma (shuffling), başarılı bir göç sürecini gerçekleştirmek için önemli bir rol oynamaktadır. Bir konaklama alanı, süper organizmanın yapay organizmalarının bireylerinin elde edilmesini sağlayan rastgele bir süreçle izleyen şekilde belirlenebilir.

$$s'_{i,j,G} = \begin{cases} s_{i,j,G} & \text{if } r_{i,j} = 0 \\ X_{i,j,G} & \text{if } r_{i,j} = 1, \end{cases} \quad 5.3$$

burada $s'_{i,j,G}$ G . nesilde i . boyutta j . parçacığın deneme yöneyini ve $r_{i,j}$ ise bir tamsayı (0 veya 1) gösterir. Algoritmada, arama uzayının sınırlarını ihlal eden konaklama alanının elemanları, eşitlik 1'de tanımlandığı gibi, rastgele tekrar kullanıcı tanımlı sınırlar içerisine dönmesi sağlanır. Sonrasında seçim işlemi aşağıda verilen eşitlik kullanılarak gerçekleştirilir. Seçim, konaklama alanı ve yapay organizma topluluğu arasında bir sonraki nesilde ($G = G + 1$) yaşamını sürdürecektir topluluğun belirlenmesini sağlar (Civicioglu, 2012; Liu, 2014).

$$X_{i,G+1} = \begin{cases} s_{i,G} & \text{if } f(s'_{i,G}) \leq f(X_{i,G}) \\ X_{i,G} & \text{aksi halde} \end{cases} \quad 5.4$$

Kısaca, FA algoritması; bireylerin (yapay organizma) rastgele çözümlerini içeren yapay bir süper organizmanın üretilmesiyle başlatılır. Yapay süper organizma daha sonra güncel konumundan ilgili problemin global çözümüne göç ederken kullanılan amaç fonksiyonu bulunan alanların konaklamaya uygunluk derecesini belirler. Özgün mutasyon ve çaprazlama operatörlerine sahip olan FA algoritmasında mutasyon operatörünün yapısı hedef patern hariç olmak üzere sadece bir yön paterni içermektedir. Ayrıca, çaprazlama operatörünün yapısı ileri FE algoritmalarından çok farklı bir karakteristik sunmaktadır (Civicioglu, 2013).

Basit bir algoritmik yapı sunan FA algoritması, her nesilde rastgele değişen ve kullanıcı tanımlı p_1 ve p_2 gibi sadece iki kontrol parametresine sahiptir. Çaprazlama süreci ile ilgili olan bu parametreler, deneme paterninin hedef paterne kıyasla ne dereceye kadar değişeceğini kontrol etmek için kullanılır. Dolayısıyla bu parametreler, aday çözümlerin konumlarının hangi sıklıkta pertürbe edileceğini belirler. Algoritmada, bu pertürbasyonun miktarı için gamma dağılımına sahip rastgele sayı üreticiyle üretilen bir ölçek değeri kullanılmaktadır. Daha iyi bir uygunluk değeri sağlayan konaklama yönünde evrilebilmek için her deneme paterni ile ilgili hedef paterni kullanılır (Civicioğlu, 2013).

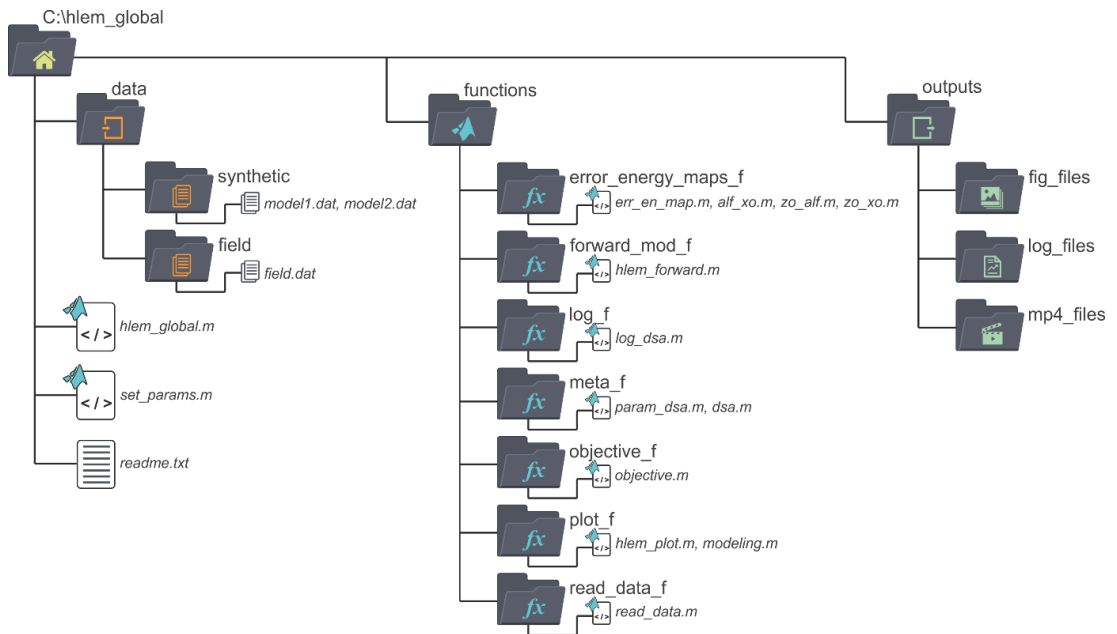
Civicioglu (2012), orijinal makaledeki ilgili optimizasyon problemi için gerçekleştirilen parametre ayarlama (parameter tuning) çalışmalarına dayanarak, $p1 = 0.3 \cdot rand$ ve $p2 = 0.3 \cdot rand$ değerlerinin daha iyi çözümler ürettiğini belirtmiştir. Ayrıca, çeşitli test fonksiyonları üzerinde gerçekleştirdiği çalışmasında ise algoritmanın söz konusu bu kontrol parametrelerine çok duyarlı olmadığını vurgulamıştır. Bu nedenle araştırmacılar, çalışmalarında genellikle bu parametrelerin problem bağımlı olduklarını belirtse de önerilen bu değerleri algoritmadaki kontrol parametreleri olarak sıklıkla kullanmaktadırlar. Algoritma ayrıca, global çözüme ulaşmayı sağlayan yön düzeyinin belirlenmesi için bijective-DSA (B-DSA), surjective-DSA (S-DSA), Elitist#1-DSA (E1-DSA) ve Elitist#2-DSA (E2-DSA) olarak adlandırılan 4 farklı arama yöntemi (stratejiler) sunarken bunların melez kullanımları da (H-DSA) mümkündür. Topluluk; B-DSA'da her bir döngüde mevcut topluluğun rastgele permütasyon formuna, S-DSA'da görece daha iyi çözümler üreten yapay organizmaya, E1-DSA'da rastgele seçilen en iyi çözüme ve E2-DSA'da ise başlangıç

topluluğunun en iyi çözümüne evrilir. Bu tez çalışmasında ise algoritmanın E2-DSA stratejisi kullanılmıştır.

5.3. *Hlem_global*

Geliştirilen MATLAB tabanlı kodlar, Şekil 1’den de açıkça görüldüğü gibi basit bir klasör yapısı ile sunulmaktadır. Ana klasör, “C: \hlem_global” altında bulunmalıdır. Bunun sağlanmadığı durumlarda, alt klasörler içerisindeki tüm *.m uzantılı dosyaların içerikleri kullanıcı tarafından güncellenmelidir.

Ana klasör (*hlem_global*), *hlem_dsa* ve *set_params* adlı iki m, bir *readme* (beni oku) dosyası ve *data* (veri), *functions* (fonksiyonlar) ve *outputs* (çıkışlar) olmak üzere üç klasörden oluşmaktadır. *Data* klasörü, *synthetic* (sentetik ve/veya kuramsal) ve *field* (alan) olmak üzere iki alt klasör içermektedir. *Functions* klasörü ise parametre kestirim için gerekli olan fonksiyonları barındıran yedi adet alt klasörden oluşmaktadır. *Outputs* klasörü ise değerlendirme sonucu elde edilen log dosyaları (*log_files*), şekiller (*fig_files*) ve video çıktılarının (*mp4_files*) ayrı ayrı kaydedileceği klasördür. Ana klasör içerisindeki *hlem_global.m* dosyası gerekli fonksiyonları çağıran ana m kodudur. *Set_params.m* ise ters çözüm izlencesinde kullanılan çeşitli parametrelerin giriş ve/veya başlangıç değerlerini içermektedir.



Şekil 5.5. *Hlem_global* klasör yapısının şematik gösterimi

Hem kuramsal (*model1.dat* ve *model2.dat*) hem de alan veri (*field.dat*) kümeleri sırasıyla *data* klasörünün altındaki *synthetic* ve *field* alt klasörlerine yerleştirilmiştir. Bu nedenle, bu klasörler kullanıcılar tarafından herhangi diğer veri kümeleri için de kullanılmalıdır. İkinci klasör, *functions*, Şekil 1'de alfabetik sırayla verilen 7 alt klasörü içermektedir. Bunlardan ilki, yanılgi enerjilerinin hesaplanması ve haritalanması ile ilgili 4 fonksiyondan (*err_en_map.m*, *alf_xo.m*, *zo_alf.m*, *zo_xo.m*) oluşan *error_energy_maps_f* klasörüdür. Bu çalışmada birden fazla iletken yapı (çoklu yapılar) için genelleştirilmiş düz çözüm kodu, *forward_mod_f* olarak adlandırılan ikinci alt klasörde bulunabilir. Üçüncü alt klasör (*log_f*), ters çözümde kullanılan parametre arama uzayları ve algoritmanın kullanıcı tanımlı parametrelerinin ve FA tarafından elde edilen sonuçlar ile birlikte *RMS* istatistiklerinin kaydedildiği bir log dosyası üreten (*log_dsa.out*) *log_dsa.m* fonksiyonunu içerir. FA algoritmasını içeren *dsa.m* fonksiyonu *meta_f* adlı dördüncü alt klasöre yerleştirilmiştir. *D*, *Np* ve *G* gibi algoritmanın kullanıcı tanımlı parametreleri, *vtr* ve *p1* ve *p2* için başlangıç değerleri *Param_dsa.m* fonksiyonunda tanımlanmıştır. Bu nedenle, söz konusu bu değerler ilgili bilimsel probleme uygun olarak kullanıcılar tarafından dikkatle kontrol edilmelidir. *Functions* klasörü altındaki bir sonraki alt klasör, *objective_f*, aşağıda verilen amaç fonksiyonu aracılığıyla yanılgi enerjisini hesaplar.

$$E = [d_i^{obs} - d_i^{cal}]^T \cdot [d_i^{obs} - d_i^{cal}] / N \quad 5.5$$

Burada *N* veri sayısı, *i* ölçümleri, *d^{obs}* ve *d^{cal}* sırasıyla gözlenen ve hesaplanan YHEM verilerini göstermektedir. 5.5 denkleminin karekökü elde edilen sonuçların istatistiksel analizini göstermek için kullanılan *RMS* değerlerini vermektedir. Geliştirilen algorithmada hem düz hem de ters çözüm ayrı ayrı gerçekleştirilebilmektedir. Bununla birlikte, ters ve düz çözüm (*modeling.m*) için temel çizim fonksiyonu (*hlem_plot*) *plot_f* alt klasöründe bulunabilir. Ters çözüm için; bu fonksiyon, elde edilen sonuçların grafiksel çizimlerini algoritmanın her bir bağımsız çalışmasının sonunda ya da kullanıcının seçimine bağılı olarak her bir nesilin (*G*) sonunda eş zamanlı olarak üretebilir. Son alt klasör (*read_data_f*), sadece *data* klasöründe bulunan kuramsal veya arazi belirtilerinin (*hlem_obs*) değil aynı zamanda evrim döngüsünde göz önüne alınan parametre arama uzaylarının sınırlarının (*minb* ve *maxb*) da tanımlandığı *read_data* fonksiyonunu içerir. Son olarak FA tarafından elde

edilen sonuçları kaydetmek için bir *outputs* klasörü oluşturulmuştur. Bu klasör, *fig_files*, *log_files* ve *mp4_files* olarak adlandırdığımız üç alt klasör içerir.

Çizelge 5.1. *Hlem_global* içerisinde kullanılan bazı parametreler ve kullanımları

Parametre	Opsiyon	Açıklama
<i>sol</i>	1	Düz çözüm
	2	Ters çözüm
	3	Yanılıgı enerji haritaları
<i>fname</i>	1	Kuramsal veri için (1)
	2	Arazi verisi için (2)
<i>mos</i>	1	Çözüm yöntemi, FA için (1)
	2	Başka bir metasezgisel eklenmesi durumunda
<i>Nrun</i>	-	Bağımsız çalıştırma sayısı
<i>L</i>	-	Halka aralığı
<i>plt</i>	0	Her bir bağımsız çalıştırma sonunda çizim
	1	Her bir çalışmada her bir nesil için eşzamanlı çizim
<i>vid</i>	0	Kayıt yok
	1	Kayıt var
<i>par_coup</i>	1	zo & α
	2	zo & xo
	3	α & xo

Hlem_global'in tek bir şekil üzerinde birden çok çizim panelini içeren grafik çıktıları *fig_files* alt klasöründe bir *FIG* dosyası olarak kaydedilir. Ana kod çalıştırıldıktan sonra elde edilen sonuçları içeren dört log dosyası ayrı ayrı *log_files* alt klasörüne kaydedilir. Bunlar sırasıyla yukarıda değinilen *log_dsa.out*, en düşük *RMS* değerini sağlayan çalışmanın sonuçlarını içeren *best_model.dat*, nesil sayısına göre parametre değerlerinin değişimini gösteren sonuçları içeren *par_vs_gen.dat* ve FA'nın her bir bağımsız çalışmasında başlangıç topluluğundaki değişimini kaydeden *run_vs_pop.dat* dosyalarıdır. Son olarak, eğer kullanıcı bir *mp4* uzantılı dosya olarak sonuçları kaydetmek isterse ilgili video çıktıları son alt klasöre (*mp4_files*) kaydedilecektir. Yukarıda verilen Çizelge 5.1, genel olarak *hlem_global* içerisinde kullanılan bazı parametre tanımlamalarını ve bu parametrelerin uygulamadaki varsa opsiyonlarını göstermektedir.

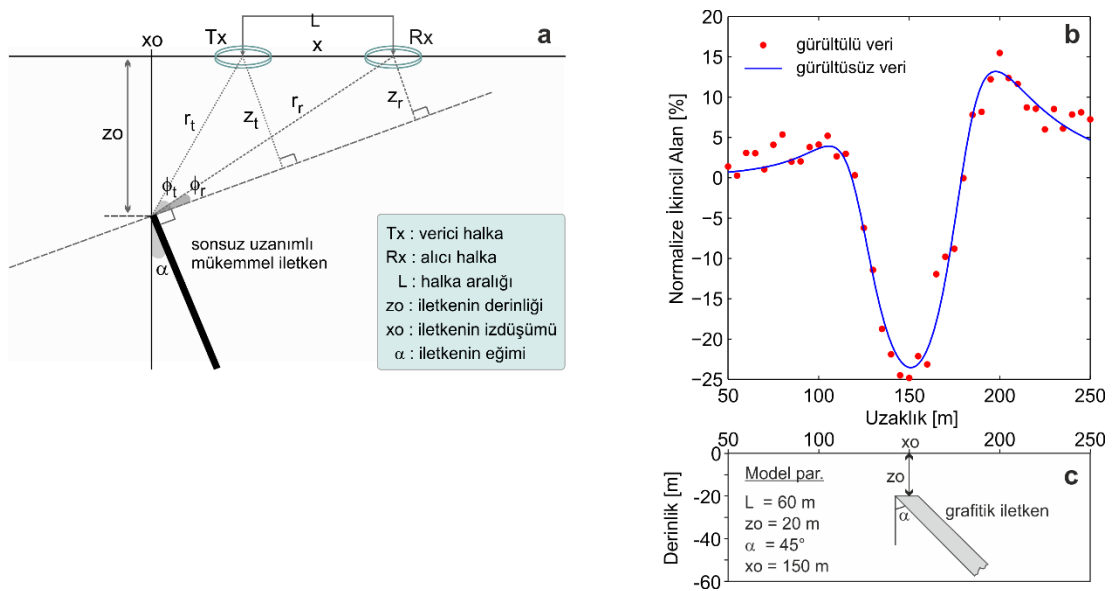
6. UYGULAMALAR

Bu tez çalışması kapsamında FA algoritması kullanılarak YHEM belirtilerinden model parametreleri kestirimi amacıyla iki kuramsal ve iki alan veri kümesi kullanılmıştır. Kuramsal veri kümeleri, sırasıyla sonsuz uzunlukta ince eğimli (0-90°) bir ve iki iletken levha tipi yapıdan kaynaklanan belirtileri kapsamaktadır. Kuramsal veri kümelerine gürültü eklenerek gürültü içeriğinin çözüm üzerindeki etkisi ve algoritmanın çözüm gücü ayrıca araştırılmıştır. Alan Slingram verileri ise Kuzey Avustralya’da eğimli grafitik şeyller üzerinde ölçülen belirtileri kapsamaktadır. İzleyen bölümler yukarıda değinilen veri kümelerinin FA algoritması ile değerlendirilmesi ve elde edilen sonuçları içermektedir.

6.1. Kuramsal Veri Kümesi

6.1.1. Bir yapıli model

Model parametreleri $z_o = 20$, $\alpha = 45^\circ$ ve $x_o = 150$ m olan bir eğimli iletken yapıdan kaynaklanan Slingram belirtisi (Dondurur ve Sarı, 2004) Şekil 6.1’de verilmiştir. Belirtiye ayrıca sıfır ortalamalı ve standart sapması ± 2 olan rastgele (pseudo random) sayılardan oluşan bir gürültü eklenmiştir.



Şekil 6.1. a) Mükemmel ince iletkenin model parametrelerini yalınlaştırılmış gösterimi (Dondurur ve Sarı, 2004’den uyarlanmıştır) b) Kuramsal model (Dondurur ve Sarı, 2004) c) Model parametreleri ve şematik gösterimleri

6.1.1.1. Gürültüsüz veri

Doğadan esinlenilerek geliştirilen metasezgisellerin genel olarak algoritmaya özgü bazı parametreleri bulunmaktadır. Kullanıcı tanımlı bu parametreler metasezgiselin başarısını ve performansını önemli ölçüde etkileyebilmektedir (Yang 2014, s. 38). Bu nedenle, söz konusu bu parametrelerin, çözülmesi istenen her bir optimizasyon probleminde ayrıca araştırılması (parameter tuning) ve en iyi sonucu üreten bu parametre ve/veya parametrelerin uygulamada kullanılması gerekmektedir. Metasezgisellerin doğası gereği hesaplama yoğun algoritmalar olduğu dikkate alındığında algoritmaların kontrol parametrelerinin belirlenmesinin ilgili problemin çözümünden bağımsız belirli bir araştırma süreci gerektirdiği açıktır. Bu nedenle araştırmacılar, yaygın olarak bu süreci daha kolay aşabilmek için ilgili parametrelerin algoritma içinde otomatik olarak uyarlandığı (self-adaptive) metasezgisel sürümlerini geliştirme çabası içine girmektedir. Bu tez çalışmasında kullanılan FA algoritması daha önceki bölümde belirtildiği gibi $p1$ ve $p2$ olarak tanımlanan sadece iki parametrenin kullanıcı tarafından belirlenmesini gerektirmektedir. Civicioglu (2012), metasezgiselin orijinal makalesinde çeşitli test fonksiyonları üzerinde gerçekleştirdiği uygulamalarında algoritmanın söz konusu kontrol parametrelerine çok duyarlı olmadığını bununla birlikte $p1 = p2 = 0.3 \cdot rand()$ değerinin daha iyi çözümler ürettiğini belirtmiştir. FA algoritmasını, kendi problemlerinin çözümünde kullanan diğer bilim dallarındaki çeşitli araştırmacılar da genel olarak yazarın yukarıda değinilen bu açıklamasına atıfta bulunarak bu parametrelerin araştırılmasına gerek duymamış ve önerilen parametreleri kullanmıştır. Bu çalışmada gerek YHEM belirtisinin değerlendirilmesiyle kestirilecek model parametre sayısının az olması ve gerekse düz çözüm bağıntısının hesaplamada görece az bir zaman alması nedeniyle $p1$ ve $p2$ parametrelerinin belirlenmesi için ayrıca bir araştırma gerçekleştirilmiştir. Çizelgeler 6.1 ve 6.2 çeşitli $p1$ ve $p2$ çiftleri kullanarak gerçekleştirilen bu araştırmanın sonuçlarını göstermektedir. Her iki parametre için araştırmada kullanılan değerler sırasıyla 0.1, 0.3, 0.5, 1, 2, 4, 5, 6, 8 ve 10 olarak belirlenmiştir. Dolayısıyla, $p1$ 'in bir değeri için (örneğin 0.1); $p2$ yukarıda verilen 10 farklı değer ile eşleştirilerek araştırma gerçekleştirilmiştir. Parametre arama uzayı değerleri sırasıyla z_0 (5-50) m , α (0-90) ° ve x_0 (50-250) m'dir. Elde edilen çözümlerin RMS değerlerinin minimum, maksimum, ortalama ve standart sapma değerleri dikkate alınarak toplam 100 adet $p1$ - $p2$ çifti arasında belirlenen en iyi parametre çiftleri çizelgelerde koyu olarak gösterilmiştir.

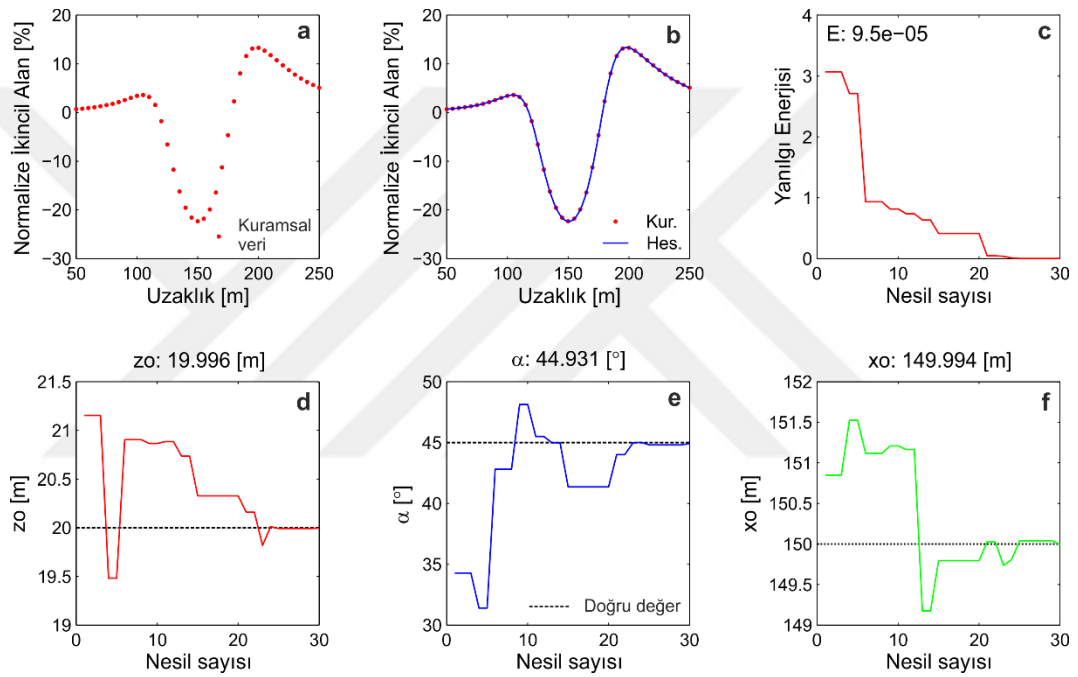
Çizelge 6.1. Bir yapılı model için $p1$ ve $p2$ parametrelerinin çözüm üzerindeki etkileri ($G = 30$, $Np = 15$, $p1 = 0.1, 0.3, 0.5, 1, 2$ ve $p2 = 0.1, 0.3, 0.5, 1, 2, 4, 5, 6, 8, 10$). Sonuçlar FA algoritmasının 30 bağımsız çalışmasından elde edilmiştir.

$p1$	$p2$	RMS			
		Min.	Max.	Ort.	Std. Sap.
0.1	0.1	3.54e-01	2.28e+00	8.71e-01	5.00e-01
	0.3	2.07e-01	2.52e+00	8.69e-01	6.37e-01
	0.5	2.45e-02	2.21e+00	8.68e-01	5.21e-01
	1	8.59e-02	2.02e+00	5.71e-01	4.21e-01
	2	2.30e-02	2.90e+00	7.03e-01	7.06e-01
	4	3.35e-02	2.05e+00	5.25e-01	5.11e-01
	5	3.89e-02	1.92e+00	4.03e-01	4.61e-01
	6	2.09e-02	1.60e+00	5.28e-01	4.40e-01
	8	2.81e-02	3.32e+00	6.28e-01	7.65e-01
	10	1.09e-03	3.19e+00	8.40e-01	8.83e-01
0.3	0.1	7.89e-02	2.47e+00	9.96e-01	6.64e-01
	0.3	1.94e-01	2.45e+00	8.94e-01	5.97e-01
	0.5	6.10e-02	1.93e+00	7.47e-01	5.35e-01
	1	5.11e-02	2.40e+00	7.61e-01	6.33e-01
	2	4.70e-02	2.14e+00	4.99e-01	5.23e-01
	4	1.25e-02	3.38e+00	6.79e-01	8.36e-01
	5	2.88e-02	2.06e+00	4.90e-01	5.42e-01
	6	9.64e-03	3.95e+00	8.18e-01	8.94e-01
	8	4.22e-02	2.54e+00	5.30e-01	5.68e-01
	10	4.44e-02	3.23e+00	6.80e-01	6.92e-01
0.5	0.1	1.28e-01	3.05e+00	1.02e+00	7.27e-01
	0.3	2.99e-02	2.25e+00	9.28e-01	5.45e-01
	0.5	1.54e-01	2.64e+00	9.45e-01	6.94e-01
	1	3.15e-02	2.64e+00	5.40e-01	5.78e-01
	2	3.89e-02	3.05e+00	5.01e-01	5.94e-01
	4	3.55e-02	3.48e+00	7.31e-01	9.49e-01
	5	1.02e-02	3.19e+00	6.39e-01	8.20e-01
	6	1.45e-02	2.46e+00	5.26e-01	5.90e-01
	8	2.83e-02	2.36e+00	6.57e-01	5.16e-01
	10	3.87e-02	2.85e+00	5.06e-01	5.62e-01
1	0.1	1.83e-01	2.64e+00	8.99e-01	7.31e-01
	0.3	5.68e-02	3.67e+00	9.95e-01	8.33e-01
	0.5	2.38e-02	2.64e+00	6.15e-01	6.59e-01
	1	3.17e-02	2.02e+00	5.10e-01	4.59e-01
	2	1.73e-02	5.23e+00	9.17e-01	1.47e+00
	4	4.70e-02	2.01e+00	5.21e-01	4.26e-01
	5	9.76e-03	2.77e+00	4.84e-01	5.82e-01
	6	1.42e-02	3.19e+00	4.98e-01	7.04e-01
	8	8.54e-02	3.19e+00	6.17e-01	6.56e-01
	10	8.09e-02	4.21e+00	8.64e-01	9.83e-01
2	0.1	8.46e-02	1.92e+00	7.52e-01	5.30e-01
	0.3	2.50e-01	2.68e+00	7.38e-01	4.93e-01
	0.5	5.11e-02	3.45e+00	9.56e-01	8.44e-01
	1	8.32e-02	1.40e+00	4.81e-01	3.64e-01
	2	1.70e-03	2.33e+00	5.67e-01	6.33e-01
	4	2.03e-02	2.74e+00	4.71e-01	5.18e-01
	5	5.67e-02	1.07e+00	3.57e-01	3.05e-01
	6	1.35e-02	3.19e+00	6.24e-01	7.87e-01
	8	1.68e-02	3.28e+00	5.77e-01	8.33e-01
	10	1.77e-02	2.25e+00	3.92e-01	5.16e-01

Çizelge 6.2. Bir yapılı model için $p1$ ve $p2$ parametrelerinin çözüm üzerindeki etkileri. ($G = 30$, $Np = 15$, $p1 = 4, 5, 6, 8, 10$ ve $p2 = 0.1, 0.3, 0.5, 1, 2, 4, 5, 6, 8, 10$). Sonuçlar FA algoritmasının 30 bağımsız çalışmasından elde edilmiştir.

$p1$	$p2$	RMS			
		Min.	Max.	Ort.	Std. Sap.
4	0.1	5.64e-02	3.55e+00	1.08e+00	8.23e-01
	0.3	1.09e-01	3.86e+00	7.62e-01	8.05e-01
	0.5	7.12e-02	1.78e+00	4.98e-01	4.36e-01
	1	8.98e-02	1.05e+00	3.75e-01	2.43e-01
	2	1.06e-02	2.28e+00	4.45e-01	5.38e-01
	4	9.88e-03	3.31e+00	4.91e-01	6.37e-01
	5	1.53e-02	2.36e+00	4.34e-01	5.17e-01
	6	1.59e-02	3.22e+00	7.00e-01	8.12e-01
	8	2.77e-02	3.13e+00	7.37e-01	8.29e-01
	10	5.15e-02	3.28e+00	8.33e-01	7.85e-01
5	0.1	7.16e-02	2.54e+00	7.38e-01	6.90e-01
	0.3	4.47e-02	2.32e+00	7.99e-01	6.89e-01
	0.5	3.23e-02	3.19e+00	7.61e-01	7.79e-01
	1	3.98e-02	2.06e+00	5.76e-01	5.33e-01
	2	1.85e-02	1.18e+00	4.32e-01	3.31e-01
	4	1.10e-02	3.19e+00	7.13e-01	8.21e-01
	5	3.71e-02	3.19e+00	6.32e-01	8.71e-01
	6	1.95e-02	2.53e+00	5.63e-01	5.67e-01
	8	1.69e-02	3.82e+00	6.16e-01	1.03e+00
	10	1.40e-02	3.18e+00	7.32e-01	8.22e-01
6	0.1	1.36e-01	2.72e+00	8.91e-01	6.39e-01
	0.3	1.48e-01	1.92e+00	6.48e-01	4.34e-01
	0.5	6.11e-02	2.89e+00	8.28e-01	7.48e-01
	1	1.12e-02	3.13e+00	5.44e-01	5.87e-01
	2	2.81e-02	2.23e+00	4.31e-01	5.09e-01
	4	8.35e-03	3.40e+00	8.63e-01	9.86e-01
	5	1.99e-02	3.19e+00	4.83e-01	5.88e-01
	6	2.92e-02	3.14e+00	6.32e-01	7.91e-01
	8	1.77e-02	2.73e+00	6.11e-01	7.20e-01
	10	6.64e-03	2.07e+00	4.64e-01	5.78e-01
8	0.1	3.81e-02	2.14e+00	6.01e-01	5.04e-01
	0.3	3.34e-02	1.84e+00	6.65e-01	5.33e-01
	0.5	6.27e-02	2.56e+00	6.51e-01	6.47e-01
	1	5.38e-02	2.27e+00	6.42e-01	5.54e-01
	2	1.36e-02	3.32e+00	6.73e-01	8.68e-01
	4	3.42e-02	3.13e+00	6.39e-01	8.56e-01
	5	3.47e-02	3.39e+00	7.25e-01	9.74e-01
	6	2.95e-02	2.74e+00	6.82e-01	7.08e-01
	8	2.07e-02	2.08e+00	4.20e-01	4.62e-01
	10	2.64e-03	3.17e+00	5.75e-01	7.49e-01
10	0.1	6.39e-02	3.26e+00	9.28e-01	7.75e-01
	0.3	6.42e-02	2.59e+00	8.58e-01	6.57e-01
	0.5	3.43e-02	2.27e+00	5.86e-01	5.28e-01
	1	3.89e-02	1.98e+00	5.77e-01	4.68e-01
	2	2.08e-02	2.67e+00	5.79e-01	6.61e-01
	4	4.23e-02	3.18e+00	5.77e-01	6.93e-01
	5	1.75e-02	3.18e+00	4.56e-01	6.50e-01
	6	3.18e-02	1.80e+00	4.28e-01	5.01e-01
	8	1.15e-02	3.20e+00	4.53e-01	6.57e-01
	10	2.81e-02	3.18e+00	7.02e-01	6.79e-01

Değerlendirmede hesaplama maliyetini azaltarak parametre çiftlerinin çözüme yakınsama hızlarını araştırmak amacıyla algoritmada nesil sayısı 30 olarak belirlenmiştir. İstatistiksel bir değerlendirme yapabilmek amacıyla FA algoritması birbirinden bağımsız olarak 30 kez çalıştırılmıştır. Çizelgelerden elde edilen sonuçlar incelendiğinde en verimli sonuçları $p1 = 1$ ve $p2 = 5$ parametre çiftinin ürettiği görülmüştür (bk. Çizelge 6.1, eğik, kırmızı renkte gösterilen sonuçlar). Şekil 6.2, kuramsal model, bu parametre çifti kullanılarak elde edilen model parametrelerinden hesaplanan belirti ile kuramsal belirtinin bir karşılaştırmasını, yanılgi enerjisinin ve model parametrelerinin her bir nesildeki değişimini göstermektedir.



Şekil 6.2. a) Kuramsal bir yapıli model b) $p1 = 1 \cdot rand()$ ve $p2 = 5 \cdot rand()$ kullanılarak 30 nesil sonunda elde edilen model parametrelerinden hesaplanan belirtinin kuramsal model ile karşılaştırılması c) Yanılgi enerjisinin her bir nesildeki değişimi d-f) Model parametrelerinin (sırasıyla zo , α ve xo) her bir nesildeki değişimi

İnce eğimli levha tipi bir yapı için üretilen kuramsal YHEM belirtisinin değerlendirilmesi amacıyla FA algoritmasının kontrol parametreleri için ($p1$ ve $p2$) en uygun değerler belirlendikten sonra topluluk sayısının (Np) çözüm üzerindeki etkisi araştırılmıştır. Bu amaç için algoritmada topluluk sayıları model parametreleri sayısının ($D = 3$) katları olarak sırasıyla 9, 15, 18, 24, 30, 36, 45 ve 60 olarak seçilmiştir. Algoritmanın 30 bağımsız çalıştırmasından 50 nesil sonunda elde edilen sonuçlar Çizelge 6.3'te sunulmuştur. Çizelgede, her bir topluluk sayısı dikkate alınarak

30 çözüm arasında elde edilen en iyi sonuçlar gösterilmektedir. Topluluk sayısı arttıkça doğal olarak algoritma için hesaplama maliyeti de artmaktadır. Algoritmada düz çözüm fonksiyonu 60 bireyden oluşan bir topluluk ve 50 nesil için 3000 kez çalıştırılmaktadır. Bununla birlikte, problemin boyutu ve daha önce de değinildiği gibi düz çözümün yoğun hesaplama gerektirmemesi dikkate alındığında $Np = 60$ için bile yaklaşık 60 sn civarındaki hesaplama süresi bir metasezgiselin uygulamasında kabul edilebilir bir süredir. Sonuç olarak, algoritmada kullanılan topluluk sayısına bağlı olarak ortalama çözüm süreleri de dikkate alındığında değerlendirmede kullanılacak en uygun Np değeri 45 ($D \times 15$) olarak belirlenmiştir.

Çizelge 6.3. FA algoritmasında topluluk sayısının çözüm üzerindeki etkisi. En uygun Np değeri ve bu değer için elde edilen model parametreleri ve istatistiksel sonuçlar koyu olarak gösterilmiştir.

Np	Parametreler			RMS			Ort. süre [sn]
	z_0 [m]	α [°]	x_0 [m]	Min.	Max.	Std. Sap.	
9	20.19±0.85	46.88±8.27	149.73±1.46	5.47e-03	3.18e+00	6.70e-01	13.61
15	19.98±0.15	44.69±0.89	150.08±0.22	2.84e-03	6.37e-01	1.76e-01	19.54
18	20.01±0.09	45.09±0.51	150.00±0.04	1.99e-03	4.20e-01	8.03e-02	24.56
24	19.99± 0.04	44.98±0.17	149.99±0.03	3.39e-04	1.69e-01	3.53e-02	27.56
30	20.13±0.04	46.42±0.26	149.75±0.06	4.62e-04	3.46e-01	6.56e-02	33.15
36	19.99±0.06	44.91±0.47	150.00±0.05	3.65e-04	3.68e-01	7.06e-02	39.07
45	20.00±0.008	45.00±0.06	150.00±0.01	2.94e-04	3.92e-02	1.05e-02	47.42
60	19.99±0.01	45.01±0.06	149.99±0.06	2.93e-04	1.84e-01	3.39e-02	62.74

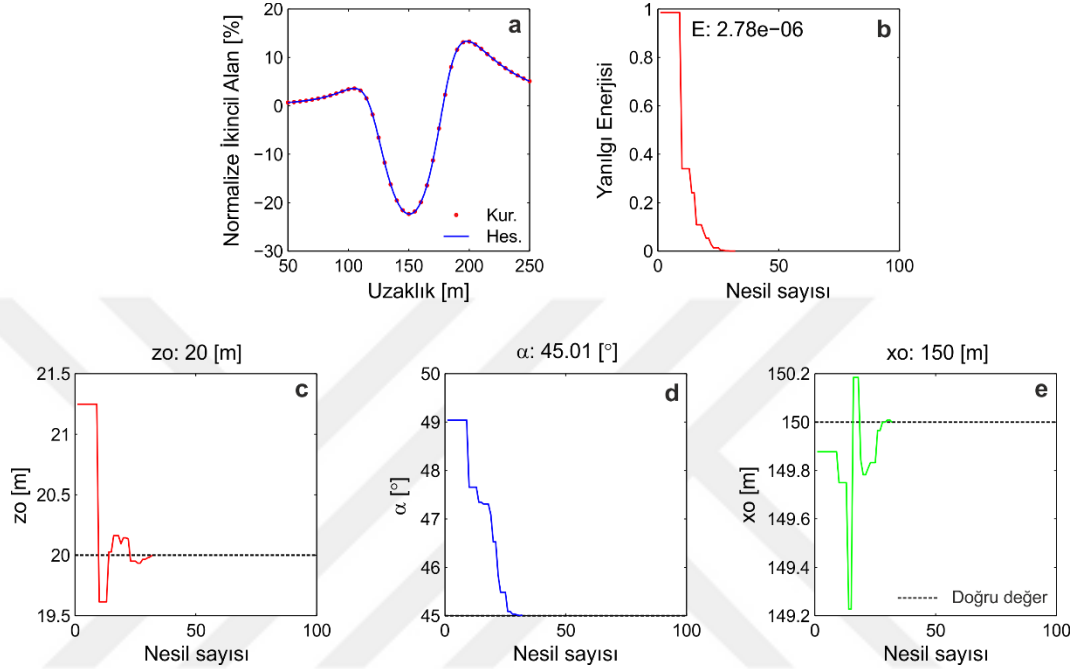
Kuramsal veri kümesinin FA ile değerlendirilmesinde algoritma için en uygun başlangıç $p1$ - $p2$ çifti (1-5) ve en verimli Np değeri (45) belirlendikten sonra, topluluk temelli metasezgisellerde genel olarak diğer bir önemli parametre olan nesil sayısı (G) için uygun bir değer belirlenmesi amacıyla bir araştırma gerçekleştirilmiştir. Bu amaç için öncelikle maksimum nesil sayıları, algoritmanın her bir bağımsız çalıştırması için sırası ile 30, 50 ve 100 olarak belirlenmiştir. 30 bağımsız çalıştırma sonunda elde edilen ortalama model parametre değerleri, RMS istatistikleri ve algoritmanın bir çalıştırması için geçen ortalama süre Çizelge 6.4’de verilmiştir. Buna göre, nesil sayılarının 50 ve 100 olduğu durumlarda görece daha düşük RMS değerleri elde edilmiştir. Nesil sayısının en büyük olduğu $G = 100$ durumunda istatistiksel olarak daha iyi sonuçlara ulaşılmakla birlikte, doğal olarak hesaplama maliyetinin de arttığı gözlenmektedir. Bu nedenle bu tez çalışması kapsamında, algoritmayı durdurma koşulu olan maksimum nesil sayısına (yaklaşım 1) ek olarak, yanılgi enerjisi (E) değerini dikkate alan bir eşik değeri algoritma içinde tanımlanmıştır. Bu durumda

algoritma, kullanıcı tanımlı eşik değerinden daha küçük bir E değerine ulaştığı nesilde, yani maksimum nesil sayısına ulaşmadan, o çalıştırma sonlandırmaktadır (yaklaşım 2). Çizelge 6.4’de eğik olarak gösterilen sonuçlar maksimum nesil sayıları sırasıyla 30, 50 ve 100 olmak üzere yaklaşım 2 (eşik değeri, $1e-04$) kullanılarak elde edilmiştir. Çizelgeden de görüldüğü gibi, $G = 30$ durumunda, sadece 3 çalıştırma için eşik değerinin altına düşüldüğü için ortalama nesil sayısı 29.8’dir. $G = 50$ durumunda ise sadece 9 çalıştırma için algoritma maksimum nesil sayısına ulaşırken, 21 çalıştırmada bu değere ulaşmadan sonlanmış ve 30 bağımsız çalıştırma için ortalama nesil sayısı 40.8 olmuştur. Eşik değeri kullanmadan sadece maksimum nesil sayısının durdurma ölçütü olarak kullanıldığı ilk yaklaşım dikkate alındığında ikinci yaklaşıma göre görece biraz daha iyi istatistiksel RMS değerleri elde edilmiştir. Bununla birlikte, her iki yaklaşım için algoritmanın 30 bağımsız çalışmasından elde edilen model parametrelerinin ortalama değerleri hemen hemen aynıdır. Ancak her iki yaklaşım için hesaplama maliyetleri dikkate alındığında, yaklaşım 2’nin ilk yaklaşıma göre ortalama 2 sn kadar kısa bir sürede sonlandığı görülmektedir. Son durumda ($G = 100$) yaklaşım 2 için, algoritma sadece 9 çalıştırma için 50 nesil sayısını aşarken ortalama nesil sayısı 43.8 olmuştur. Her ne kadar eşik değeri kullanılmadığı ilk yaklaşımda görece daha iyi istatistiksel sonuçlar elde edilse de ikinci yaklaşıma göre hesaplama maliyeti bir çalıştırma için yaklaşık 13 sn kadar artmaktadır. Ayrıca, güncel problem için yeraltında çözülmesi istenen yapı sayısı arttığında ve/veya jeofiziğin hesaplama yoğun görece daha zor diğer düz çözüm problemleri dikkate alındığında hesaplama maliyetinin çok daha fazla olabileceği oldukça açıktır. Bu nedenle, tüm bu sonuçlar dikkate alındığında değerlendirmede, maksimum nesil sayısı ($G = 100$) ile birlikte ön tanımlı bir eşik değerinin de algoritma içerisinde bir sonlandırma ölçütü olarak kullanılması (yaklaşım 2) uygun olacaktır.

Çizelge 6.4. Bir yapılı model için FA algoritmasında $p1 = 1$ ve $p2 = 5$ kullanılarak yaklaşım 1 (maksimum G sırasıyla 30, 50, 100) ve yaklaşım 2’den (eşik değeri, $1e-04$) gürültüsüz belirti için elde edilen sonuçlar (eğik yazı ile gösterilmiştir).

G	Parametreler		RMS					Ort. süre [s]
	zo [m]	α (°)	xo [m]	Min.	Max.	Ort.	Std. Sap.	
30	20.02±0.21	44.21±4.94	149.98±0.22	5.14e-03	2.49e+00	2.11e-01	4.51e-01	9.61
50	20.00±0.01	45.01±0.06	150.00±0.02	2.93e-04	5.10e-02	7.59e-03	1.18e-02	12.18
100	20.00±0.00	45.00±0.00	150.00±0.00	2.93e-04	3.08e-04	2.93e-04	2.87e-06	23.30
29.8	20.03±0.14	44.94±0.60	149.97±0.26	5.25e-03	5.00e-01	1.23e-01	1.52e-01	7.75
40.8	20.00±0.01	44.99±0.09	150.00±0.01	4.75e-03	6.34e-02	1.13e-02	1.11e-02	10.16
43.8	20.00±0.01	45.00±0.04	150.00±0.01	1.67e-03	9.98e-03	6.67e-03	2.46e-03	10.66

Şekil 6.3, maksimum nesil sayısı 100, topluluk sayısı 45 ($Np = D \times 15$) ve yaklaşım 2 ile FA algoritması tarafından kestirilen model parametreleri kullanılarak elde edilen sonuçların grafik çizimlerini göstermektedir. Buna göre, 32. nesil sonunda elde edilen ve en düşük RMS ($1.67e-03$) değerini üreten model parametreleri sırasıyla $z_o = 20$ m, $\alpha = 45.01^\circ$ ve $x_o = 150$ m'dir.



Şekil 6.3. a) Yaklaşım 2 kullanılarak ($Np = 45$, $p1 = 1 \cdot rand()$ ve $p2 = 5 \cdot rand()$ ve maksimum $G = 100$) 32. nesil sonunda elde edilen model parametrelerinden hesaplanan belirtinin kuramsal model ile karşılaştırılması b) Yanılgı enerjisinin her bir nesildeki değişimi c-e) Model parametrelerinin (sırasıyla z_o , α ve x_o) her bir nesildeki değişimi

Daha önce de belirtildiği gibi genel olarak araştırmacılar tarafından algoritmanın kontrol parametreleri için $p1 = p2 = 0.3 \cdot rand()$ değerleri kullanılmaktadır. Bu parametre çifti ile bu çalışmada YHEM belirtisinden parametre kestirimi için daha başarılı sonuçlar ürettiği belirlenen parametre çiftinin ($p1 = 1$ ve $p2 = 5$) çözüm üzerindeki etkisinin araştırılması amacıyla Çizelge 6.4'de sonuçları sunulan değerlendirme karşılaştırma amaçlı tekrar edilmiştir. Çizelge 6.5, bu değerlendirmenin sonuçlarını göstermektedir. Buna göre, bu çizelge incelendiğinde yaygın olarak kullanılan bu parametrelerin yaklaşım 2 için sadece $G = 100$ durumunda eşik değerinden düşük yanılgı enerji değerleri ürettiği ve ortalama 71. neslin sonunda algoritmanın sonlandığı görülmektedir. $G = 30$ durumunda algoritma tüm bağımsız çalıştırmalar için ön tanımlı eşik değerine ulaşamamıştır. $G = 50$ durumunda ise

ortalama nesil sayısı 49.5'tir. Bu maksimum nesil sayıları için önerilen parametre çiftinin kullanılmasıyla elde edilen ortalama nesil değerleri sırasıyla 29.8 ve 40.8'dir. Ayrıca tüm durumlarda genel olarak daha iyi *RMS* istatistikleri elde edilmiştir. Bu durumda önerilen $p1 = 1$ ve $p2 = 5$ parametre çiftinin kullanılması durumunda yaygın olarak kullanılan parametrelere kıyasla çözüme daha hızlı yakınsanacağı, algoritmanın hesaplama maliyetinin azalacağı ve daha verimli sonuçların elde edileceği açıktır.

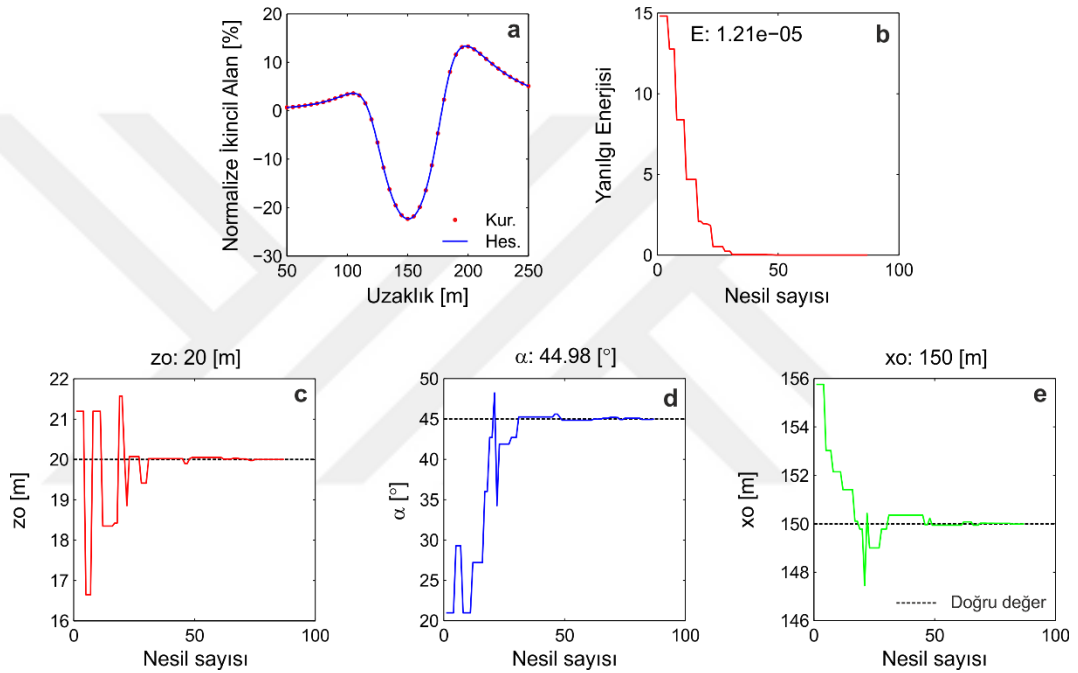
Çizelge 6.5. Bir yapılı model için FA algoritmasında $p1 = p2 = 0.3$ kullanılarak yaklaşım 1 (maksimum *G* sırasıyla 30, 50, 100) ve yaklaşım 2'den (eşik değeri, $1e-04$) gürültüsüz belirti için elde edilen sonuçlar (eğik yazı ile gösterilmiştir).

<i>G</i>	Parametreler			<i>RMS</i>				Ort. süre [s]
	<i>zo</i> [m]	α (°)	<i>xo</i> [m]	Min.	Max.	Ort.	Std. Sap.	
30	20.03±0.42	44.59±2.10	150.09±0.69	6.54e-02	1.20e+00	4.66e-01	2.86e-01	8.01
50	20.00±0.04	44.99±0.42	149.98±0.09	2.54e-03	1.55e-01	6.21e-02	4.76e-02	12.43
100	20.00±0.01	45.00±0.03	150.00±0.01	2.94e-04	8.08e-03	1.31e-03	1.89e-03	22.65
30	20.03±0.14	44.94±0.60	149.97±0.26	4.36e-02	2.22e+00	3.32e-01	3.98e-01	7.98
49.5	20.01±0.09	45.05±0.45	150.02±0.09	6.44e-03	2.72e-01	6.99e-02	6.79e-02	12.47
71.0	20.00±0.01	45.00±0.04	150.00±0.01	3.48e-03	9.93e-03	7.25e-03	2.00e-03	16.31

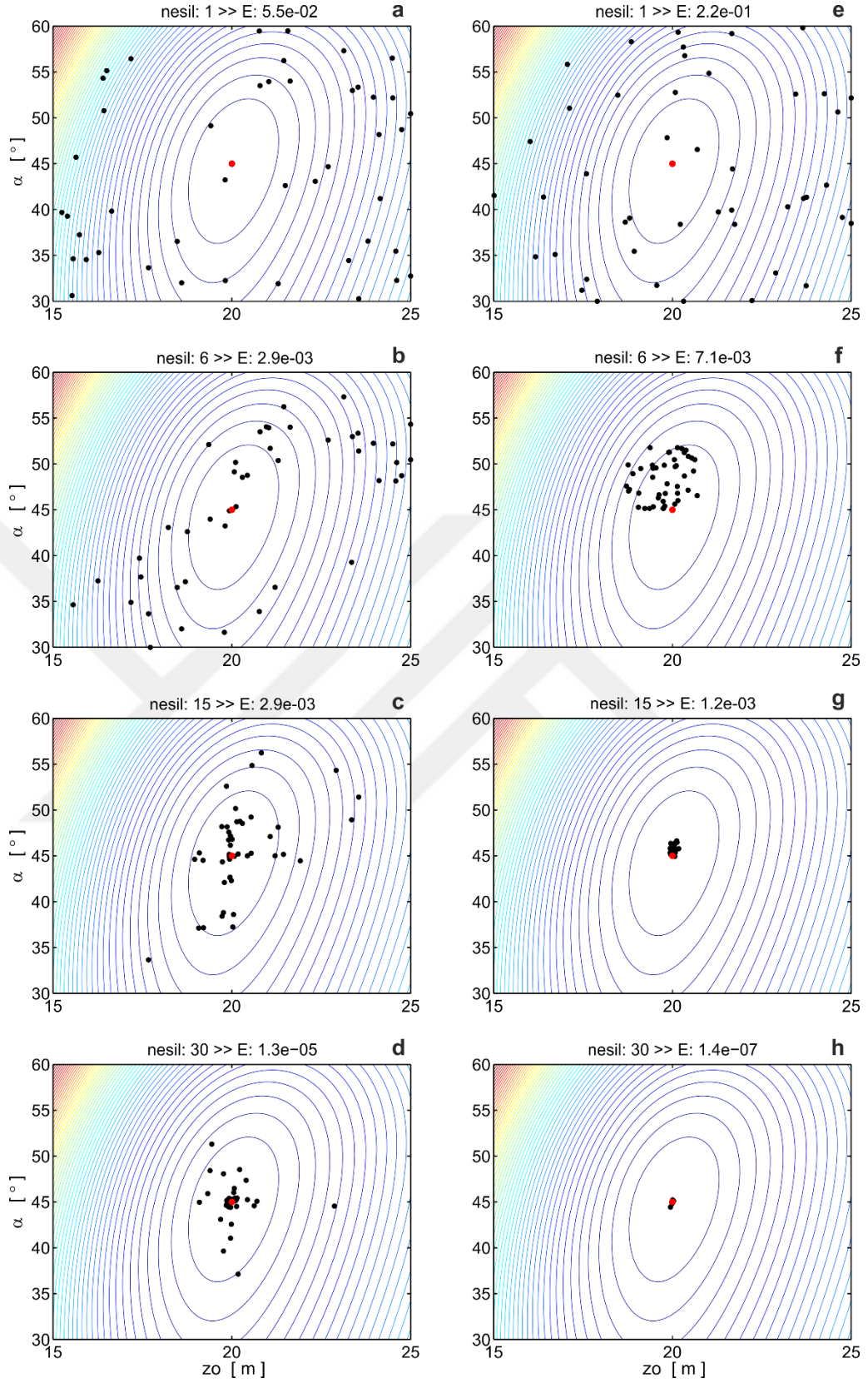
Şekil 6.4, maksimum nesil sayısı 100, topluluk sayısı 45 ($Np = D \times 15$) ve yaklaşım 2 ile FA algoritması tarafından ($p1 = p2 = 0.3$) kestirilen model parametreleri kullanılarak elde edilen sonuçların grafik çizimlerini göstermektedir. Buna göre, 87. nesil sonunda elde edilen ve en düşük *RMS* ($3.48e-03$) değerini üreten model parametreleri sırasıyla $zo = 20$ m, $\alpha = 44.98^\circ$ ve $xo = 150$ m'dir.

Kıyaslanan parametre çiftlerinin çözüm üzerindeki etkisinin her bir nesilde nasıl değiştiğinin daha anlaşılır olması için yanılgi enerjileri hesaplanarak haritalanmıştır. Hesaplama maksimum nesil sayısı 30 ve topluluk sayısı 45 ($15 \times D$) olarak kullanılmıştır. Bu amaç için $zo-\alpha$, $zo-xo$ ve $\alpha-xo$ parametre çiftleri parametre arama uzayında belirli değerler arasında aranırken üçüncü parametrelerin doğru değerleri kullanılmıştır. Yanılgi enerjileri, parametre arama uzayı değerleri için parametre kestiriminde kullanılan sınırlardan görece daha dar bir aralık kullanılarak hesaplanmıştır. Bu parametre arama uzayı değerleri sırasıyla her bir parametre için zo (15-25) m, α (30-60) ° ve xo (130-170) m'dir. Şekiller 6.5, 6.6 ve 6.7 sırasıyla yukarıda verilen parametre çiftleri için ayrı ayrı hesaplanan ve çeşitli nesiller için çizdirilen yanılgi enerjisi haritalarını, parametrelerin doğru değerlerini (içi dolu kırmızı daire), başlangıç topluluğunu ve ilgili nesillerdeki toplulukların yeni konumlarını (içi dolu

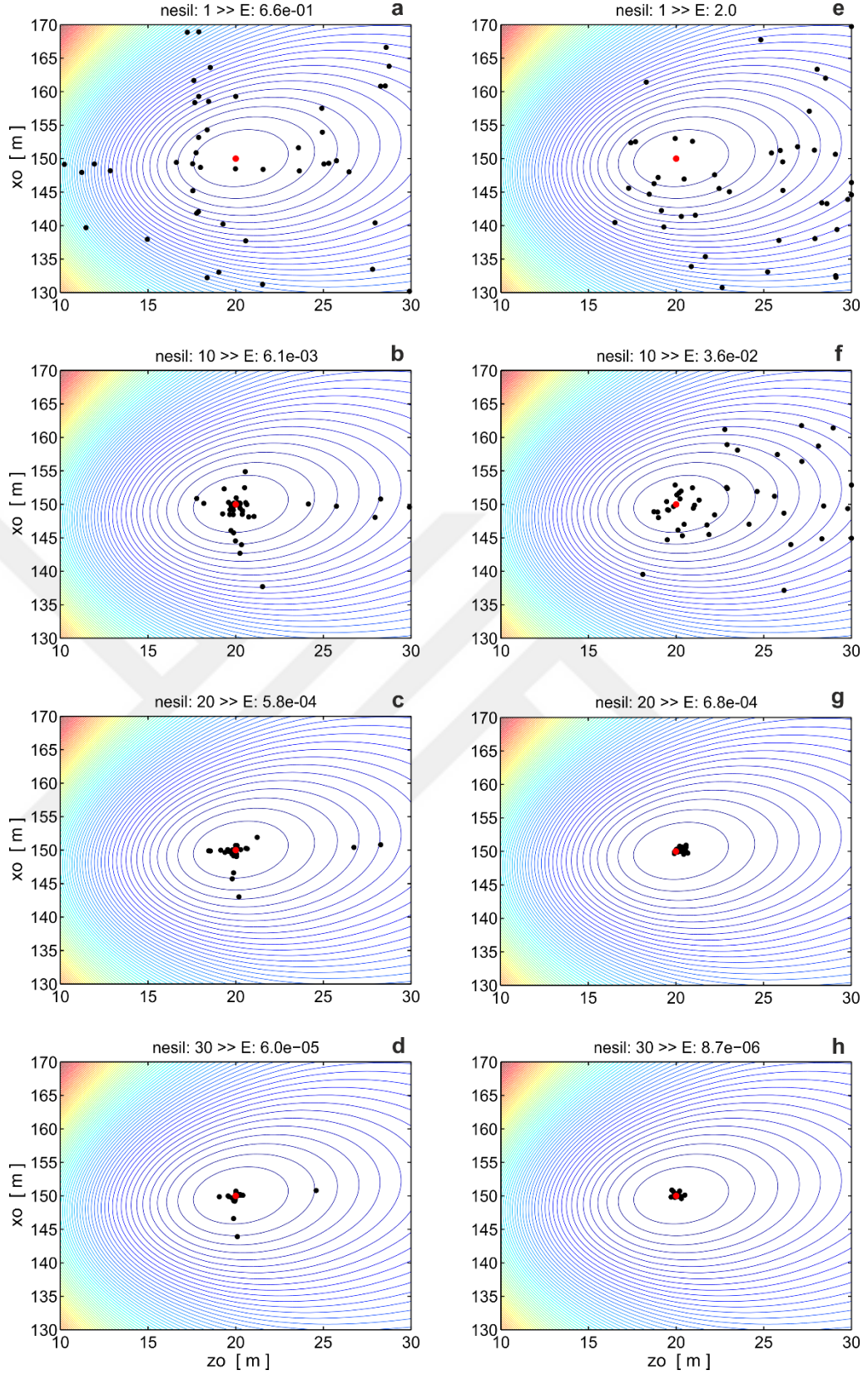
siyah daireler) göstermektedir. Bu şekillerden de açıkça görüldüğü gibi FA algoritmasında kontrol parametresi olarak $p1 = 1 \cdot rand()$ ve $p2 = 5 \cdot rand()$ kullanıldığında (her bir şekilde sağ sütun) global vadi içerisindeki çözüme yakınsama çok daha hızlı olmaktadır. $p1 = p2 = 0.3 \cdot rand()$ kullanıldığında (her bir şekilde sol sütun) ise 30. nesil sonunda dahi global vadi ve/veya global çözüm konturu içerisinde bulunmayan bireylerin bulundukları görülmektedir. Şekil 6.8 ise bu parametre çiftleri için yukarıda belirtilen sınırlarda hesaplanan yanılgi enerjisi değerlerinin iki ve üç boyutlu olarak birlikte sunumunu göstermektedir.



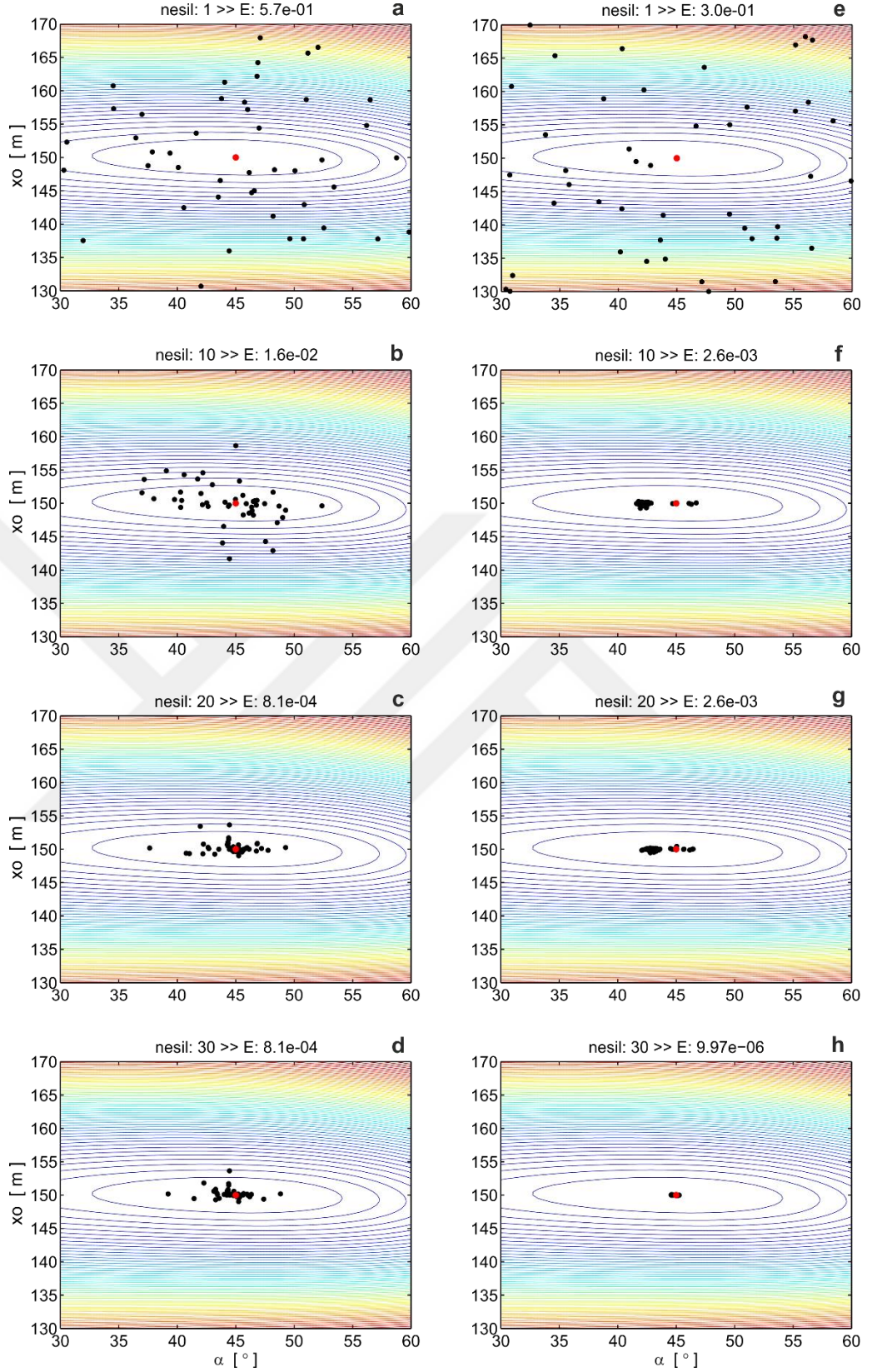
Şekil 6.4. a) Yaklaşım 2 kullanılarak ($Np = 45$, $p1 = p2 = 0.3 \cdot rand()$ ve maksimum $G = 100$) 87. nesil sonunda elde edilen model parametrelerinden hesaplanan belirtinin kuramsal model ile karşılaştırılması b) Yanılgi enerjisinin her bir nesildeki değişimi c-e) Model parametrelerinin (sırasıyla zo , α ve xo) her bir nesildeki değişimi



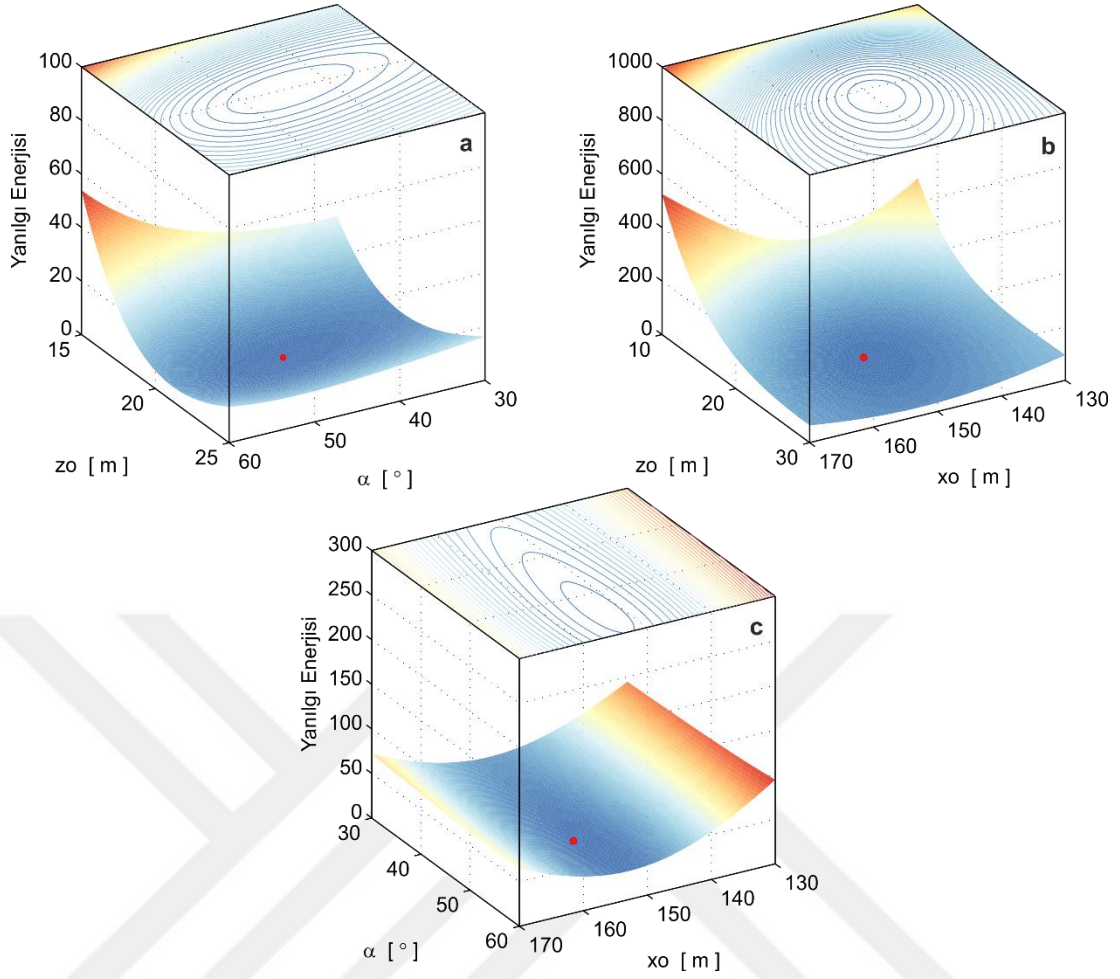
Şekil 6.5. Gürültüsüz veri kümesi ve α - z_o parametreleri için sırasıyla 1, 6, 15 ve 30. nesiller sonunda a-d) $p_1 = p_2 = 0.3 \cdot \text{rand}()$ ve e-h) $p_1 = 1 \cdot \text{rand}()$ ve $p_2 = 5 \cdot \text{rand}()$ kullanarak elde edilen yanlışlı enerjisi haritaları ($G = 30$, $N_p = 45$)



Şekil 6.6. Gürültüsüz veri kümesi ve z_o - x_o parametreleri için sırasıyla 1, 10, 20 ve 30. nesiller sonunda a-d) $p_1 = p_2 = 0.3 \cdot rand()$ ve e-h) $p_1 = 1 \cdot rand()$ ve $p_2 = 5 \cdot rand()$ kullanarak elde edilen yanlış enerji haritaları ($G=30$, $N_p=45$)

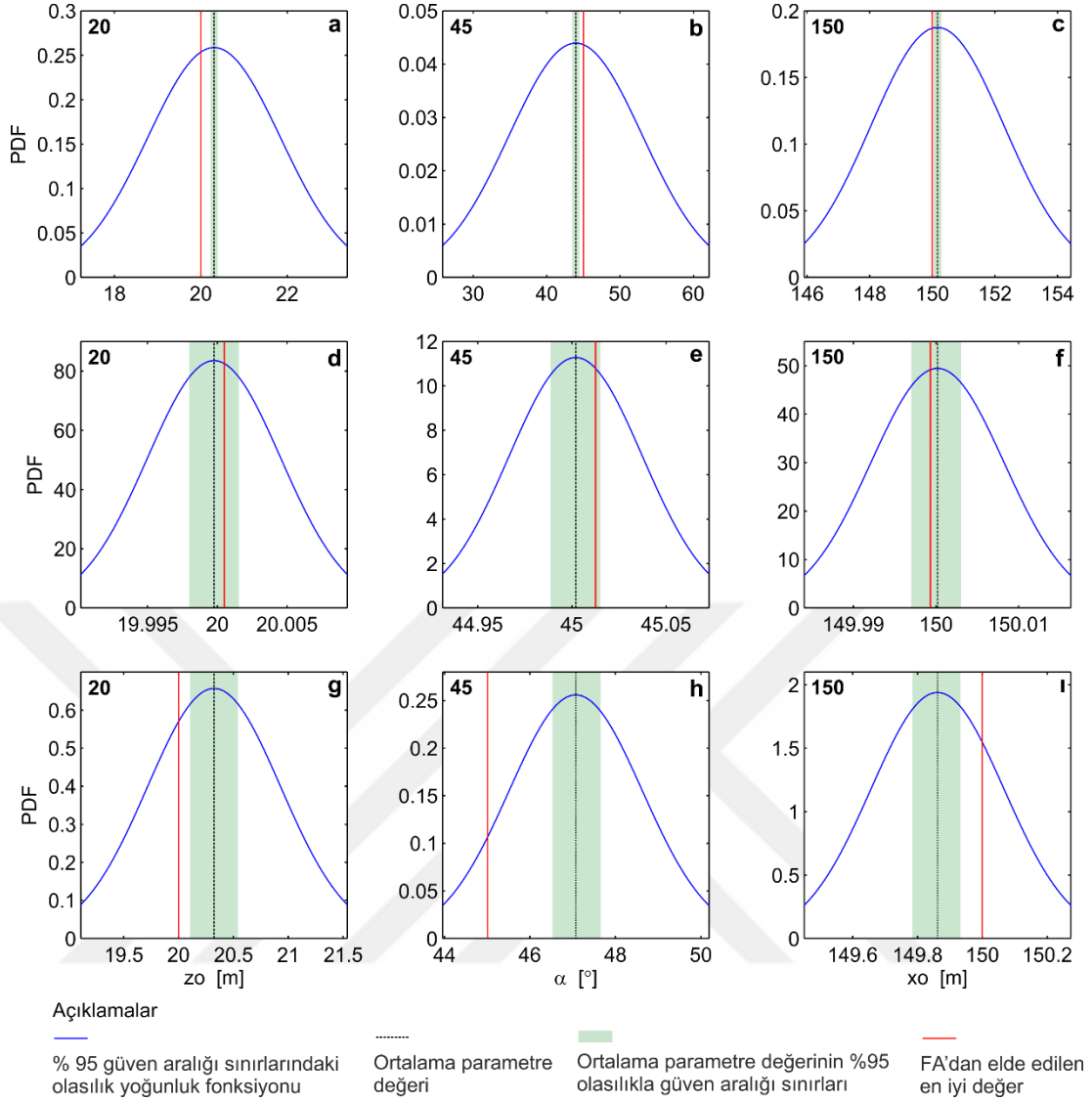


Şekil 6.7. Gürültüsüz veri kümesi ve α - x_o parametreleri için sırasıyla 1, 10, 20 ve 30. nesiller sonunda a-d) $p1 = p2 = 0.3 \cdot rand()$ ve e-h) $p1 = 1 \cdot rand()$ ve $p2 = 5 \cdot rand()$ kullanarak elde edilen yanılğı enerjisi haritaları ($G=30$, $Np=45$)

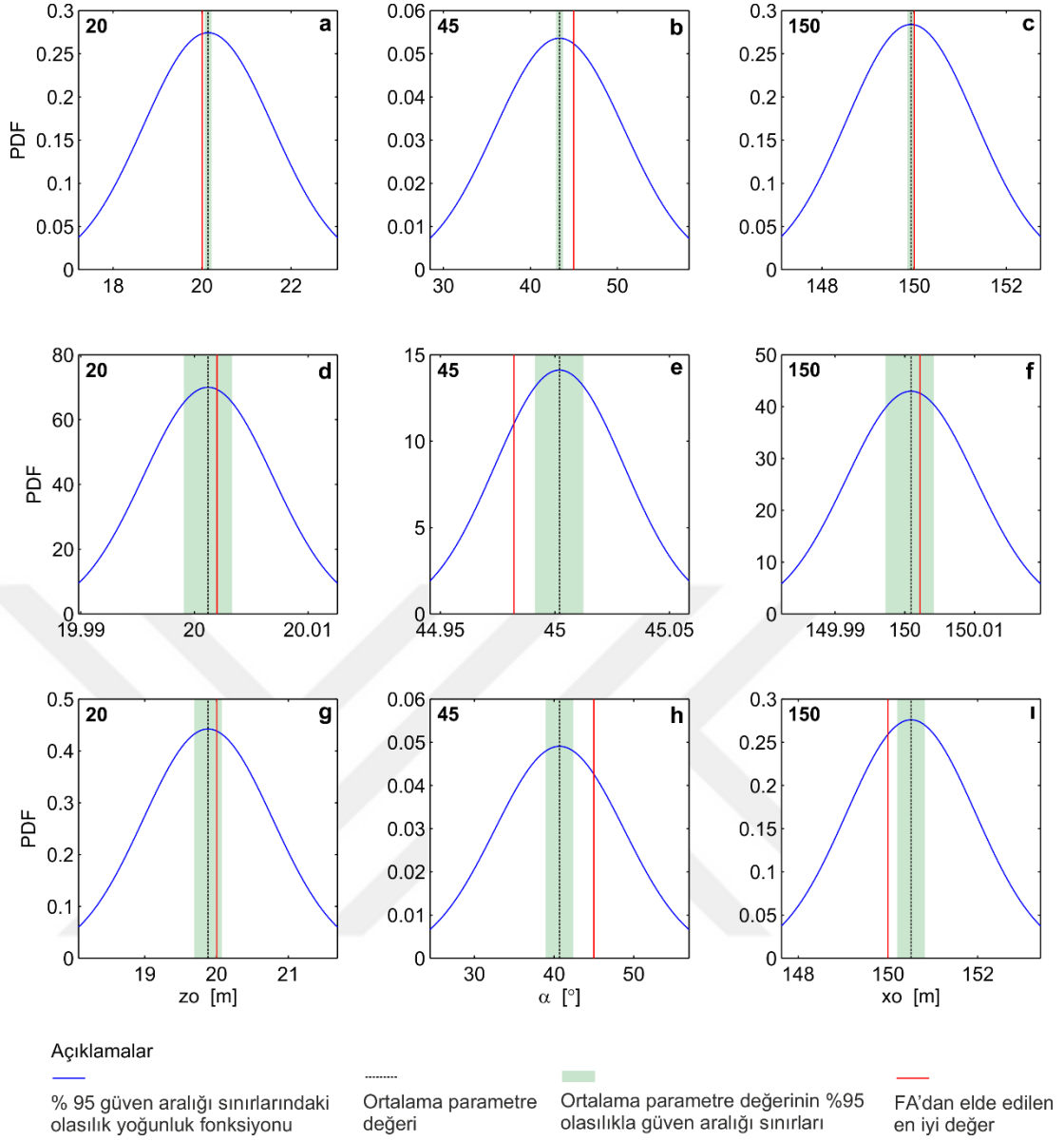


Şekil 6.8. Yanılgı enerjisi haritalarının her bir parametre çifti için iki ve üç boyutlu gösterimi a) α -zo b) zo-xo ve c) α -xo

Şekil 6.9 ve Şekil 6.10'da genel olarak gürültüsüz kuramsal veri kümesi için algoritmanın 30 bağımsız çalışmasından yaklaşık 2 ve sırasıyla $p1 = 1 \cdot rand()$ ve $p2 = 5 \cdot rand()$ ve $p1 = p2 = 0.3 \cdot rand()$ kullanılarak elde edilen model parametrelerinin olasılık yoğunluk fonksiyonu (posterior density function, *PDF*) ile analizinin (çözümleme) sonuç grafikleri sunulmaktadır. Grafiklerde; koyu mavi düz çizgi %95 güven aralığı içinde her bir model parametresi için hesaplanan normal dağılıma sahip *PDF*'yi, siyah kesikli düz çizgi her bir grafik üzerinde bu çözümlerin ortalama değerlerini, içi açık yeşil dikdörtgen bölge buna ait %95 olasılıkla hesaplanmış güven aralığı sınırlarını ve kırmızı düz çizgi ise FA'dan elde edilen en iyi değeri temsil etmektedir. Doğru model parametreleri de ayrıca grafiklerin sol üst köşesinde gösterilmiştir.



Şekil 6.9. Bir yapıli modelin gürültüsüz veri kümesi için 30 ayrı FA çalışması sonunda yaklaşık 2 ve $p1 = 1 \cdot rand()$ ve $p2 = 5 \cdot rand()$ kullanarak elde edilen sonuçların *PDF* grafikleri a-c) Tüm bağımsız çalıştırmalar dikkate alınarak her bir nesilden elde edilen parametrelerin (1313 çözüm) d-f) Tüm bağımsız çalıştırmaların her birinden elde edilen en iyi çözümlere (30 çözüm) ait parametrelerin ve g-i) Şekil 6.3'te sunulan ve 30 çözüm arasında en iyi model parametrelerini üreten çözümün istatistiksel değerlendirmeleri. Doğru parametre değerleri ayrıca her bir grafik üzerinde gösterilmiştir.



Şekil 6.10. Bir yapılı modelin gürültüsüz veri kümesi için 30 ayrı FA çalışması sonunda yaklaşık 2 ve $p1 = p2 = 0.3 \cdot \text{rand}()$ kullanarak elde edilen sonuçların PDF grafikleri a-c) Tüm bağımsız çalıştırmalar dikkate alınarak her bir nesilden elde edilen parametrelerin (2129 çözüm) d-f) Tüm bağımsız çalıştırmaların her birinden elde edilen en iyi çözümlere (30 çözüm) ait parametrelerin ve g-i) Şekil 6.4'te sunulan ve 30 çözüm arasında en iyi model parametrelerini üreten çözümün istatistiksel değerlendirmeleri. Doğru parametre değerleri ayrıca her bir grafik üzerinde gösterilmiştir.

Şekiller 6.19 ve 6.20'nin ilk satırlarında yer alan grafikler (a-c), 30 bağımsız çalıştırma ve bu çalıştırmaların her bir neslinden elde edilen parametrelerin (sırasıyla toplam 1313 ve 2129 çözüm) istatistiksel değerlendirmesinden elde edilen sonuçların grafikleridir. İkinci satırdaki grafikler (d-f), tüm bağımsız çalıştırmaların her birinden elde edilen en iyi çözümlere (30 çözüm) ait parametrelerin ve üçüncü satırda yer alan grafikler (g-ı) ise sırasıyla Şekil 6.3 ve Şekil 6.4'te sunulan ve 30 çözüm arasında en iyi model parametrelerini üreten çözümlerin istatistiksel değerlendirmelerinden elde edilmiştir. Her iki şekildeki tüm grafikler incelendiğinde olasılık yoğunluk fonksiyonlarının ve her bir parametreye ait en iyi çözümlerin her iki kontrol parametre çifti için de oldukça dar bir aralıkta değiştiği görülmektedir. Bununla birlikte, algoritma önerilen parametre çifti ile 30 bağımsız çalıştırma için toplam 1313 nesil, yaygın olarak kullanılan parametre çifti için ise toplam 2129 nesil çözüm üretmiştir. Bunun bir sonucu olarak algoritmanın önerilen parametre çifti ile daha verimli sonuçlar ürettiği söylenebilir.

6.1.1.2. Gürültülü veri

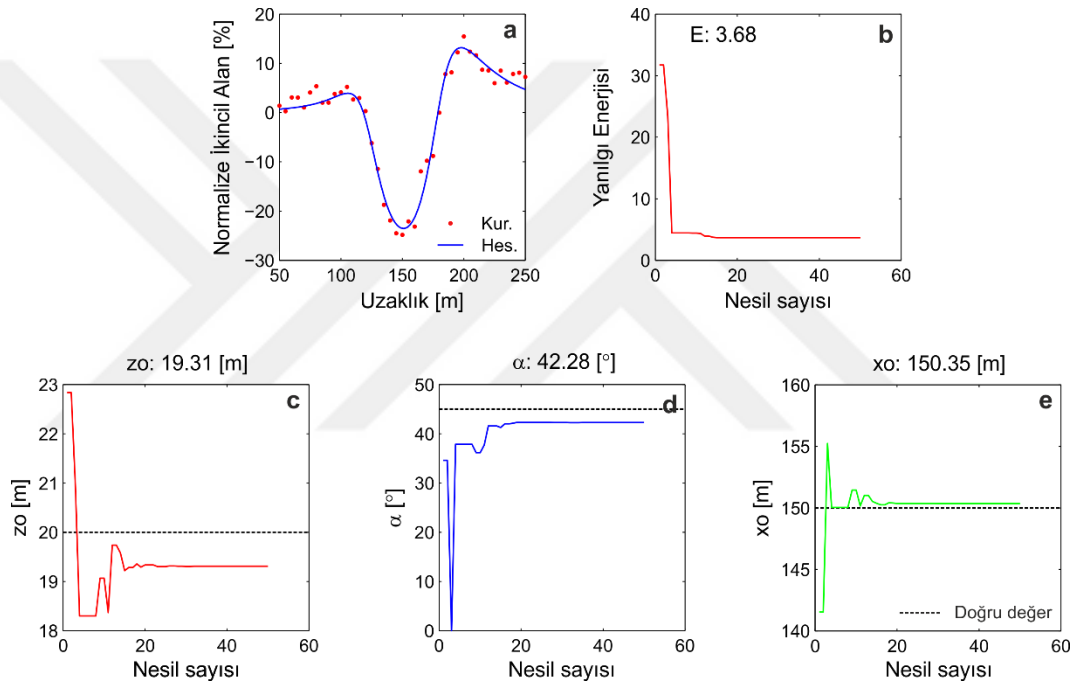
Bölüm 6.1.1.'de belirtildiği gibi kuramsal belirtiyeye sıfır ortalamalı, standart sapması ± 2 olan normal dağılıma sahip rastgele sayılardan oluşan bir gürültü eklenmiştir (bk. Şekil 6.1a). Gürültüsüz veri kümesinde belirtilen arama uzayı sınırları kullanılarak algoritmanın 30 bağımsız çalışmasından 50 nesil sonunda elde edilen çözümlere ait istatistiksel sonuçlar Çizelge 6.6'da sunulmuştur.

Çizelge 6.6. Bir yapıli model için FA algoritmasında sırasıyla $p1 = 1$ ve $p2 = 5$ (düz yazı ile gösterilen sonuçlar) ve $p1 = 0.3$ ve $p2 = 0.3$ (eğik yazı ile gösterilen sonuçlar) kullanılarak yaklaşım 1'den 50 nesil sonunda gürültülü belirti için elde edilen sonuçlar

Parametreler			RMS			
z_0 [m]	α (°)	x_0 [m]	Min.	Max.	Ort.	Std. Sap.
19.31±0.008	42.27±0.07	150.35±0.01	1.92	1.92	1.92	1.06e-04
19.31±0.06	42.30±0.34	150.36±0.08	1.92	1.92	1.92	2.13e-03

Şekil 6.11, genel olarak, gürültü içeren veri kümesi için kestirilen model parametreleri kullanılarak elde edilen sonuçların grafik çizimlerini göstermektedir ($G = 50$, $N_p = 45$, $p1 = 1 \cdot rand()$ ve $p2 = 5 \cdot rand()$). Buna göre 50 nesil sonunda elde edilen ve en düşük RMS (1.92) değerini üreten model parametreleri sırasıyla $z_0 = 19.31$ m, $\alpha = 42.28^\circ$ ve

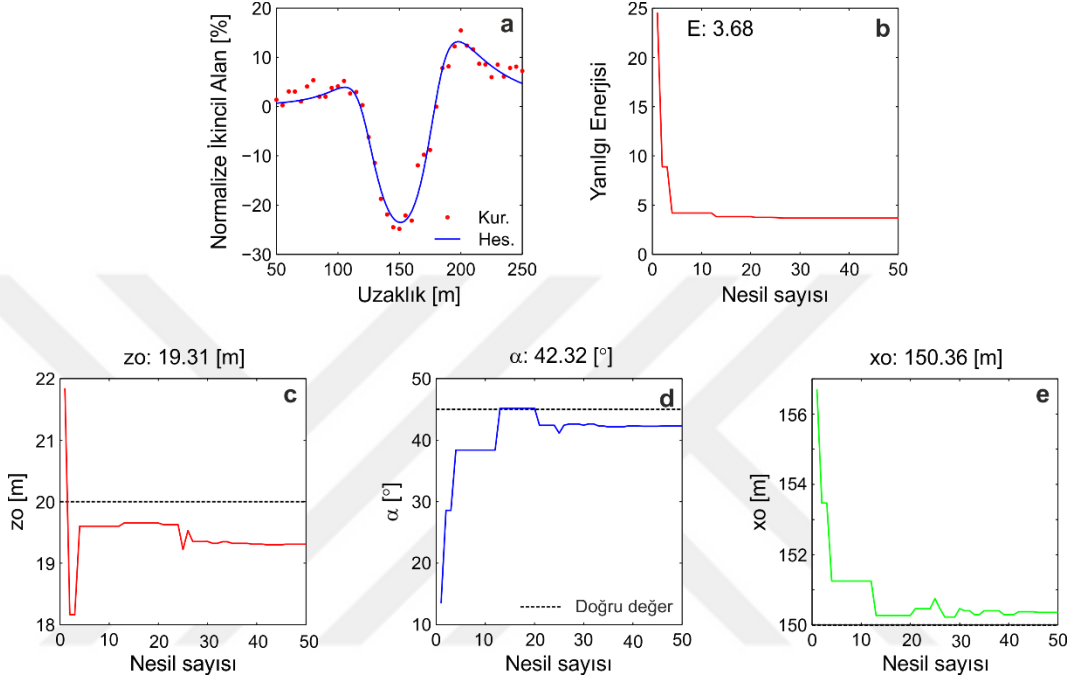
$xo = 150.35$ m'dir. Aynı koşullarda algoritmanın kontrol parametreleri olarak $p1 =$ ve $p2 = 0.3 \cdot rand()$ kullanılması durumunda elde edilen sonuçlar ise Şekil 6.12'de sunulmaktadır. 50 nesil sonunda elde edilen ve en düşük RMS (1.92) değerini üreten model parametreleri sırasıyla $zo = 19.31$ m, $\alpha = 42.32^\circ$ ve $xo = 150.36$ m'dir. Buradan gürültülü veri kümesi için her iki kontrol parametresinden elde edilen sonuçların benzer olduğu görülmektedir. Bununla birlikte önerilen parametre çiftinin kullanılmasıyla elde edilen ve parametrelerin her bir nesildeki değişimini gösteren şekillerden (Şekil 6.11 c-e) algoritmanın bu parametre çifti ile çok daha kararlı olarak doğru model parametre değerlerine ulaştığı açıkça görülmektedir.



Şekil 6.11. a) Gürültülü veri kümesi kullanılarak ($Np = 45$, $p1 = 1 \cdot rand()$ ve $p2 = 5 \cdot rand()$) 50. nesil sonunda elde edilen model parametrelerinden hesaplanan belirtinin kuramsal model ile karşılaştırılması b) Yanılgı enerjisinin her bir nesildeki değişimi c-e) Sırasıyla, model parametreleri zo , α ve xo 'ın her bir nesildeki değişimi

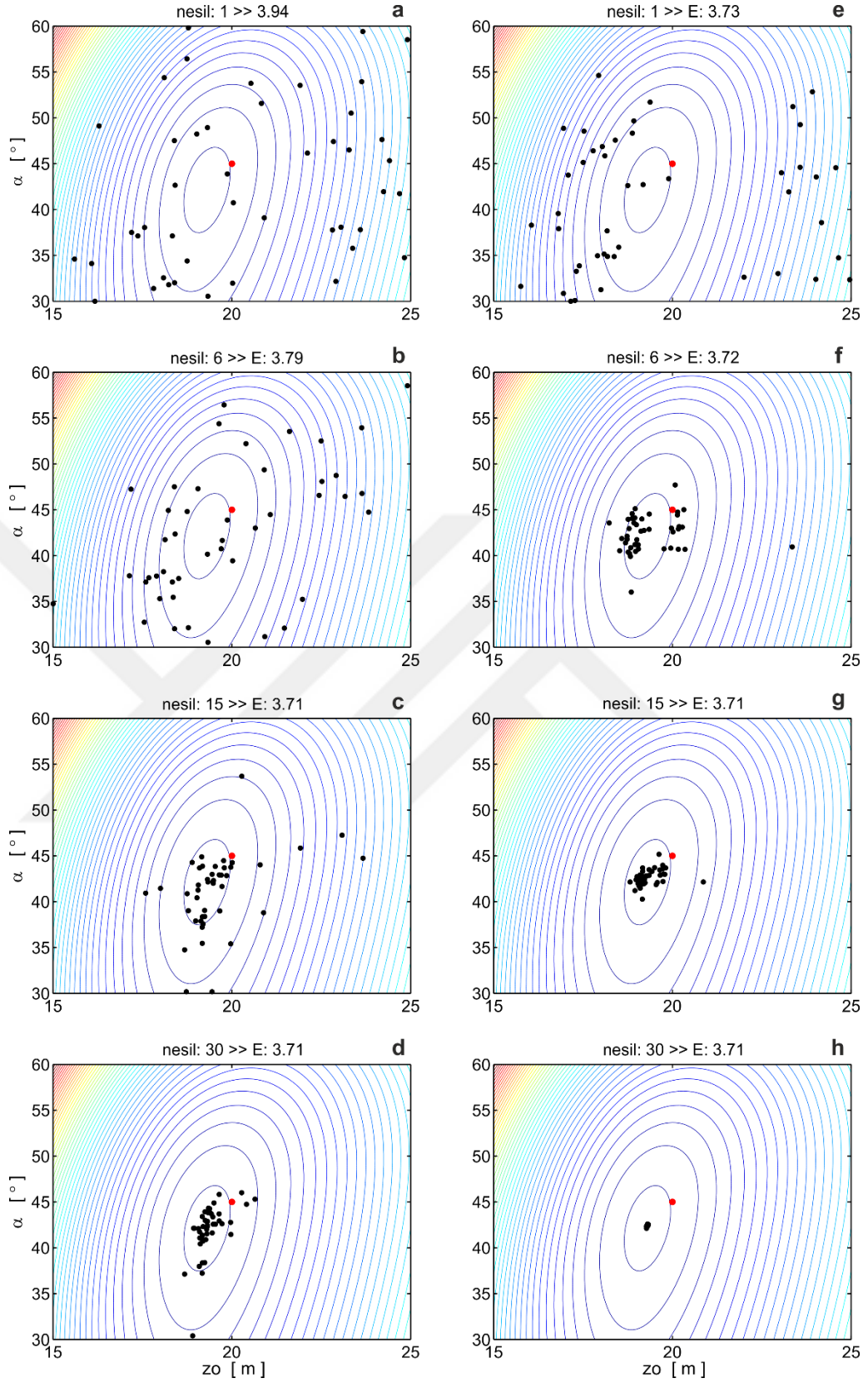
Gürültülü veri kümesi için hesaplanan yanılgı enerjileri haritaları ($G = 30$, $Np = 45$) sırasıyla Şekiller 6.13, 6.14 ve 6.15'de sunulmuştur. Gürültüsüz veri kümesi için hazırlanan haritalarda olduğu gibi hesaplamada görece daha dar parametre aralıkları kullanılmıştır (zo (15-25) m, α (30-60) $^\circ$ ve xo (130-170) m). 30 nesil için hesaplanan ve bunlar arasından her bir parametre çifti için seçilen 4 farklı nesile ait yanılgı enerjisi haritalarında; içi dolu kırmızı daire parametrelerin doğru değerlerini, içi dolu siyah daireler başlangıç topluluğunu (ilk nesil için) ve ilgili nesillerdeki toplulukların yeni

konumlarını göstermektedir. Şekillerde sol sütun $p1 = p2 = 0.3 \cdot rand()$ ve sağ sütun ise $p1 = 1 \cdot rand()$ ve $p2 = 5 \cdot rand()$ değerlerinin kontrol parametresi olarak kullanılmasıyla elde edilmiştir. Buradan da açıkça görüldüğü gibi önerilen kontrol parametre çifti çözüme çok daha hızlı bir yakınsama sağlarken topluluk içindeki her bir birey de genel olarak global vadiye ulaşmaktadır.

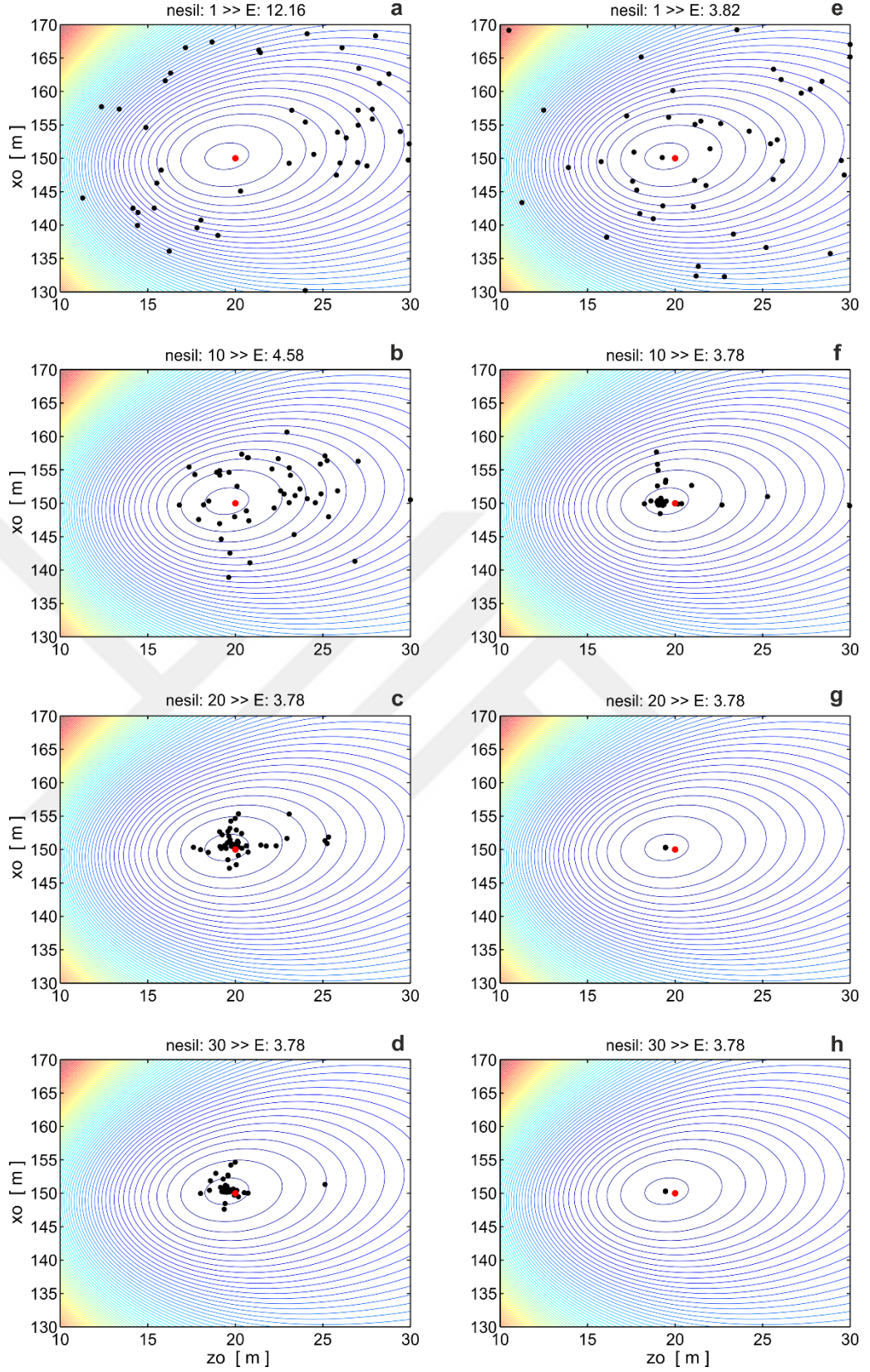


Şekil 6.12. a) Gürültülü veri kümesi kullanılarak ($Np = 45$, $p1 = p2 = 0.3 \cdot rand()$) 50. nesil sonunda elde edilen model parametrelerinden hesaplanan belirtinin kuramsal model ile karşılaştırılması b) Yanılgı enerjisinin her bir nesildeki değişimi c-e) Model parametrelerinin (sırasıyla z_o , α ve x_o) her bir nesildeki değişimi

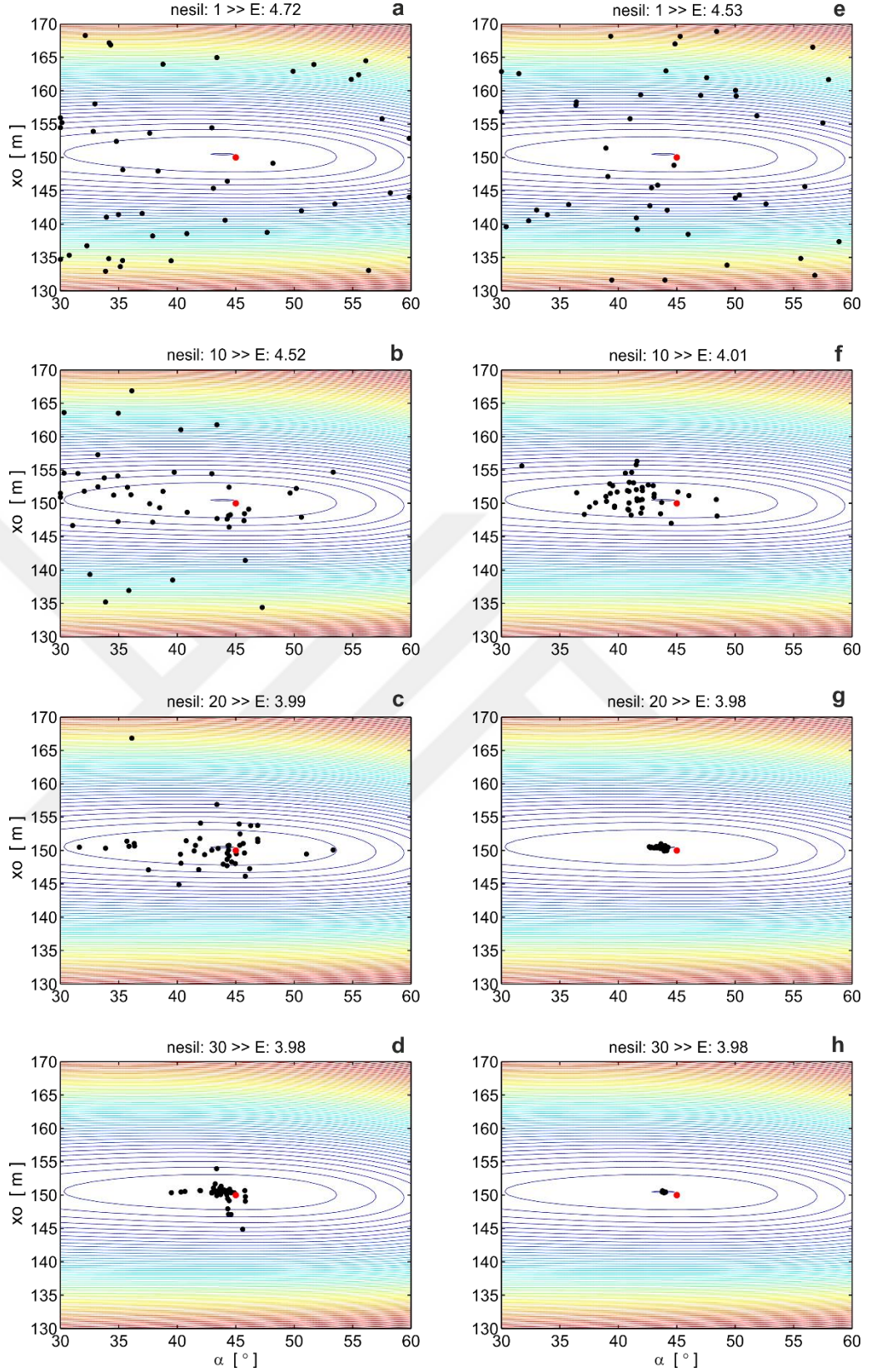
Şekiller 13-15'te ve aşağıda Şekil 6.16'da sunulan ve yanılgı enerjisi haritalarının iki ve üç boyutlu sunumlarını gösteren şekillerden açıkça görüldüğü gibi, parametrelerin doğru değerlerini gösteren içi dolu kırmızı daireler eklenen gürültü içeriği nedeniyle bulunmaları gereken konumlar yerine bunların civarında görülmektedir.



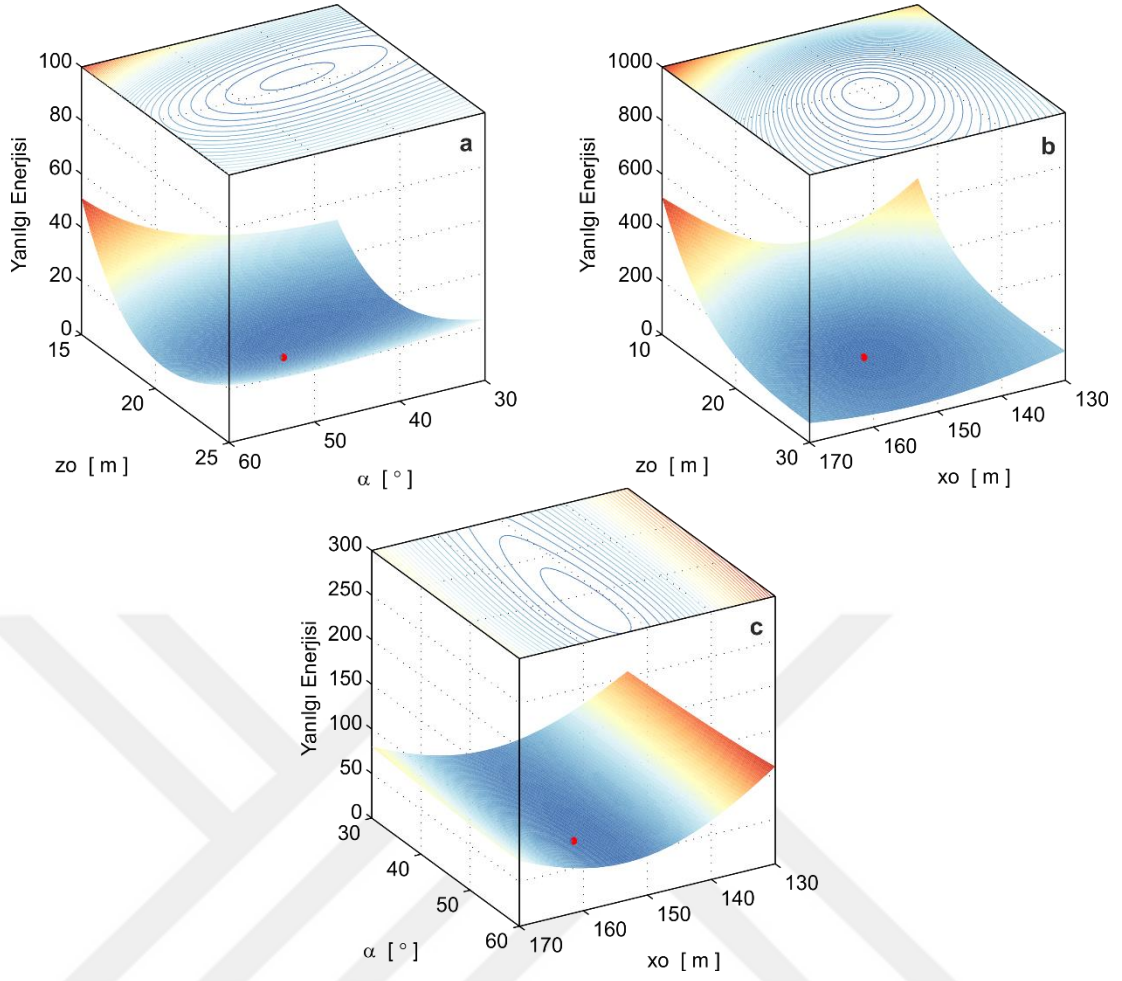
Şekil 6.13. Gürültülü veri kümesi ve α -zo parametreleri için sırasıyla 1, 6, 15 ve 30. nesiller sonunda a-d) $p1 = p2 = 0.3 \cdot rand()$ ve e-h) $p1 = 1 \cdot rand()$ ve $p2 = 5 \cdot rand()$ kullanarak elde edilen yanılgı enerjisi haritaları ($G = 30$, $Np = 45$)



Şekil 6.14. Gürültülü veri kümesi ve z_o - x_o parametreleri için sırasıyla 1, 6, 15 ve 30. nesiller sonunda a-d) $p1 = p2 = 0.3 \cdot rand()$ ve e-h) $p1 = 1 \cdot rand()$ ve $p2 = 5 \cdot rand()$ kullanarak elde edilen yanılgi enerjisi haritaları ($G=30$, $Np = 45$)

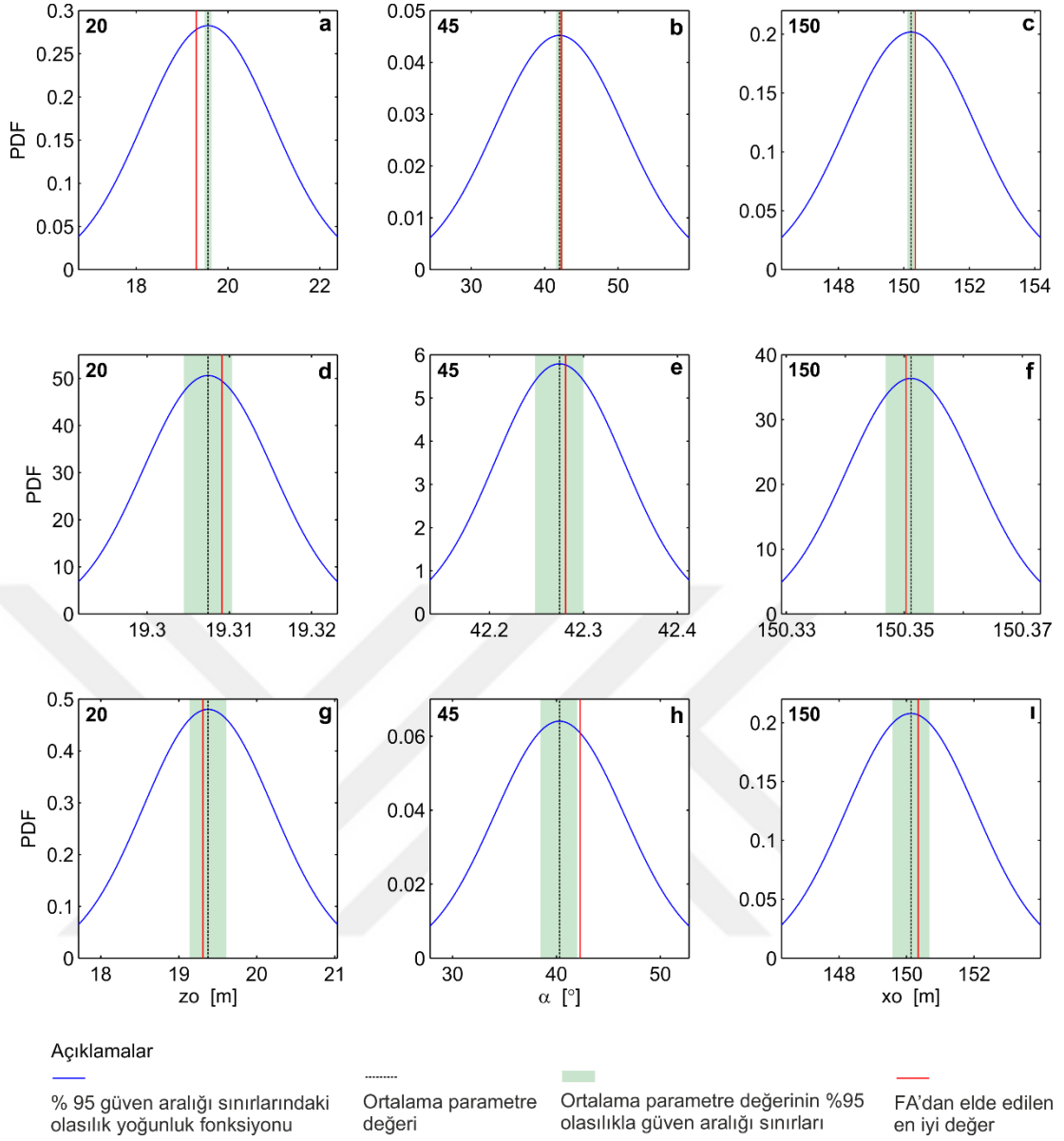


Şekil 6.15. Gürültülü veri kümesi ve α - x_o parametreleri için sırasıyla 1, 6, 15 ve 30. nesiller sonunda a-d) $p1 = p2 = 0.3 \cdot rand()$ ve e-h) $p1 = 1 \cdot rand()$ ve $p2 = 5 \cdot rand()$ kullanarak elde edilen yanılgi enerjisi haritaları ($G=30$, $Np=45$)

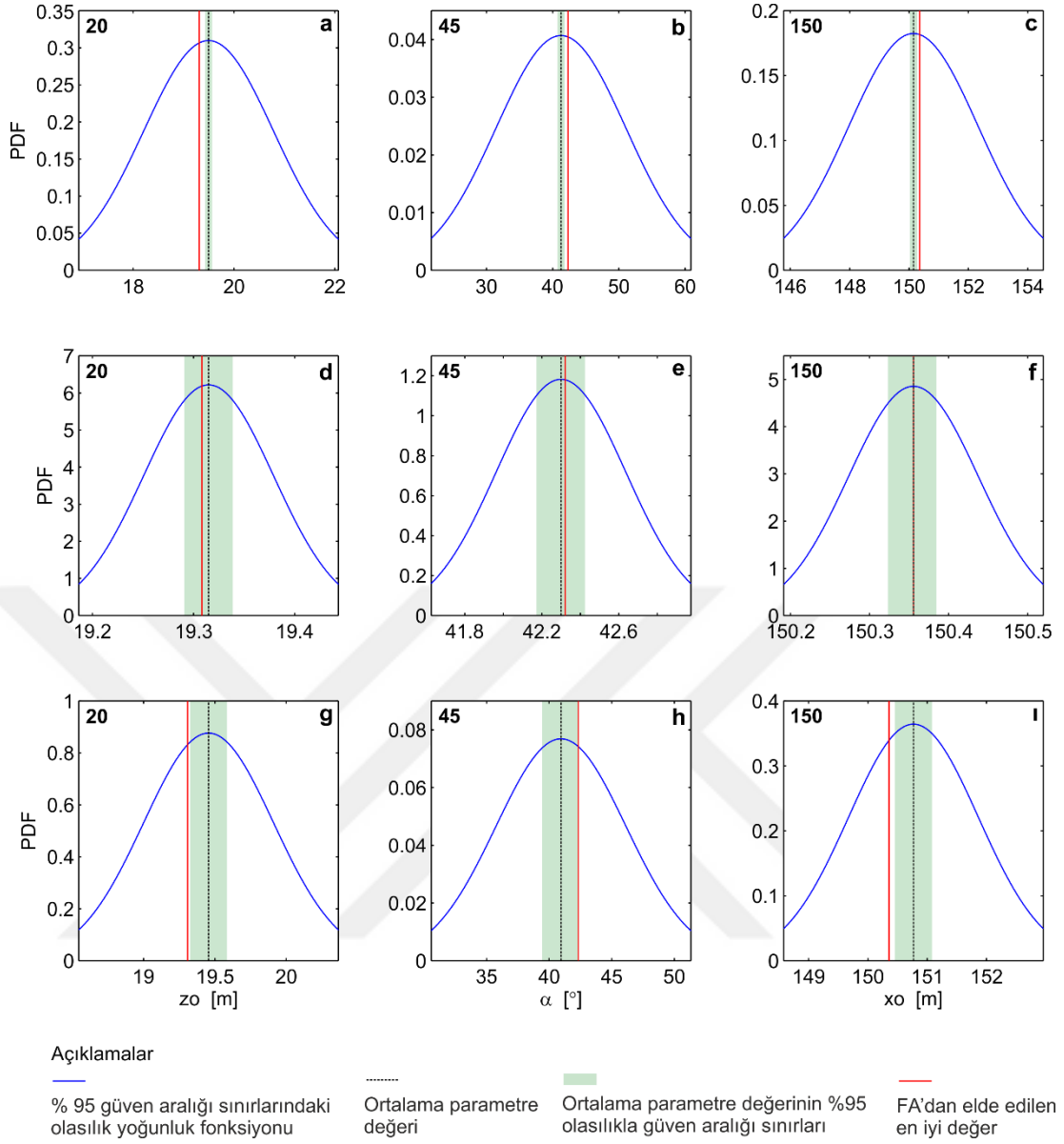


Şekil 6.16. Yanılı enerjisi haritalarının her bir parametre çifti için iki ve üç boyutlu gösterimi a) α - z_o b) z_o - x_o ve c) α - x_o

Şekiller 6.17 ve 6.18, gürültülü veri kümesi için 30 bağımsız çalıştırma sonunda ($G = 50$, $N_p = 45$) sırasıyla bu tez kapsamında YHEM belirtilerinden model parametrelerinin kestirimi için FA algoritmasının kontrol parametreleri olarak önerilen parametre çifti ile yaygın olarak kullanılan parametre çiftinin kullanılmasıyla elde edilen sonuçların *PDF* çözümlemelerini göstermektedir. Tüm bağımsız çalıştırmaların her birinden elde edilen en iyi çözümlere (30 çözüm) ait parametreler kullanılarak gerçekleştirilen *PDF* çözümleri dikkate alındığında (her iki şeklin ikinci satırlarında verilen (d-f) grafikleri), önerilen parametre çifti ile ortalama parametre değerinin %95 olasılıkla güven aralığı sınırlarının görece daha dar bir aralıkta değiştiği görülmektedir.



Şekil 6.17. Bir yapıli modelin gürültülü veri kümesi için 30 ayrı FA çalışması sonunda yaklaşık 2 ve $p1 = 1 \cdot rand()$ ve $p2 = 5 \cdot rand()$ kullanarak elde edilen sonuçların PDF grafikleri a-c) Tüm bağımsız çalıştırmalar dikkate alınarak her bir nesilden elde edilen parametrelerin (1500 çözüm) d-f) Tüm bağımsız çalıştırmaların her birinden elde edilen en iyi çözümlere (30 çözüm) ait parametrelerin ve g-i) Şekil 6.3'te sunulan ve 30 çözüm arasında en iyi model parametrelerini üreten çözümün istatistiksel değerlendirmeleri. Doğru parametre değerleri ayrıca her bir grafik üzerinde gösterilmiştir.

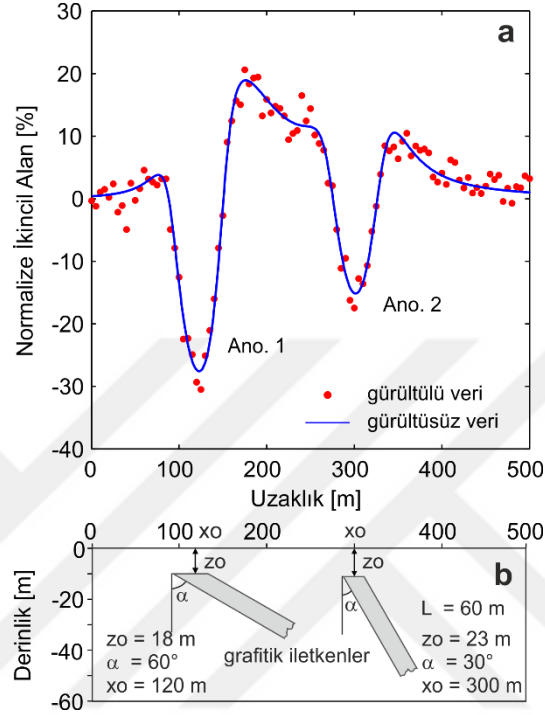


Şekil 6.18. Bir yapılı modelin gürültülü veri kümesi için 30 ayrı FA çalışması sonunda yaklaşık 2 ve $p1 = p2 = 0.3 \cdot rand()$ kullanarak elde edilen sonuçların PDF grafikleri a-c) Tüm bağımsız çalıştırmalar dikkate alınarak her bir nesilden elde edilen parametrelerin (1500 çözüm) d-f) Tüm bağımsız çalıştırmaların her birinden elde edilen en iyi çözümlere (30 çözüm) ait parametrelerin ve g-i) Şekil 6.3'te sunulan ve 30 çözüm arasında en iyi model parametrelerini üreten çözümün istatistiksel değerlendirmeleri. Doğru parametre değerleri ayrıca her bir grafik üzerinde gösterilmiştir.

6.1.2. İki yapılı model

Bu tez çalışması kapsamında kullanılan ikinci model eğimli iki iletken levha tipi yapı içermektedir. Bu iletkenlerin neden olduğu kuramsal belirti (düz mavi çizgi) ve bunlara ait model parametreleri Şekil 6.19a'da, bu parametrelerin şematik gösterimi ise Şekil 6.19b'de gösterilmiştir. Gürültülü veri kümesi ise (içi dolu kırmızı yuvarlak)

kuramsal belirtiye normal dağılıma sahip, sıfır ortalamalı ve standart sapması ± 2 olan rastgele sayılar eklenerek elde edilmiştir (Şekil 6.19a). Çizelge 6.7, bu belirtiye oluşturan yapıların model parametrelerini ve değerlendirmede kullanılan arama uzayı sınırlarını göstermektedir.



Şekil 6.19. a) Kuramsal model (Alkan ve Balkaya, 2016) b) Model parametreleri ve şematik gösterimleri

Çizelge 6.7. Kuramsal YHEM belirtisine ait model parametrelerinin değerleri, parametrelerin alt ve üst arama uzayı sınırları

Belirti	Model par.	Doğru değerler	Arama uzayı	
			Min.	Max.
1	zo [m]	18	5	50
	α [°]	60	0	90
	xo [m]	120	70	170
2	zo [m]	23	5	50
	α [°]	30	0	90
	xo [m]	300	250	350

6.1.2.1. Gürültüsüz veri

Kuramsal iki yapılı modelin FA algoritması ile değerlendirilmesi için öncelikle bir yapılı modelde olduğu gibi algoritmanın kontrol parametreleri araştırılmıştır. Algoritmanın birbirinden bağımsız 30 kez çalıştırılması ile elde edilen sonuçlar ($G = 50$) sırasıyla Çizelgeler 6.8 ve 6.9’da verilmiştir.

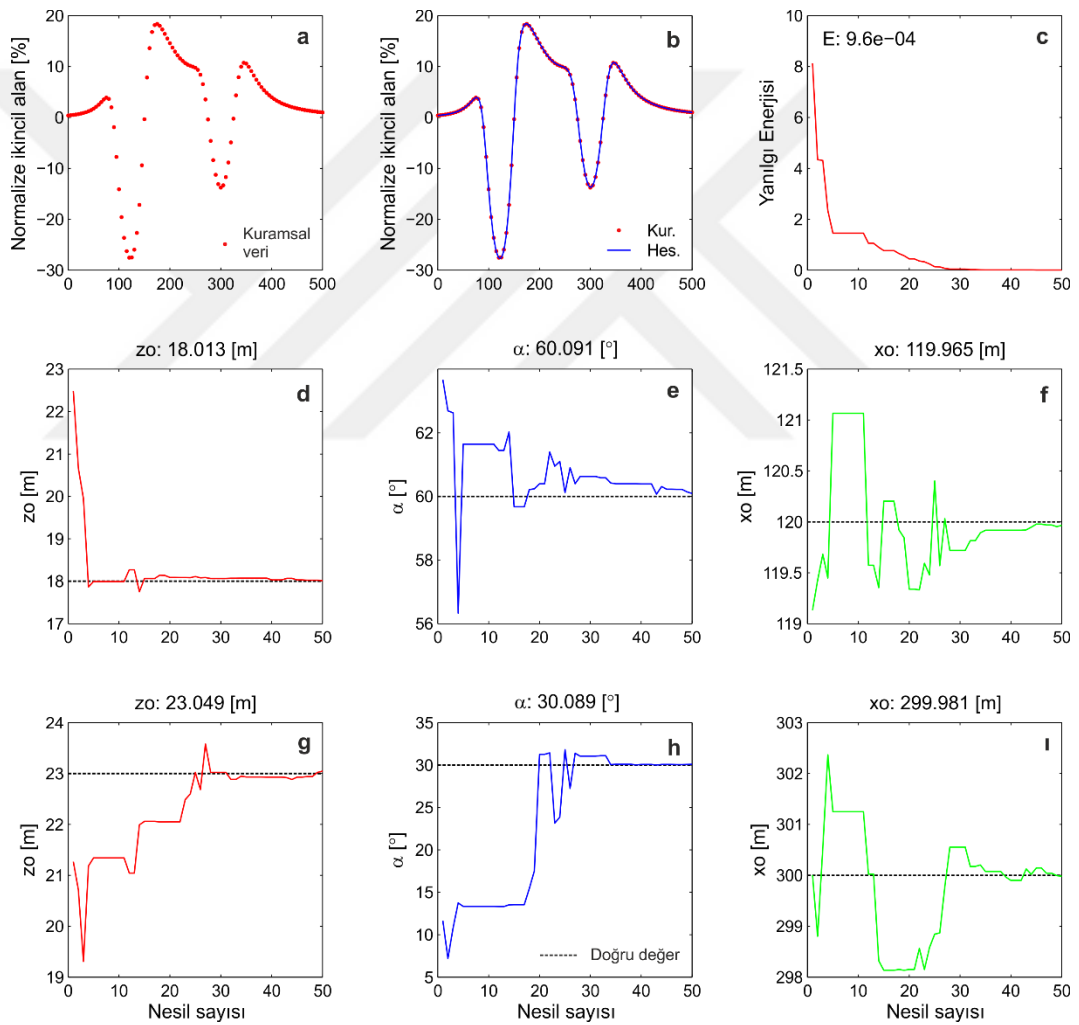
Çizelge 6.8. İki yapılı model için $p1$ ve $p2$ parametrelerinin çözüm üzerindeki etkileri. ($G = 50$, $Np = 30$, $p1 = 0.1, 0.3, 0.5, 1, 2$ ve $p2 = 0.1, 0.3, 0.5, 1, 2, 4, 5, 6, 8, 10$). Sonuçlar FA algoritmasının 30 bağımsız çalışmasından elde edilmiştir.

$p1$	$p2$	RMS			
		Min.	Max.	Ort.	Std. Sap.
0.1	0.1	4.63e-01	1.88e+00	1.25e+00	3.75e-01
	0.3	3.63e-01	1.83e+00	1.08e+00	3.94e-01
	0.5	3.48e-01	1.94e+00	9.43e-01	4.37e-01
	1	2.12e-01	1.49e+00	7.03e-01	4.08e-01
	2	1.02e-01	1.76e+00	5.62e-01	4.45e-01
	4	7.54e-02	2.55e+00	6.07e-01	5.80e-01
	5	1.06e-01	3.03e+00	6.91e-01	6.95e-01
	6	1.08e-01	1.32e+00	5.05e-01	3.08e-01
	8	1.28e-01	3.22e+00	6.55e-01	6.01e-01
	10	6.52e-02	1.58e+00	6.10e-01	4.22e-01
0.3	0.1	3.67e-01	2.53e+00	1.29e+00	5.27e-01
	0.3	3.63e-01	2.21e+00	9.71e-01	4.42e-01
	0.5	1.40e-01	1.99e+00	8.40e-01	4.55e-01
	1	6.55e-02	2.38e+00	6.96e-01	4.99e-01
	2	1.47e-01	1.47e+00	5.06e-01	3.59e-01
	4	6.47e-02	1.90e+00	6.72e-01	4.24e-01
	5	9.75e-02	2.09e+00	6.06e-01	4.39e-01
	6	7.91e-02	2.22e+00	6.46e-01	4.61e-01
	8	7.13e-02	1.67e+00	5.05e-01	3.75e-01
	10	1.03e-02	1.45e+00	4.73e-01	3.14e-01
0.5	0.1	3.52e-01	2.06e+00	1.07e+00	3.83e-01
	0.3	4.34e-01	1.96e+00	9.53e-01	4.20e-01
	0.5	2.80e-01	2.78e+00	8.40e-01	4.94e-01
	1	1.29e-01	1.13e+00	4.69e-01	2.62e-01
	2	6.78e-02	1.97e+00	5.61e-01	4.52e-01
	4	1.21e-02	2.21e+00	5.99e-01	4.76e-01
	5	1.21e-01	3.19e+00	5.61e-01	6.35e-01
	6	6.67e-02	1.22e+00	5.18e-01	3.29e-01
	8	8.15e-02	2.14e+00	5.04e-01	4.47e-01
	10	3.51e-02	2.05e+00	6.86e-01	5.01e-01
1	0.1	1.25e-01	2.41e+00	9.22e-01	5.16e-01
	0.3	1.86e-01	1.67e+00	7.19e-01	3.96e-01
	0.5	4.22e-02	1.92e+00	7.01e-01	4.35e-01
	1	4.48e-02	1.11e+00	4.06e-01	2.59e-01
	2	4.30e-02	1.01e+00	4.35e-01	3.02e-01
	4	6.25e-02	2.08e+00	4.59e-01	4.24e-01
	5	3.60e-02	1.37e+00	4.99e-01	3.59e-01
	6	1.18e-01	1.61e+00	5.12e-01	4.01e-01
	8	4.01e-02	1.70e+00	5.25e-01	4.47e-01
	10	4.02e-02	1.73e+00	5.47e-01	4.38e-01
2	0.1	1.78e-01	2.48e+00	7.32e-01	4.55e-01
	0.3	1.46e-01	1.62e+00	7.23e-01	3.97e-01
	0.5	1.29e-01	2.14e+00	8.04e-01	5.28e-01
	1	9.06e-02	2.03e+00	4.77e-01	4.08e-01
	2	4.87e-02	1.14e+00	4.02e-01	2.89e-01
	4	2.28e-02	2.06e+00	3.94e-01	4.20e-01
	5	5.34e-02	2.98e+00	5.44e-01	5.51e-01
	6	8.76e-02	8.53e-01	4.37e-01	2.15e-01
	8	7.38e-02	1.14e+00	4.55e-01	2.72e-01
	10	1.96e-02	3.19e+00	6.66e-01	6.35e-01

Çizelge 6.9. İki yapılı model için $p1$ ve $p2$ parametrelerinin çözüm üzerindeki etkileri. ($G = 50$, $Np = 30$, $p1 = 4, 5, 6, 8, 10$ ve $p2 = 0.1, 0.3, 0.5, 1, 2, 4, 5, 6, 8, 10$). Sonuçlar FA algoritmasının 30 bağımsız çalışmasından elde edilmiştir.

$p1$	$p2$	RMS			
		Min.	Max.	Ort.	Std. Sap.
4	0.1	2.06e-01	3.29e+00	7.51e-01	5.69e-01
	0.3	1.01e-01	2.15e+00	6.58e-01	5.00e-01
	0.5	1.04e-01	2.19e+00	6.27e-01	5.12e-01
	1	3.73e-02	1.26e+00	3.56e-01	2.81e-01
	2	1.27e-01	1.19e+00	4.92e-01	2.75e-01
	4	6.91e-02	1.63e+00	4.50e-01	4.38e-01
	5	5.11e-02	2.04e+00	4.69e-01	5.20e-01
	6	1.20e-02	1.38e+00	3.92e-01	3.57e-01
	8	6.07e-02	2.19e+00	4.57e-01	4.68e-01
	10	1.94e-02	2.13e+00	5.18e-01	4.80e-01
5	0.1	1.60e-01	2.40e+00	9.43e-01	5.40e-01
	0.3	1.17e-01	2.75e+00	6.61e-01	4.97e-01
	0.5	1.09e-01	2.04e+00	5.57e-01	3.68e-01
	1	9.24e-02	2.04e+00	5.11e-01	4.59e-01
	2	4.06e-02	1.61e+00	4.26e-01	3.49e-01
	4	9.90e-03	3.57e+00	4.78e-01	6.77e-01
	5	1.95e-02	1.80e+00	3.96e-01	3.75e-01
	6	4.26e-02	2.17e+00	5.27e-01	4.97e-01
	8	3.99e-02	1.60e+00	5.96e-01	3.83e-01
	10	7.86e-02	1.23e+00	4.19e-01	2.67e-01
6	0.1	8.47e-02	1.82e+00	6.08e-01	4.37e-01
	0.3	1.57e-01	1.72e+00	7.13e-01	3.78e-01
	0.5	9.51e-02	1.47e+00	5.21e-01	3.12e-01
	1	8.93e-02	1.35e+00	4.24e-01	3.29e-01
	2	7.83e-02	1.01e+00	3.56e-01	2.12e-01
	4	3.71e-02	1.74e+00	2.97e-01	3.37e-01
	5	4.58e-02	3.64e+00	6.05e-01	6.84e-01
	6	5.17e-02	1.80e+00	4.60e-01	3.82e-01
	8	6.39e-02	1.27e+00	3.82e-01	2.97e-01
	10	1.55e-02	2.19e+00	5.92e-01	5.51e-01
8	0.1	1.77e-01	2.88e+00	8.36e-01	6.25e-01
	0.3	6.05e-02	1.14e+00	4.82e-01	3.11e-01
	0.5	8.61e-02	1.43e+00	4.99e-01	2.98e-01
	1	4.55e-02	1.00e+00	2.68e-01	2.03e-01
	2	3.07e-02	9.26e-01	3.00e-01	2.52e-01
	4	4.73e-02	1.08e+00	3.47e-01	2.66e-01
	5	3.09e-02	8.77e-01	3.56e-01	2.38e-01
	6	4.58e-02	1.78e+00	4.74e-01	4.00e-01
	8	3.99e-02	1.72e+00	5.52e-01	4.79e-01
	10	3.48e-02	2.21e+00	5.64e-01	5.29e-01
10	0.1	1.02e-01	1.31e+00	5.75e-01	3.11e-01
	0.3	7.71e-02	1.91e+00	5.78e-01	4.05e-01
	0.5	7.72e-02	1.63e+00	5.42e-01	3.95e-01
	1	4.49e-02	1.49e+00	4.48e-01	3.55e-01
	2	6.91e-02	1.83e+00	4.35e-01	4.25e-01
	4	3.10e-02	1.54e+00	3.16e-01	3.10e-01
	5	5.91e-02	1.27e+00	5.13e-01	3.78e-01
	6	7.04e-02	2.05e+00	4.89e-01	4.19e-01
	8	2.54e-02	1.12e+00	4.82e-01	3.66e-01
	10	4.03e-02	2.06e+00	4.22e-01	4.70e-01

Elde edilen çözümlerin *RMS* değerlerinin minimum, maksimum, ortalama ve standart sapma değerleri dikkate alınarak toplam 100 adet $p1$ - $p2$ çifti arasında belirlenen en iyi parametre çiftleri çizelgelerde koyu olarak gösterilmiştir. Çizelgeler incelendiğinde, algoritmanın 30 bağımsız çalışması sonunda istatistiksel olarak en verimli sonuçların $p1 = 8$ ve $p2 = 5$ parametre çifti ile elde edildiği belirlenmiştir (bk. Çizelge 6.9, eğik, kırmızı renkte gösterilen sonuçlar). Şekil 6.20, kuramsal model, bu parametre çifti kullanılarak elde edilen model parametrelerinden hesaplanan belirti ile kuramsal belirtinin bir karşılaştırmasını, yanılgi enerjisinin ve her iki yapı için model parametrelerinin her bir nesildeki değişimini göstermektedir.



Şekil 6.20. a) Kuramsal iki yapılı model b) $p1 = 8 \cdot rand()$ ve $p2 = 5 \cdot rand()$ kullanılarak 50 nesil sonunda elde edilen model parametrelerinden hesaplanan belirtinin gürültüsüz kuramsal iki yapılı model ile karşılaştırılması c) Yanılgi enerjisinin her bir nesildeki değişimi d-f) Birinci yapının model parametrelerinin (sırasıyla z_o , α ve x_o) her bir nesildeki değişimi g-i) İkinci yapının model parametrelerinin her bir nesildeki değişimi

İki yapılı model için de bir yapılı model için gerçekleştirilen çalışmada olduğu gibi nesil sayısının (G) çözüm üzerindeki etkisi araştırılmıştır. Bu araştırma için başlangıç topluluğu $Np = 90$ ($D \times 15$, bir yapılı modelde olduğu gibi) bireyden oluşturulmuştur. Maksimum nesil sayıları, algoritmanın her bir bağımsız çalıştırması için sırası ile 30, 50 ve 100 için algoritmanın 30 bağımsız çalışması sonucunda belirlenen parametre çifti ile ($p1 = 8$ ve $p2 = 5$) her iki yaklaşım kullanılarak elde edilen ortalama model parametre değerleri, RMS istatistikleri ve algoritmanın bir çalıştırması için geçen ortalama süre Çizelge 6.10'da verilmiştir. Çizelge 6.11 ise literatürde yaygın olarak kullanılan parametre çiftinin ($p1 = p2 = 0.3$) algoritmada başlangıç kontrol parametresi olarak kullanılmasıyla gerçekleştirilen çalışmadan elde edilen sonuçları göstermektedir. Çizelgelerde düz yazı ile gösterilen sonuçlar yaklaşım 1, eğik yazı ile gösterilen sonuçlar ise yaklaşım 2'den elde edilen sonuçları temsil etmektedir.

Çizelge 6.10. İki yapılı model için FA algoritmasında $p1 = 8$ ve $p2 = 5$ kullanılarak yaklaşım 1 (maksimum G sırasıyla 30, 50, 100) ve yaklaşım 2'den (eşik değeri, $1e-04$) gürültüsüz belirti için elde edilen sonuçlar (eğik yazı ile gösterilmiştir).

G	Yapı	Parametreler			RMS				Ort. süre [s]
		zo [m]	α (°)	xo [m]	Min.	Max.	Ort.	Std. Sap.	
30	1	17.94	59.79	119.99	6.03e-02	1.61	4.3e-01	2.98e-01	30.16
	2	23.07	28.07	300.22					
50	1	18.00	59.99	120.02	1.98e-03	2.77e-01	9.7e-02	7.93e-02	48.74
	2	23.06	30.19	299.97					
100	1	18.00	59.99	120.00	2.74e-05	4.93e-03	8.1e-04	1.04e-03	297.41
	2	23.00	30.00	300.00					
30	1	18.11	59.84	120.02	1.37e-01	1.82	5.15e-01	4e-01	31.42
	2	23.04	28.81	299.87					
49.8	1	18.00	59.86	120.00	8.78e-03	5.31e-01	1.17e-01	1.22e-01	50.42
	2	23.04	29.95	300.07					
66.5	1	18.00	60.00	119.99	5.28e-03	1.29e-02	8.74e-03	1.48e-03	111.08
	2	23.00	30.01	300.00					

Her iki çizelgeden birinci yaklaşım için sunulan sonuçlar karşılaştırıldığında, iki yapılı kuramsal modelin değerlendirilmesinde önerilen parametre çifti ile dikkate alınan tüm maksimum nesil sayıları ile daha başarılı parametre kestirimleri ve RMS değerleri elde edilmiştir. Yaklaşım 2'nin sonuçları (eşik değeri, $1e-04$) incelendiğinde de benzer sonuçlar görülmektedir. Ayrıca, önerilen parametre çifti için algoritma maksimum $G = 50$ için 4, $G = 100$ için ise 28 çalıştırmada bu eşik değerinden düşük RMS değerleri üretmeyi başarmıştır. Çizelge 6.10'dan açıkça görüleceği gibi bu durumlar için ortalama nesil sayıları sırasıyla 49.8 ve 66.5, bir çalıştırma için ortalama değerlendirme süreleri ise sırasıyla 50.42 ve 111.08 s'dir. Çizelge 6.10'da sunulan ve FA

algoritmasında $p1 = 0.3$ ve $p2 = 0.3$ kullanılarak yaklaşım 2’den elde edilen sonuçlara göre algoritma bu kontrol parametreleri ile kullanılan eşik değerinden düşük RMS’ler sağlayan çözümler üretemeyerek ön tanımlı maksimum nesil sayılarına ulaşmıştır. Algoritma bir çalıştırmada maksimum $G = 50$ için ortalama 50.9 s, $G = 100$ için ise 153.69 s sürede sonlanmıştır (bk. Çizelge 6.11). Bu durumda, önerilen kontrol parametreleri, maksimum $G = 100$, ve 30 çalıştırma dikkate alındığında toplamda yaklaşık 21 dk. kadar hesaplama maliyetinde bir kazanç sağlamıştır.

Çizelge 6.11. İki yapılı model için FA algoritmasında $p1 = 0.3$ ve $p2 = 0.3$ kullanılarak yaklaşım 1 (maksimum G sırasıyla 30, 50, 100) ve yaklaşım 2’den (eşik değeri, $1e-04$) gürültüsüz belirti için elde edilen sonuçlar (eğik yazı ile gösterilmiştir).

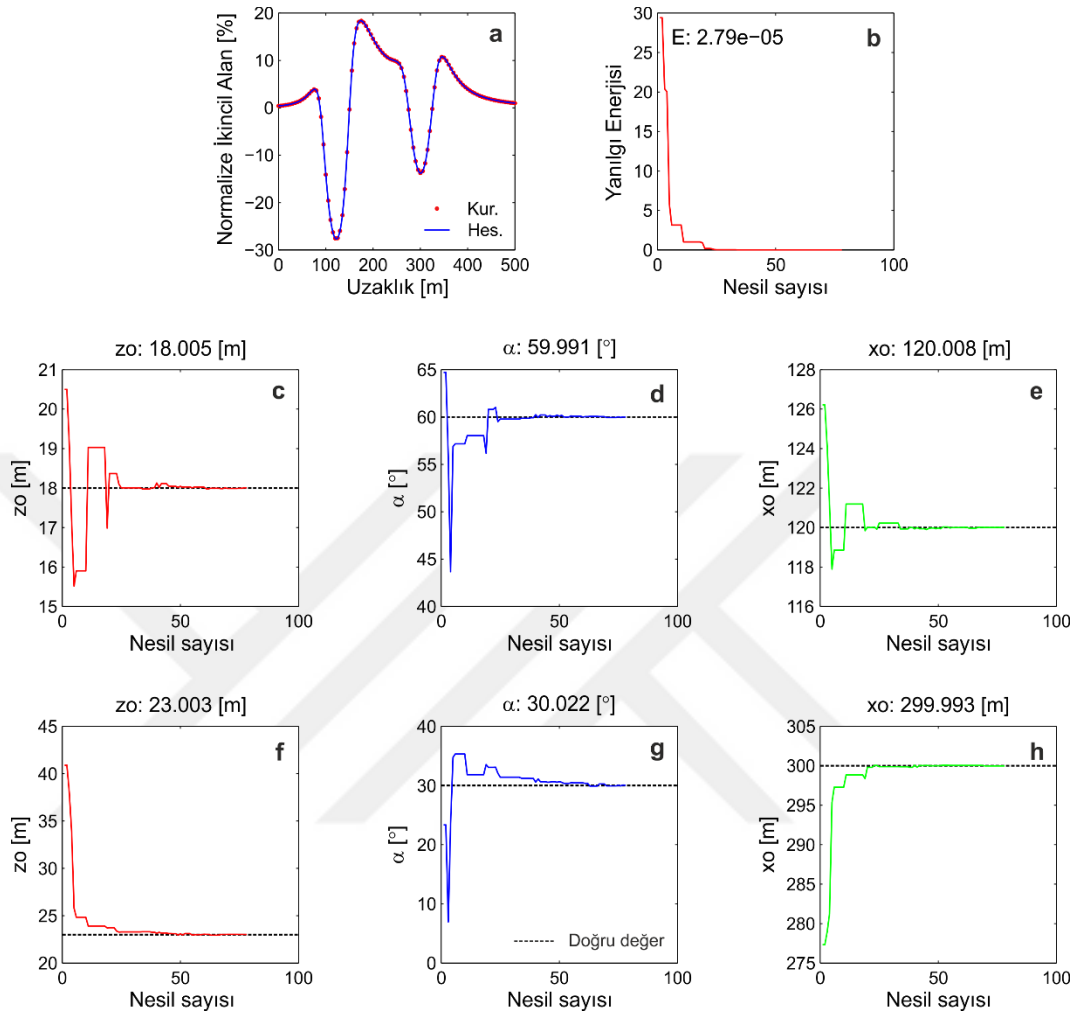
G	Yapı	Parametreler			RMS				Ort. süre [s]
		zo [m]	α (°)	xo [m]	Min.	Max.	Ort.	Std. Sap.	
30	1	18.01	59.34	120.33	3.55e-01	2.42	1.31	4.95e-01	32.39
	2	23.60	27.78	299.98					
50	1	18.02	59.56	120.24	6.09e-02	1.54	6.44e-01	3.06e-01	53.80
	2	23.15	28.57	299.83					
100	1	18.00	60.00	120.00	1.81e-02	2.33e-01	6.06e-02	4.57e-02	99.55
	2	23.02	30.20	300.02					
30	1	18.22	57.74	120.32	4.20e-01	3.35	1.52	6.89e-01	32.48
	2	24.74	25.79	300.34					
50	1	18.01	59.66	120.09	1.08e-01	1.10	5.59e-01	2.24e-01	50.90
	2	23.09	28.86	300.09					
100	1	17.98	59.97	120.03	1.10e-02	1.43e-01	6.79e-02	3.56e-02	153.69
	2	23.01	30.04	299.98					

Çizelge 6.12. İki yapılı model için FA algoritmasında sırasıyla $p1 = 8$ ve $p2 = 5$ (düz yazı ile gösterilen sonuçlar) ve $p1 = 0.3$ ve $p2 = 0.3$ (eğik yazı ile gösterilen sonuçlar) kullanılarak yaklaşım 2’den (maksimum $G = 100$, eşik değeri, $1e-03$) gürültüsüz belirti için elde edilen sonuçlar

G	Yapı	Parametreler			RMS				Ort. süre [s]
		zo [m]	α (°)	xo [m]	Min.	Max.	Ort.	Std. Sap.	
63	1	18.00	59.99	120.00	1.95e-02	3.74e-02	2.72e-02	4.11e-03	61.55
	2	23.01	30.00	299.99					
99.3	1	17.99	59.97	119.99	2.57e-02	3.27e-01	7.38e-02	5.61e-02	95.51
	2	23.02	29.95	300.02					

Yukarıda sunulan Çizelge 6.12, iki yapılı model için gürültüsüz veri kümesinin maksimum $G = 100$ ve görece daha büyük bir eşik değeri ($1e-03$) kullanılarak yaklaşım 2’den elde edilen sonuçları göstermektedir. Algoritma bu eşik değerinde, önerilen kontrol parametreleriyle 28, $p1 = 0.3$ ve $p2 = 0.3$ kontrol parametreleriyle ise sadece 6 çalıştırmada maksimum G ’ye ulaşmadan sonlanabilmiştir. Bu parametreler için

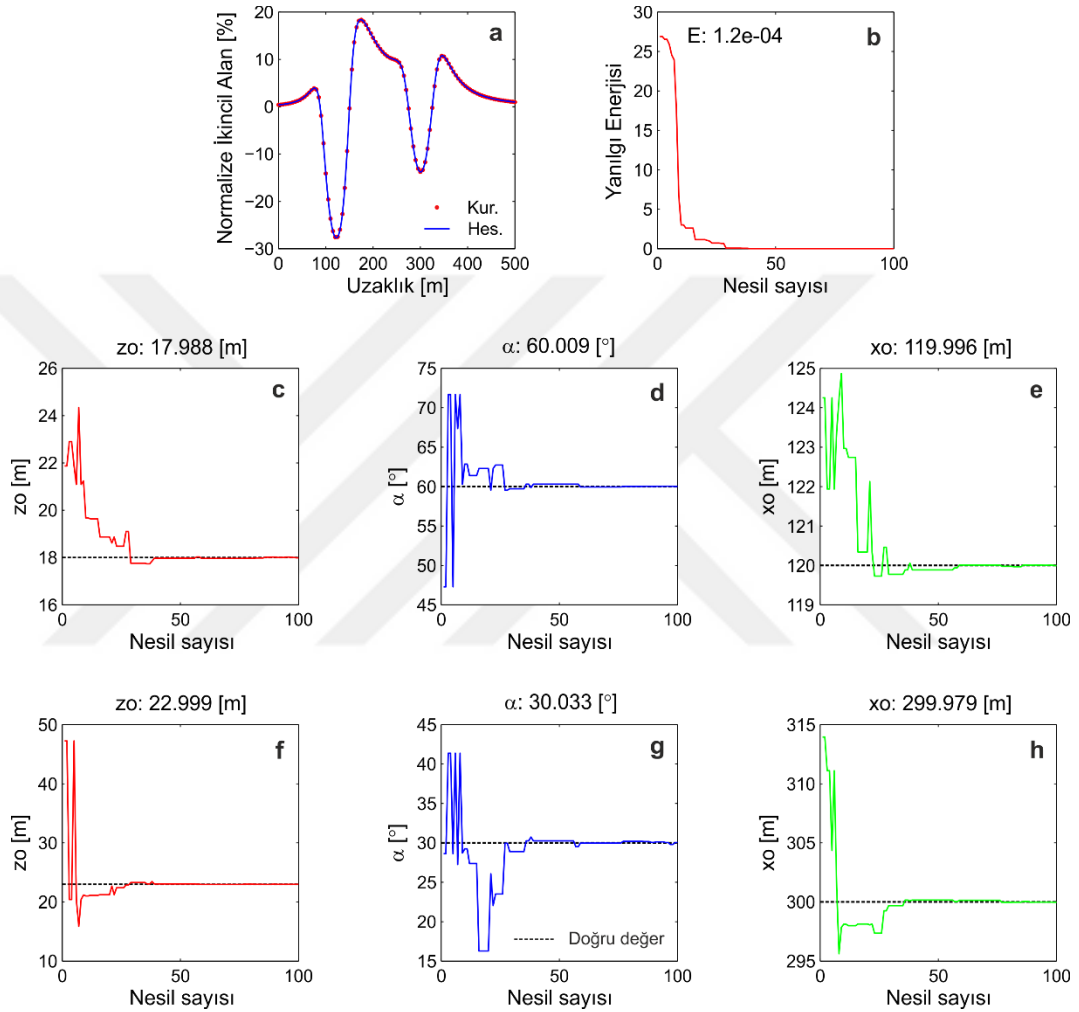
ortalama nesil sayıları sırasıyla 63 ve 99.3 iken önerilen kontrol parametreleriyle bir çalıştırmadan ortalama yaklaşık 34 s kadar bir kazanç sağlanmıştır.



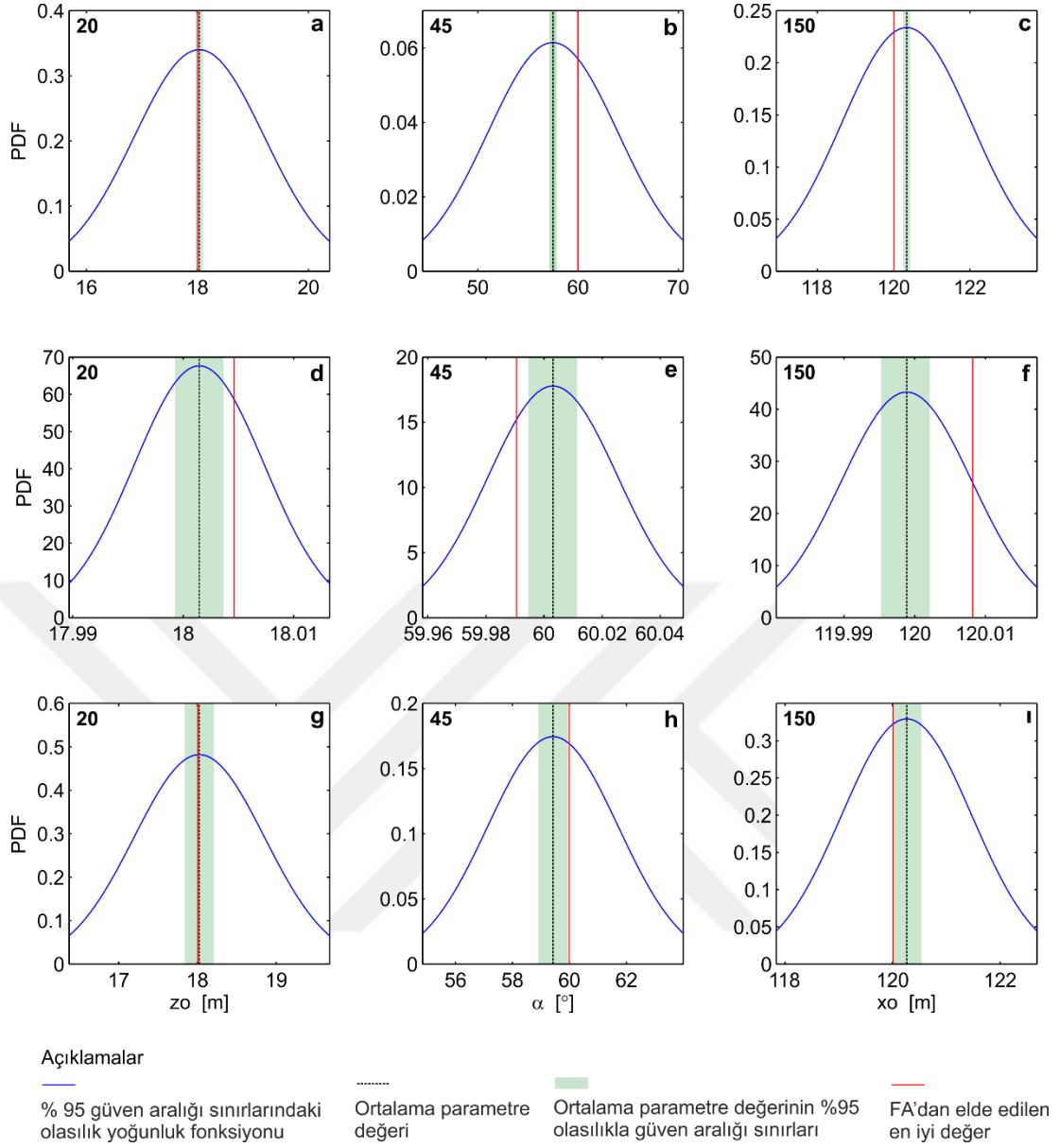
Şekil 6.21. a) Yaklaşım 2 kullanılarak ($Np = 90$, $p1 = 8 \cdot rand()$ ve $p2 = 5 \cdot rand()$ ve maksimum $G = 100$) 78. nesil sonunda elde edilen model parametrelerinden hesaplanan belirtinin gürültüsüz kuramsal iki yapılı model ile karşılaştırılması b) Yanılgı enerjisinin her bir nesildeki değişimi c-e) Birinci yapının model parametrelerinin (sırasıyla z_o , α ve x_o) her bir nesildeki değişimi f-h) İkinci yapının model parametrelerinin (sırasıyla z_o , α ve x_o) her bir nesildeki değişimi

Şekil 6.21 ve Şekil 6.22, genel sonuçları Çizelgeler 6.10 ve 6.11’de sunulan (maksimum $G = 100$, $Np = 90$ ($D \times 15$)) ve yaklaşım 2 ile yukarıda değinilen kontrol parametreleri ile FA algoritması tarafından kestirilen model parametreleri kullanılarak elde edilen sonuçların grafik çizimlerini göstermektedir. Buna göre, önerilen kontrol parametreleriyle 78. nesil sonunda elde edilen ve en düşük RMS ($5.28e-03$) değerini üreten model parametreleri sırasıyla birinci yapı için $z_o = 18$ m, $\alpha = 59.99^\circ$ ve $x_o =$

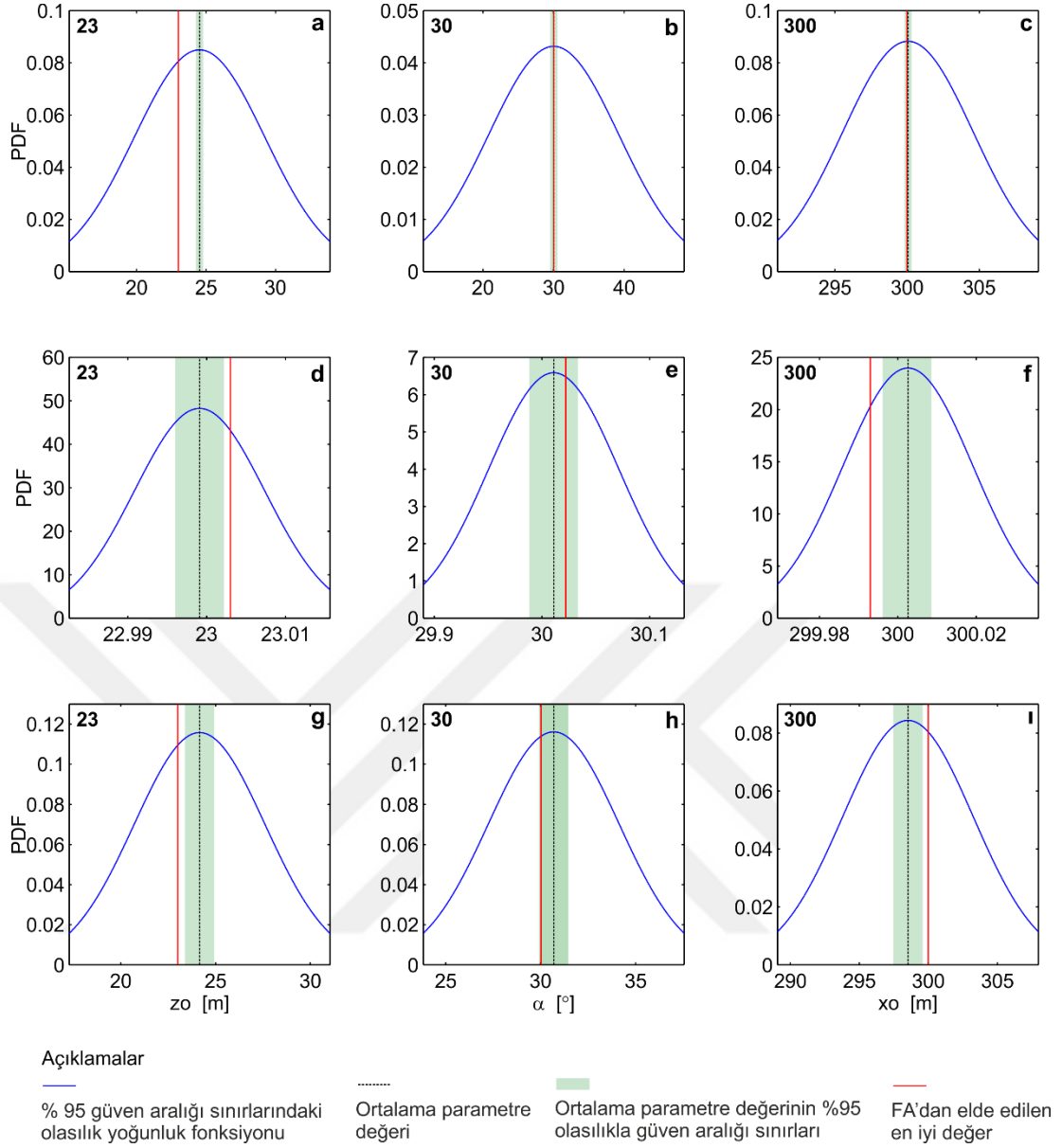
120.01 m, ikinci yapı için ise $z_o = 23$ m, $\alpha = 30.02^\circ$ ve $x_o = 299.99$ m'dir. Kontrol parametrelerinin $p1 = p2 = 0.3$ olması durumunda ise en düşük RMS değerini ($1.1e-02$) üreten en iyi çözüm 100. nesil sonunda elde edilmiştir. Model parametreleri, birinci yapı için $z_o = 17.99$ m, $\alpha = 60.01^\circ$ ve $x_o = 120$ m, ikinci yapı için ise $z_o = 23$ m, $\alpha = 30.03^\circ$ ve $x_o = 299.98$ m'dir.



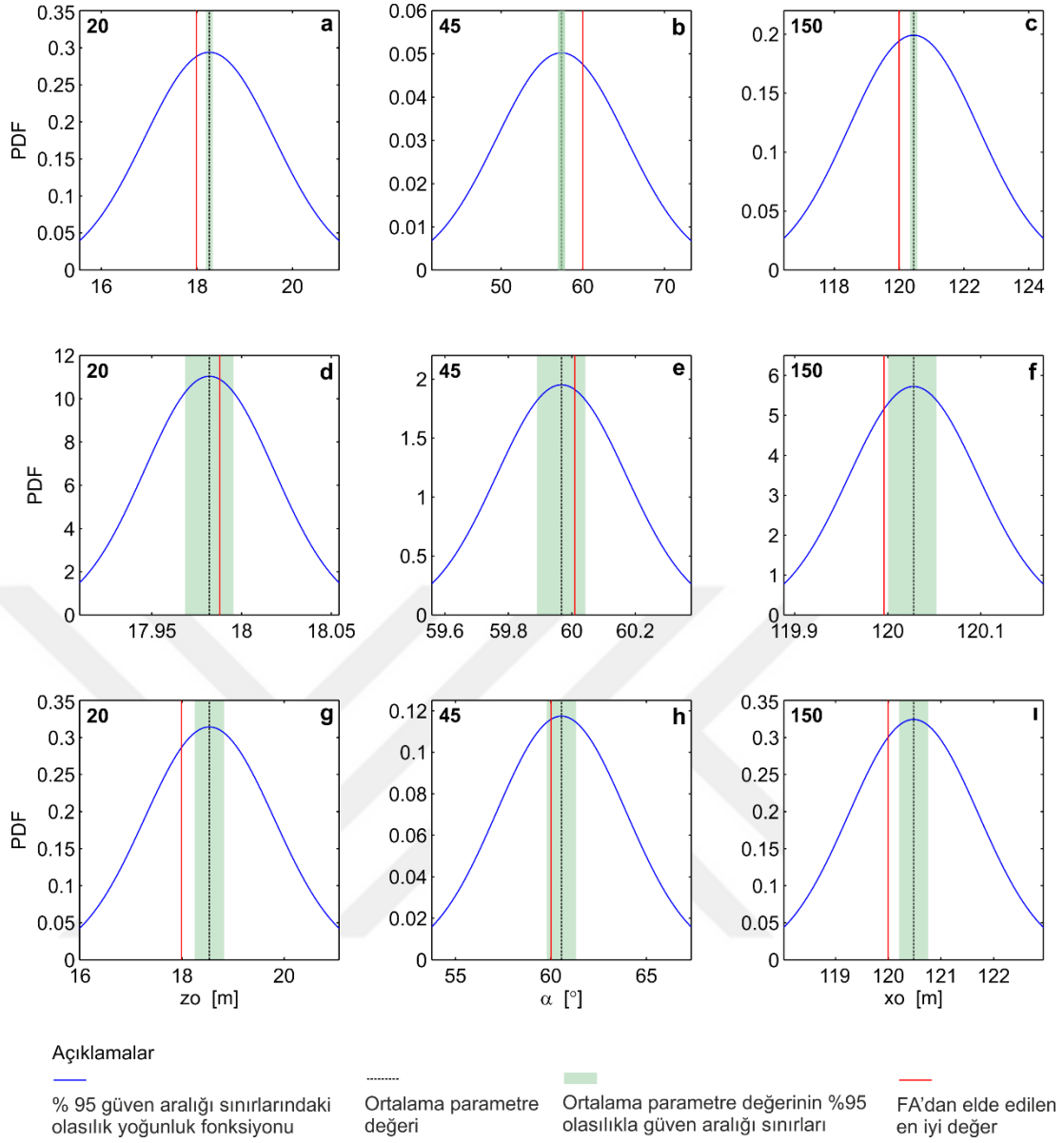
Şekil 6.22. a) Yaklaşım 2 kullanılarak ($Np = 90$, $p1 =$ ve $p2 = 0.3 \cdot rand()$) ve maksimum $G = 100$) 100. nesil sonunda elde edilen model parametrelerinden hesaplanan belirtinin gürültüsüz kuramsal iki yapılı model ile karşılaştırılması b) Yanılgı enerjisinin her bir nesildeki değişimi c-e) Birinci yapının model parametrelerinin (sırasıyla z_o , α ve x_o) her bir nesildeki değişimi f-h) İkinci yapının model parametrelerinin (sırasıyla z_o , α ve x_o) her bir nesildeki değişimi



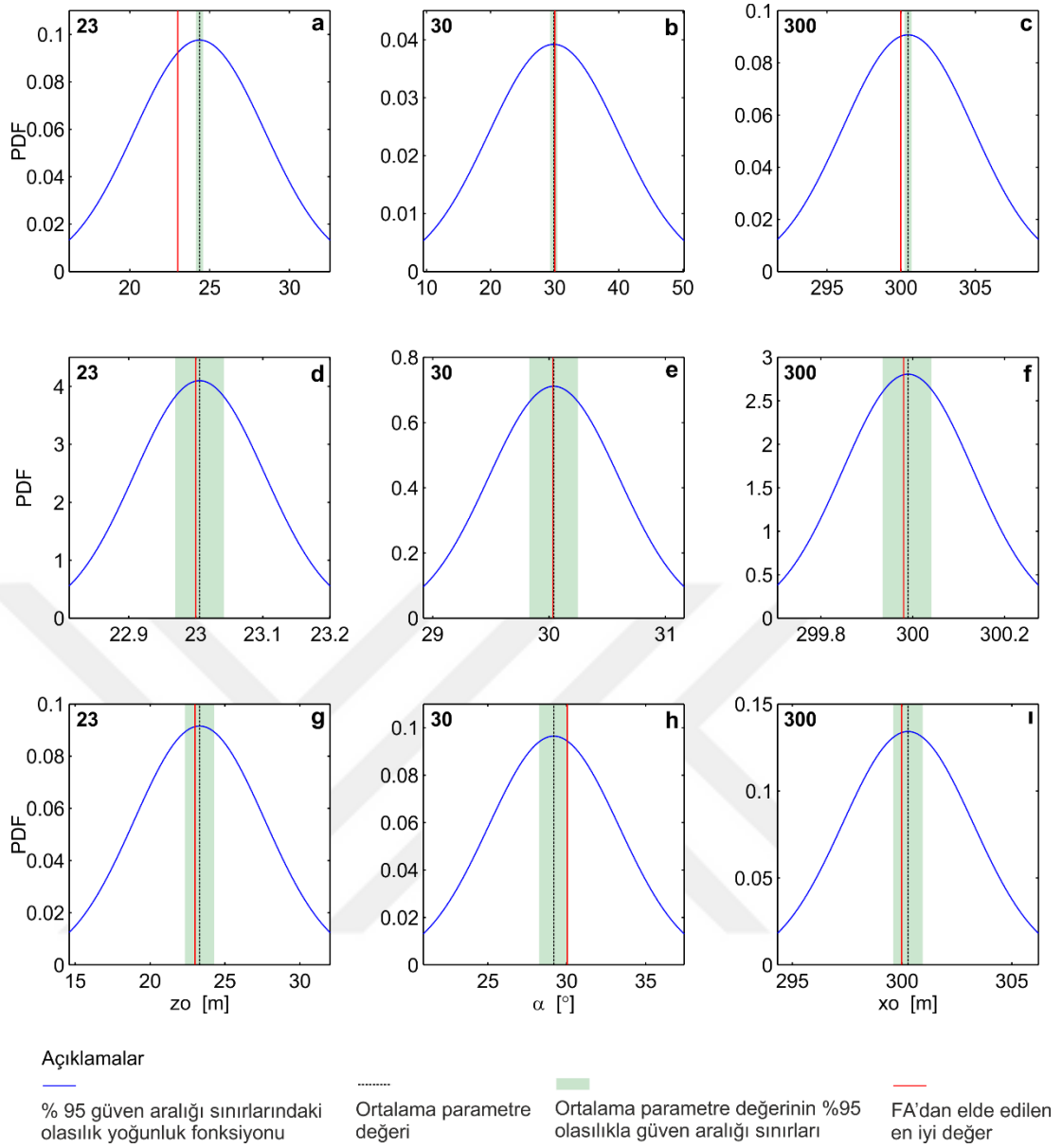
Şekil 6.23. İki yapılı modelin gürültüsüz veri kümesi için 30 ayrı FA çalışması sonunda yaklaşık 2 ve $p1 = 8 \cdot rand()$ ve $p2 = 5 \cdot rand()$ kullanarak elde edilen birinci yapıya ait sonuçların *PDF* grafikleri a-c) Tüm bağımsız çalıştırmalar dikkate alınarak her bir nesilden elde edilen parametrelerin (1994 çözüm) d-f) Tüm bağımsız çalıştırmaların her birinden elde edilen en iyi çözümlere (30 çözüm) ait parametrelerin ve g-i) Şekil 6.21'de sunulan ve 30 çözüm arasında en iyi model parametrelerini üreten çözümün istatistiksel değerlendirmeleri. Doğru parametre değerleri ayrıca her bir grafik üzerinde gösterilmiştir.



Şekil 6.24. İki yapılı modelin gürültüsüz veri kümesi için 30 ayrı FA çalışması sonunda yaklaşık 2 ve $p1 = 8 \cdot rand()$ ve $p2 = 5 \cdot rand()$ kullanarak elde edilen ikinci yapıya ait sonuçların PDF grafikleri a-c) Tüm bağımsız çalıştırmalar dikkate alınarak her bir nesilden elde edilen parametrelerin (1994 çözüm) d-f) Tüm bağımsız çalıştırmaların her birinden elde edilen en iyi çözümlere (30 çözüm) ait parametrelerin ve g-i) Şekil 6.21'de sunulan ve 30 çözüm arasında en iyi model parametrelerini üreten çözümün istatistiksel değerlendirmeleri. Doğru parametre değerleri ayrıca her bir grafik üzerinde gösterilmiştir.



Şekil 6.25. İki yapılı modelin gürültüsüz veri kümesi için 30 ayrı FA çalışması sonunda yaklaşık 2 ve $p1 = p2 = 0.3 \cdot rand()$ kullanarak elde edilen birinci yapıya ait sonuçların PDF grafikleri a-c) Tüm bağımsız çalıştırmalar dikkate alınarak her bir nesilden elde edilen parametrelerin (3000 çözüm) d-f) Tüm bağımsız çalıştırmaların her birinden elde edilen en iyi çözümlere (30 çözüm) ait parametrelerin ve g-ı) Şekil 6.22’de sunulan ve 30 çözüm arasında en iyi model parametrelerini üreten çözümün istatistiksel değerlendirmeleri. Doğru parametre değerleri ayrıca her bir grafik üzerinde gösterilmiştir.



Şekil 6.26. İki yapılı modelin gürültüsüz veri kümesi için 30 ayrı FA çalışması sonunda yaklaşık 2 ve $p1 = p2 = 0.3 \cdot rand()$ kullanarak elde edilen ikinci yapıya ait sonuçların *PDF* grafikleri a-c) Tüm bağımsız çalıştırmalar dikkate alınarak her bir nesilden elde edilen parametrelerin (3000 çözüm) d-f) Tüm bağımsız çalıştırmaların her birinden elde edilen en iyi çözümlere (30 çözüm) ait parametrelerin ve g-i) Şekil 6.22'de sunulan ve 30 çözüm arasında en iyi model parametrelerini üreten çözümün istatistiksel değerlendirmeleri. Doğru parametre değerleri ayrıca her bir grafik üzerinde gösterilmiştir.

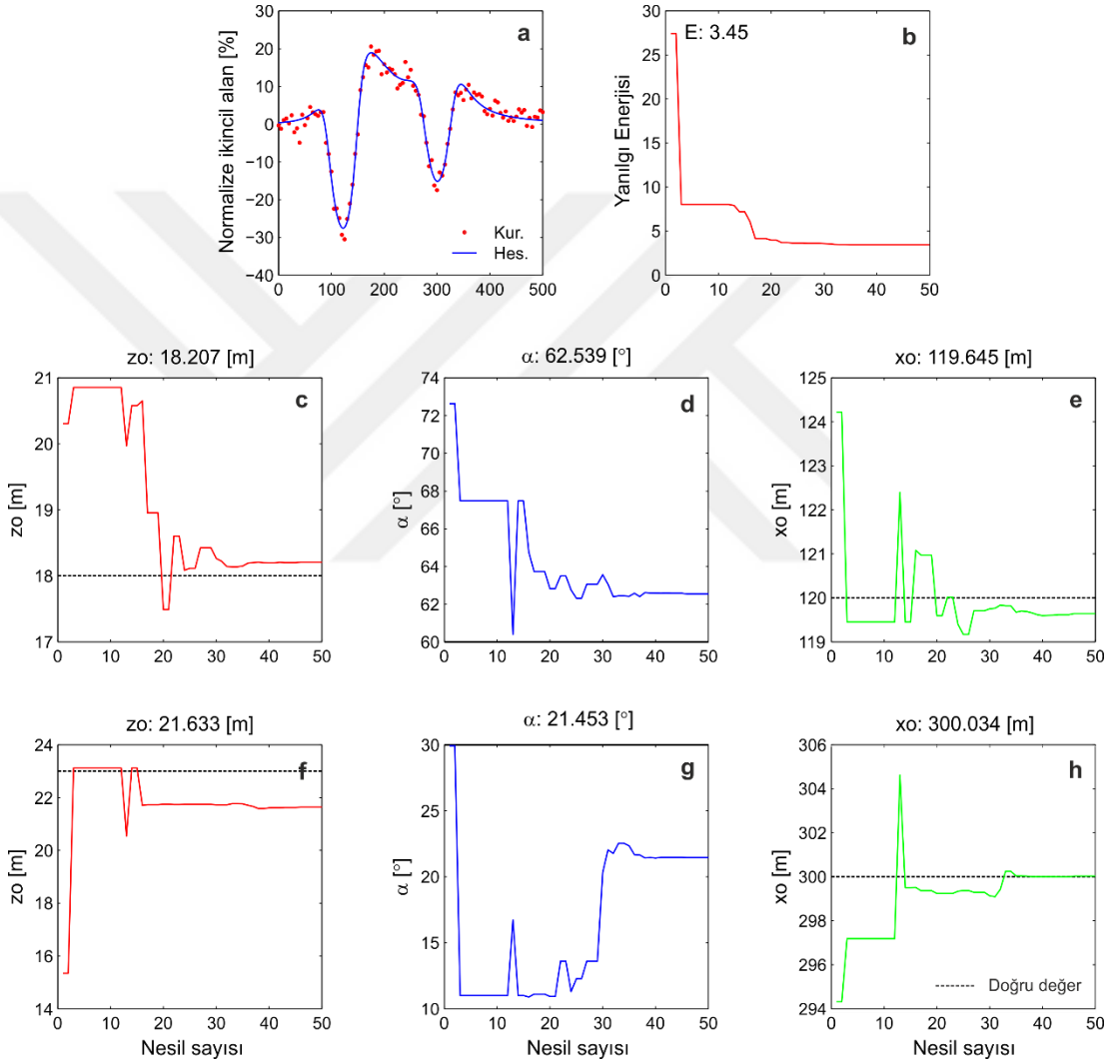
İki yapılı modelin gürültüsüz veri kümesi için 30 ayrı FA çalışması sonunda yaklaşım 2 ve $p1 = 8 \cdot rand()$ ve $p2 = 5 \cdot rand()$ kullanarak elde edilen ve birinci ve ikinci yapılara ait sonuçların *PDF* grafikleri sırasıyla Şekiller 6.23 ve 6.24'te sunulmuştur. Şekiller 6.25 ve 6.26 ise $p1 = p2 = 0.3 \cdot rand()$ kullanarak elde edilen ve sırasıyla birinci ve ikinci yapılara ait sonuçların *PDF* grafiklerini göstermektedir. İlk ve ikinci yapı için her iki kontrol parametresiyle elde edilen tüm bu grafikler incelendiğinde ve birbirleriyle karşılaştırıldığında önerilen parametre çiftine ait *PDF* grafiklerinin görece dar bir aralıkta değiştiği açıkça görülmektedir. Ayrıca bu çözümler için algoritma diğer parametre çiftine kıyasla 30 bağımsız çalıştırma için daha az bir nesil üreterek (1994) hesaplama maliyeti açısından önemli bir kazanç sağlamıştır.

6.1.2.2. Gürültülü veri

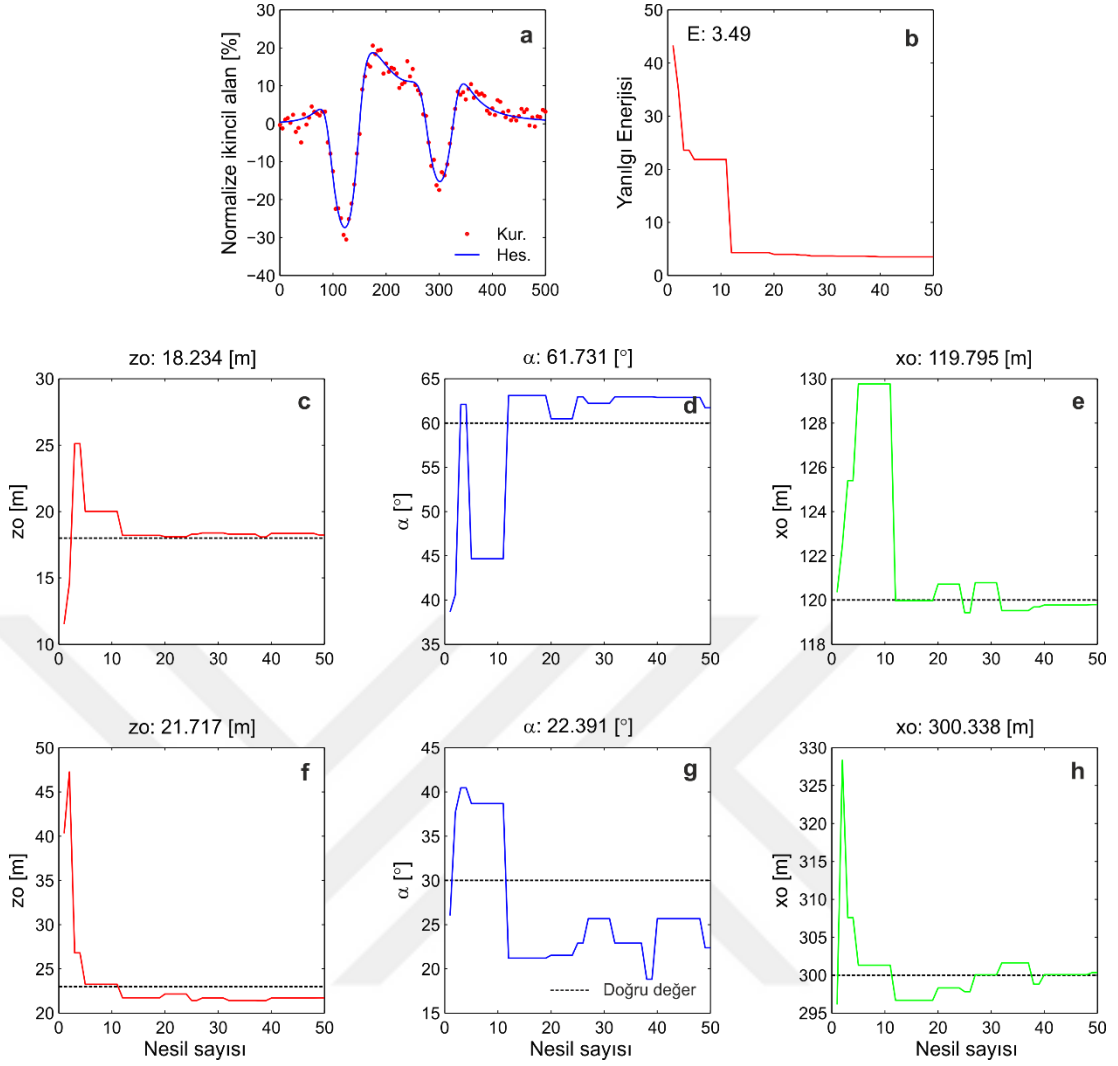
Gürültüsüz veri kümesinde olduğu gibi, Çizelge 6.7'de sunulan parametre arama uzayı sınırları kullanılarak algoritmanın 30 bağımsız çalışmasından elde edilen çözümlere ait istatistiksel sonuçlar Çizelge 6.13'de sunulmuştur. Gürültüsüz veri kümesi uygulamasından elde edilen kazanımlar dikkate alınarak, değerlendirmede; yaklaşım 1 (maksimum $G = 50$), algoritmayı durdurma ölçütü olarak kullanılmıştır. Çizelgeden açıkça görüldüğü gibi, her iki kontrol parametre çifti ile kestirilen model parametrelerinin ortalama değerleri birbirine yakındır. Bunlar arasında, ikinci yapının α parametresinin (30°) diğer parametrelere göre daha az duyarlılıkta belirlenebildiği görülmektedir. Ancak, önerilen parametre çifti ile ortalama parametre değerinden olan sapma değeri (21.51 ± 2.34), yaygın kullanılan parametre çiftinin kullanılmasından elde edilen sonuca göre (20.82 ± 8.86) daha dar bir aralıkta değişmektedir. Ayrıca, çözümlerin *RMS* istatistikleri dikkate alındığında önerilen kontrol parametre çiftinin görece daha düşük dolayısıyla daha başarılı sonuçlar ürettiği görülmektedir. Bunların bir sonucu olarak, daha kararlı sonuçların önerilen parametre çiftinin kullanılması sonucunda elde edildiği açıkça vurgulanabilir. Bu çalışmada önerilen ve algoritmanın yaygın olarak kullanılan kontrol parametreleri dikkate alınarak elde edilen en iyi çözümlere ait sonuçların grafiksel sunumları sırası ile Şekil 6.27 ve Şekil 6.28'de verilmiştir. Yanılgı enerjisi ve her bir yapı için kestirilen model parametrelerinin değerleri ayrıca ilgili grafiklerin üzerinde gösterilmiştir.

Çizelge 6.13. İki yapılı model için FA algoritmasında sırasıyla $p1 = 8$ ve $p2 = 5$ (düz yazı ile gösterilen sonuçlar) ve $p1 = 0.3$ ve $p2 = 0.3$ (eğik yazı ile gösterilen sonuçlar) kullanılarak yaklaşım 1'den 50 nesil sonunda gürültülü belirti için elde edilen sonuçlar

Yapı	Parametreler			RMS			
	z_0 [m]	α (°)	x_0 [m]	Min.	Max.	Ort.	Std. Sap.
1	18.17±0.14	62.42±0.39	119.67±0.20	1.86	1.98	1.87	2.34e-02
2	21.68±0.19	21.51±2.34	300.02±0.17				
<i>1</i>	<i>18.19±0.42</i>	<i>61.88±1.23</i>	<i>120.05±0.76</i>	<i>1.87</i>	<i>2.31</i>	<i>2.00</i>	<i>1.04e-01</i>
<i>2</i>	<i>21.56±0.60</i>	<i>20.82±8.86</i>	<i>299.84±1.06</i>				

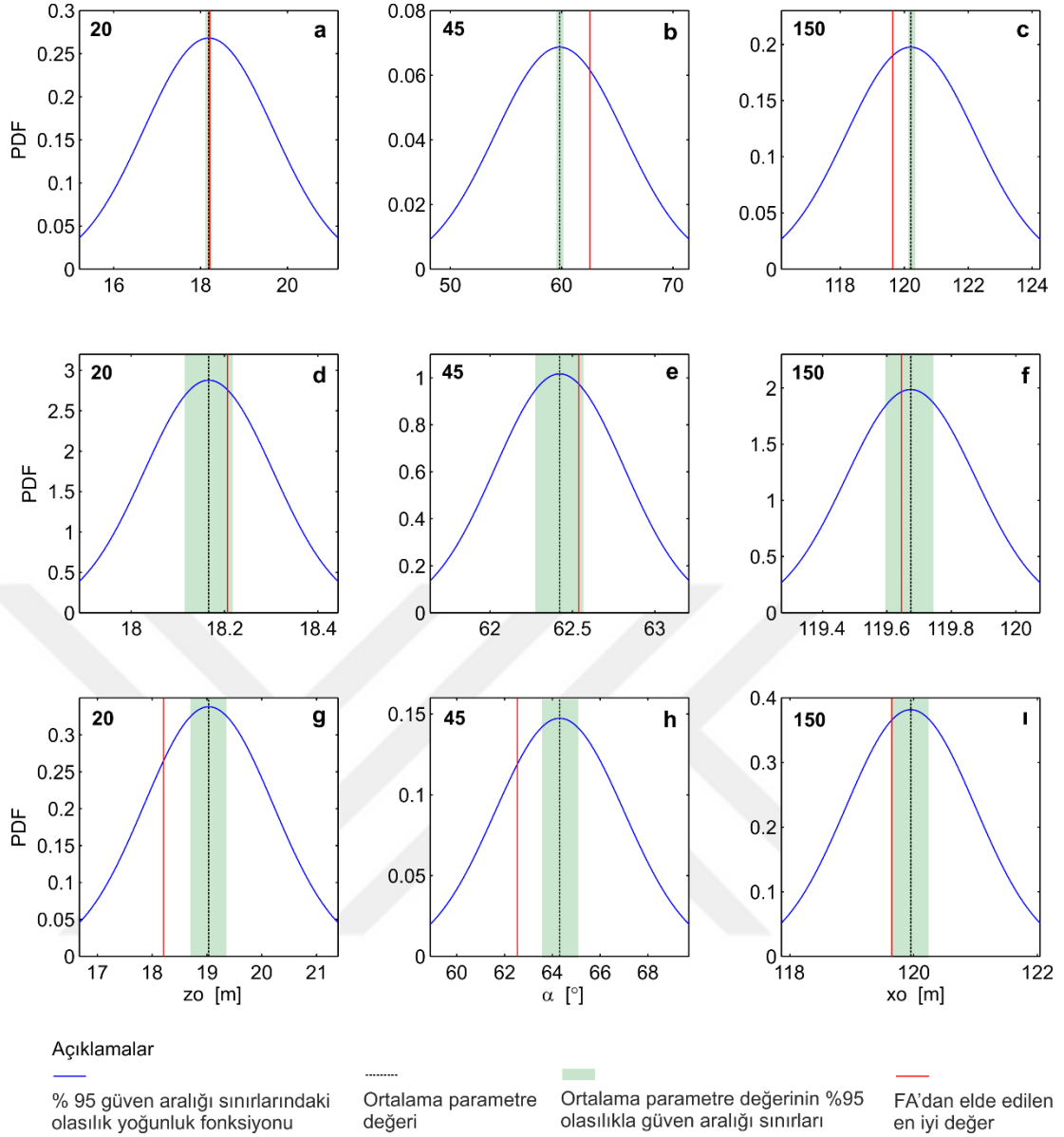


Şekil 6.27. a) $p1 = 8 \cdot rand()$ ve $p2 = 5 \cdot rand()$ kullanılarak 50 nesil sonunda elde edilen model parametrelerinden hesaplanan belirtinin gürültülü kuramsal iki yapılı model ile karşılaştırılması b) Yanılgı enerjisinin her bir nesildeki değişimi c-e) Birinci yapının model parametrelerinin (sırasıyla z_0 , α ve x_0) her bir nesildeki değişimi f-h) İkinci yapının model parametrelerinin her bir nesildeki değişimi

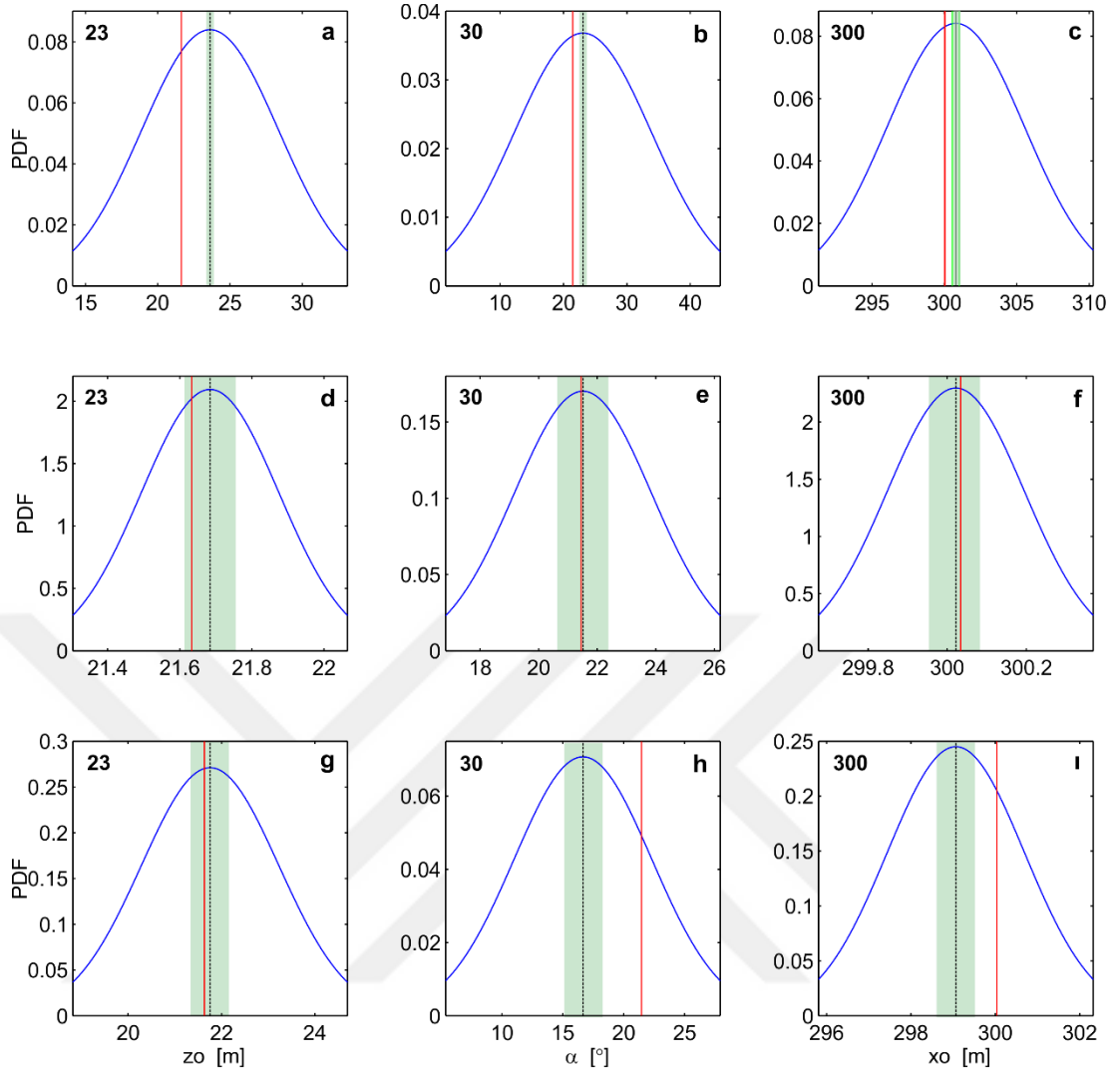


Şekil 6.28. a) $p1 = 0.3 \cdot rand()$ ve $p2 = 0.3 \cdot rand()$ kullanılarak 50 nesil sonunda elde edilen model parametrelerinden hesaplanan belirtinin gürültülü kuramsal iki yapıli model ile karşılaştırılması b) Yanılı enerjisinin her bir nesildeki değişimi c-e) Birinci yapının model parametrelerinin (sırasıyla z_o , α ve x_o) her bir nesildeki değişimi f-h) İkinci yapının model parametrelerinin her bir nesildeki değişimi

İki yapıli modelin gürültülü veri kümesi için 30 ayrı FA çalışması sonunda yaklaşım 2 ve $p1 = 8 \cdot rand()$ ve $p2 = 5 \cdot rand()$ kullanarak elde edilen ve birinci ve ikinci yapıliara ait sonuçların *PDF* grafikleri sırasıyla Şekiller 6.29 ve 6.30'da sunulmuştur. Şekiller 6.31 ve 6.32 ise $p1 = p2 = 0.3 \cdot rand()$ kullanarak elde edilen ve sırasıyla birinci ve ikinci yapıliara ait sonuçların *PDF* grafiklerini göstermektedir. Söz konusu 4 şekil ve içerdikleri tüm grafikler incelendiğinde, özellikle ikinci yapının α parametresinde daha belirgin olmak üzere, önerilen parametre çifti ile daha kararlı sonuçların elde edildiği açıkça görülmektedir.



Şekil 6.29. İki yapılı modelin gürültülü veri kümesi için 30 ayrı FA çalışması sonunda yaklaşık 2 ve $p1 = 8 \cdot rand()$ ve $p2 = 5 \cdot rand()$ kullanarak elde edilen birinci yapıya ait sonuçların PDF grafikleri a-c) Tüm bağımsız çalıştırmalar dikkate alınarak her bir nesilden elde edilen parametrelerin (1500 çözüm) d-f) Tüm bağımsız çalıştırmaların her birinden elde edilen en iyi çözümlere (30 çözüm) ait parametrelerin ve g-ı) Şekil 6.27'de sunulan ve 30 çözüm arasında en iyi model parametrelerini üreten çözümün istatistiksel değerlendirmeleri. Doğru parametre değerleri ayrıca her bir grafik üzerinde gösterilmiştir.



Açıklamalar

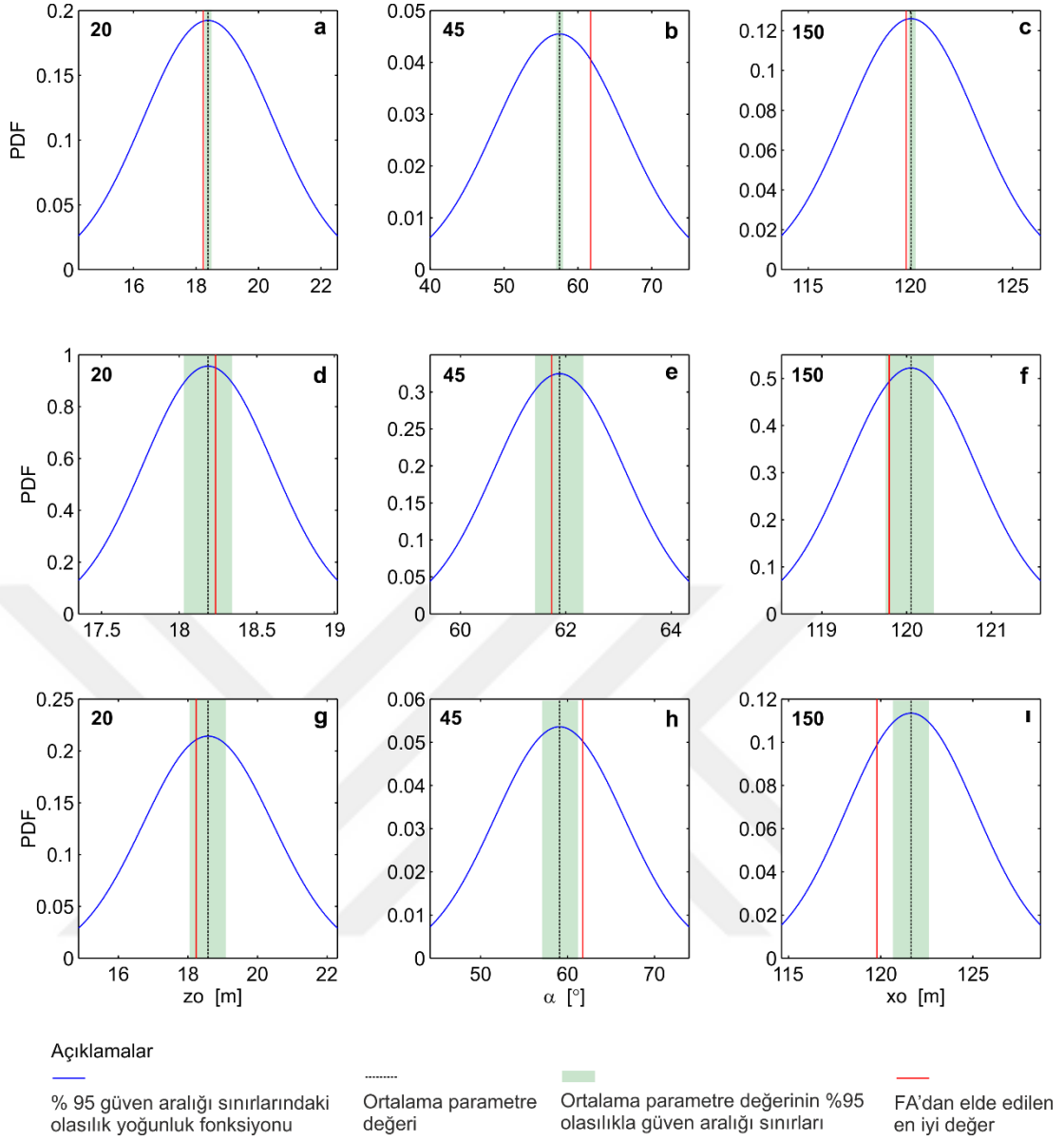
— % 95 güven aralığı sınırlarındaki olasılık yoğunluk fonksiyonu

..... Ortalama parametre değeri

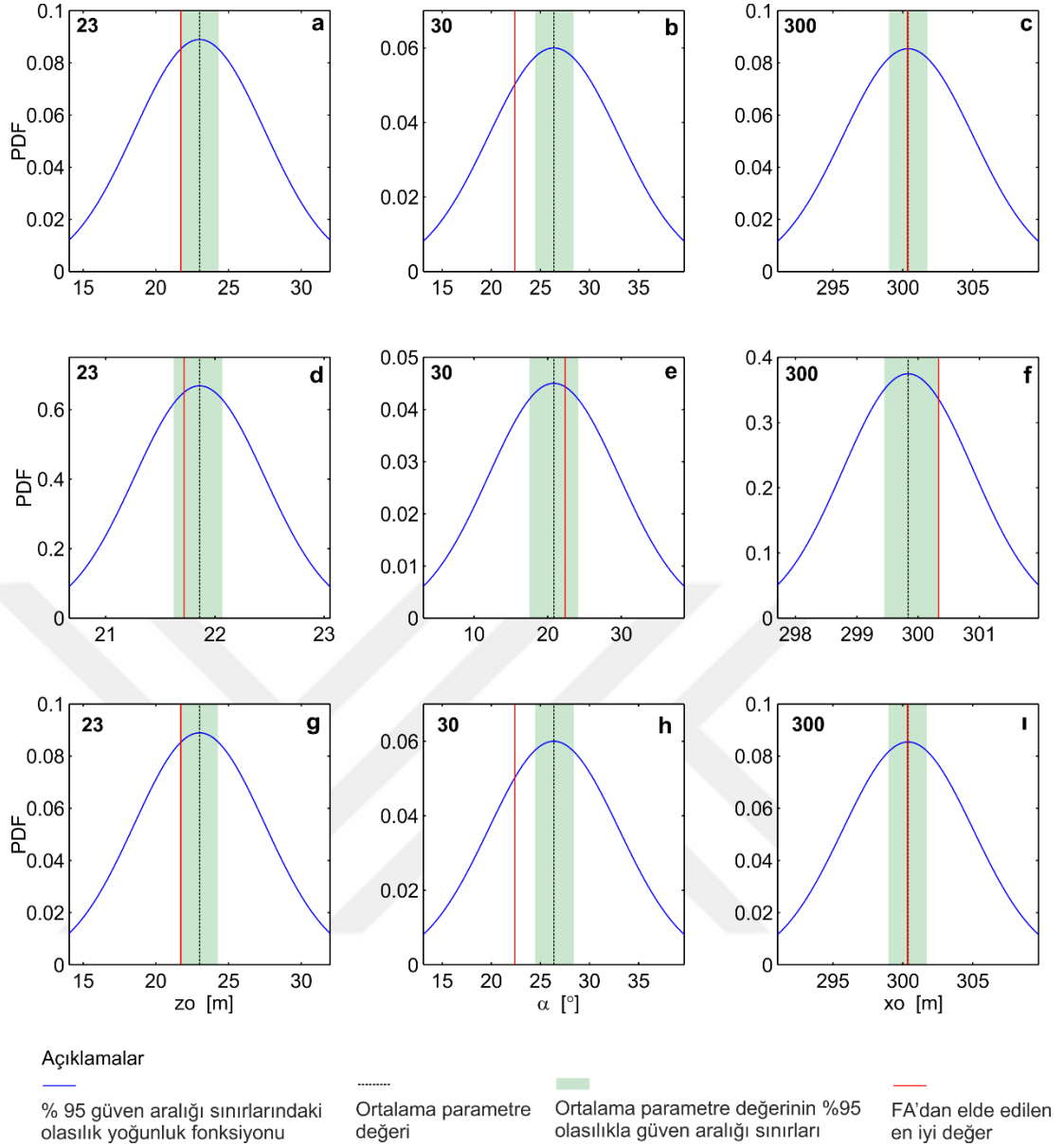
■ Ortalama parametre değerinin %95 olasılıkla güven aralığı sınırları

— FA'dan elde edilen en iyi değer

Şekil 6.30. İki yapılu modelin gürültülü veri kümesi için 30 ayrı FA çalışması sonunda yaklaşık 2 ve $p1 = 8 \cdot rand()$ ve $p2 = 5 \cdot rand()$ kullanarak elde edilen ikinci yapıya ait sonuçların PDF grafikleri a-c) Tüm bağımsız çalıştırmalar dikkate alınarak her bir nesilden elde edilen parametrelerin (1500 çözüm) d-f) Tüm bağımsız çalıştırmaların her birinden elde edilen en iyi çözümlere (30 çözüm) ait parametrelerin ve g-i) Şekil 6.27'de sunulan ve 30 çözüm arasında en iyi model parametrelerini üreten çözümün istatistiksel değerlendirmeleri. Doğru parametre değerleri ayrıca her bir grafik üzerinde gösterilmiştir.



Şekil 6.31. İki yapılı modelin gürültülü veri kümesi için 30 ayrı FA çalışması sonunda yaklaşık 2 ve $p1 = 0.3 \cdot rand()$ ve $p2 = 0.3 \cdot rand()$ kullanarak elde edilen birinci yapıya ait sonuçların PDF grafikleri a-c) Tüm bağımsız çalıştırmalar dikkate alınarak her bir nesilden elde edilen parametrelerin (1500 çözüm) d-f) Tüm bağımsız çalıştırmaların her birinden elde edilen en iyi çözümlere (30 çözüm) ait parametrelerin ve g-i) Şekil 6.28'de sunulan ve 30 çözüm arasında en iyi model parametrelerini üreten çözümün istatistiksel değerlendirmeleri. Doğru parametre değerleri ayrıca her bir grafik üzerinde gösterilmiştir.



Şekil 6.32. İki yapılu modelin gürültülü veri kümesi için 30 ayrı FA çalışması sonunda yaklaşık 2 ve $p1 = 0.3 \cdot rand()$ ve $p2 = 0.3 \cdot rand()$ kullanarak elde edilen birinci yapıya ait sonuçların *PDF* grafikleri a-c) Tüm bağımsız çalıştırmalar dikkate alınarak her bir nesilden elde edilen parametrelerin (1500 çözüm) d-f) Tüm bağımsız çalıştırmaların her birinden elde edilen en iyi çözümlere (30 çözüm) ait parametrelerin ve g-i) Şekil 6.28'de sunulan ve 30 çözüm arasında en iyi model parametrelerini üreten çözümün istatistiksel değerlendirmeleri. Doğru parametre değerleri ayrıca her bir grafik üzerinde gösterilmiştir.

6.2. Arazi Veri Kümeleri

Algoritmanın uygulanabilirliği ve doğruluğu gürültüsüz ve gürültü içeren iki kuramsal veri kümesi üzerinde test edildikten ve uygun kontrol parametreleri belirlendikten

sonra Kuzey Avustralya’da eğimli bir grafitik şist üzerinde ölçülen iki alan verisi değerlendirilmiştir. Cevher üzerinde ölçülen sanal bileşenin düşük genlikte olması nedeniyle (Duckworth vd., 1991) mükemmel bir iletkene yakın karakteristik özellikler sunan yatağın konumu ve derinliği bir sondaj çalışması ile ayrıntılı olarak belirlenmiştir (Duckworth, 1968, 1970, 1977).

6.2.1. Arazi verisi 1

Arazi veri kümelerinin değerlendirilmesi için bir yapıları kuramsal model uygulamasından belirlenen parametreler ($p1 = 1$, $p2 = 5$, $G = 50$ ve $Np = 45$) kullanılmıştır. Parametre arama uzayı değerleri sırasıyla z_0 (5-50) m, α (0-90) ° ve x_0 (175-275) m’dir. Çizelge 6.14, FA ($p1 = 1$ ve $p2 = 5$; $p1 = p2 = 0.3$) ve PSO kullanılarak elde edilen ortalama parametre kestirimlerini, RMS istatistiklerini ve ortalama hesaplama sürelerini göstermektedir. Buradan da açıkça görüldüğü gibi, FA algoritması literatürde jeofizik optimizasyon problemleri için daha yaygın olarak kullanılan PSO algoritmasının sonuçlarıyla uyumlu çözümler üretmiştir. FA ve PSO algoritması ile elde edilen sonuçlar ayrıca daha önceki çalışmaların (Duckworth vd., 1991; Dondurur ve Sarı, 2004) sonuçlarıyla da ayrıca karşılaştırılmıştır (Çizelge 6.15). Bunlar arasında Duckworth vd. (1991), Slingram belirtilerini alıcı ve verici halkalar arasındaki mesafe etkisinden bağımsız bir forma dönüştüren nicel bir yaklaşım sunarken Dondurur ve Sarı (2004), ağırlıklı en küçük kareler ters çözüm yaklaşımını kullanarak lokal optimizasyon gerçekleştirmişlerdir. Buna göre tüm model parametreleri incelendiğinde bu çalışmanın sonuçlarının yukarıda değinilen Dondurur ve Sarı’nın çalışmalarından elde edilenler ile daha uyumlu olduğu görülmektedir. Elde edilen derinlik ($z_0 = 16.73$ m) ayrıca sondaj bilgisi (15.4 m) ile de uyumludur.

Çizelge 6.14. İlk arazi veri kümesi için PSO ve FA algoritmasında sırasıyla $p1 = 1$ ve $p2 = 5$ (düz yazı ile gösterilen sonuçlar) ve $p1 = 0.3$ ve $p2 = 0.3$ (eğik yazı ile gösterilen sonuçlar) kullanılarak yaklaşım 1’den ($G = 50$, $Np = 45$) 30 bağımsız çalıştırma sonunda elde edilen sonuçlar

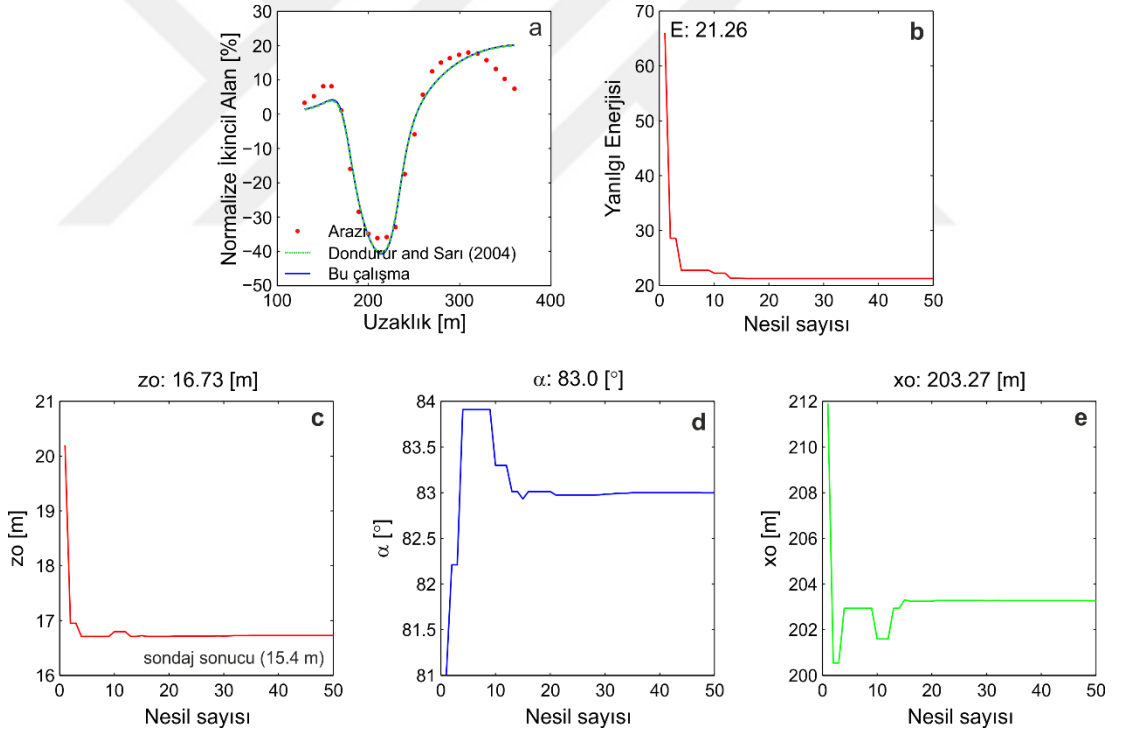
Algoritma	Parametreler			RMS				Ort. süre [s]
	z_0 [m]	α (°)	x_0 [m]	Min.	Max.	Ort.	Std. Sap.	
FA	16.73±0.02	83.0±0.026	203.28±0.086	4.61	4.62	4.61	1.9e-03	5.25
	16.48±0.47	82.23±1.24	203.71±0.79	4.61	4.88	4.67	7.56e-02	5.14
PSO	16.73±0.025	83.0±0.053	203.28±0.052	4.61	4.61	4.61	2.9e-04	7.08*

* : PSO algoritması Scilab ortamında çalıştırılmıştır.

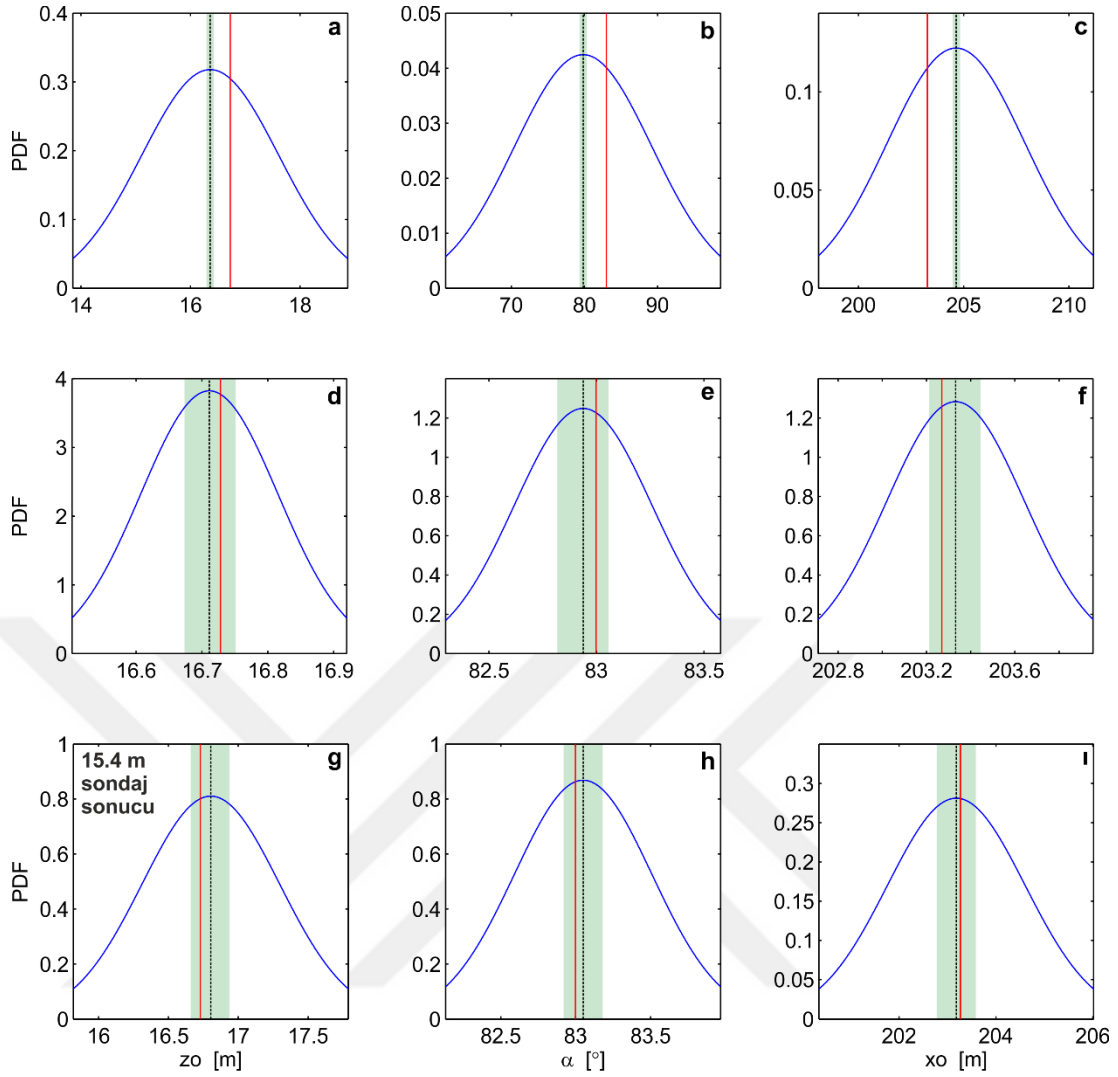
Çizelge 6.15. İlk arazi veri kümesi için önceki çalışmalar ile bu çalışmadan FA ($p1 = 1$ ve $p2 = 5$) ve PSO kullanılarak elde edilen en iyi çözümlere ait sonuçların karşılaştırılması

Kestirilen parametreler	Duckworth vd. (1991)	Dondurur ve Sarı (2004)	Bu çalışma			Sondaj sonucu
			Arama uzayı	FA	PSO	
z_0 [m]	15.04	16.8	5-50	16.73	16.72	15.4
α [°]	68	83	0-90	83.00	82.99	
x_0 [m]	213	203	175-275	203.27	203.26	
RMS	-	4.68		4.61	4.61	

Şekil 6.33a, her iki çalışmadan elde edilen model parametreleri kullanılarak hesaplanan belirtilerin bir karşılaştırmasını, Şekil 6.33b, FA algoritmasının en iyi çözümü için yanılgi enerjisinin nesil sayısı ile değişimini ve Şekil 6.33c-e ise model parametrelerinin her bir nesilde değişimlerini göstermektedir. İlk arazi veri kümesi için algoritmanın 30 bağımsız çalışması arasında en iyi sonuçları kullanarak elde edilen PDF çizimleri Şekil 6.34a-ı’da sunulmuştur.



Şekil 6.33. a) İlk arazi örneği için ölçülen ve hesaplanan belirtilerin karşılaştırılması. Düz mavi çizgi FA algoritması ile elde edilen model parametreleri kullanılarak hesaplanan belirtiyi, yeşil kesikli çizgi ise Dondurur ve Sarı (2004) tarafından sunulan belirtiyi göstermektedir. b) FA çözümü için yanılgi enerjisinin her bir nesildeki değişimi c-e) Model parametrelerinin (sırasıyla z_0 , α ve x_0) her bir nesildeki değişimi



Açıklamalar

— % 95 güven aralığı sınırlarındaki olasılık yoğunluk fonksiyonu

..... Ortalama parametre değeri

Ortalama parametre değerinin %95 olasılıkla güven aralığı sınırları

— FA'dan elde edilen en iyi değer

Şekil 6.34. İlk arazi veri kümesi için 30 ayrı FA çalışması sonunda yaklaşım 2 ve $p1 = 1 \cdot rand()$ ve $p2 = 5 \cdot rand()$ kullanarak elde edilen sonuçların PDF grafikleri a-c) Tüm bağımsız çalıştırmalar dikkate alınarak her bir nesilden elde edilen parametrelerin (1500 çözüm) d-f) Tüm bağımsız çalıştırmaların her birinden elde edilen en iyi çözümlere (30 çözüm) ait parametrelerin ve g-i) Şekil 6.33'te sunulan ve 30 çözüm arasında en iyi model parametrelerini üreten çözümün istatistiksel değerlendirmeleri.

6.2.2. Arazi verisi 2

İkinci arazi veri kümesinin değerlendirilmesinde de ilk arazi örneğinde olduğu gibi aynı parametre arama uzayı değerleri (z_o (5-50) m , α (0-90) ° ve x_o (175-275)) ve kontrol parametreleri ($p1 = 1$, $p2 = 5$, $G = 50$ ve $Np = 45$) kullanılmıştır. Çizelge 6.16,

FA ($p1 = 1$ ve $p2 = 5$; $p1 = p2 = 0.3$) ve PSO kullanılarak elde edilen ortalama parametre kestirimlerini, *RMS* istatistiklerini ve algoritmanın ortalama hesaplama sürelerini göstermektedir. PSO algoritması ile elde edilen sonuçların FA algoritmasının parametre kestirimlerini desteklediği buradan açıkça görülmektedir. Bu metasezgiseller ile daha önce yayımlanmış çalışmaların (Duckworth vd., 1991; Dondurur ve Sarı, 2004) sonuçları ise Çizelge 6.17’de sunulmuştur. Tüm yaklaşımlar sondaj bilgisi (20 m) civarında derinlik sunmakla birlikte en iyi sonuç 20.04 m ile FA ve PSO tarafından elde edilmiştir. Bu çalışmalardan elde edilen sonuçlar arasında en belirgin fark iletkenin eğim açısı için olmuştur. Duckworth vd. (1991) 50°, Dondurur ve Sarı (2004) 74° olarak çözümler sunarken bu çalışmada eğim açısı FA ve PSO ile sırasıyla 84.21° ve 84.20° olarak belirlenmiştir. Ayrıca metasezgiseller, lokal optimizasyon yaklaşımına göre (5.93) görece daha iyi *RMS* değeri (5.83) sunmuşlardır.

Çizelge 6.16. İkinci arazi veri kümesi için PSO ve FA algoritmasında sırasıyla $p1 = 1$ ve $p2 = 5$ (düz yazı ile gösterilen sonuçlar) ve $p1 = 0.3$ ve $p2 = 0.3$ (eğik yazı ile gösterilen sonuçlar) kullanılarak yaklaşım 1’den ($G = 50$, $Np = 45$) 30 bağımsız çalıştırma sonunda elde edilen sonuçlar

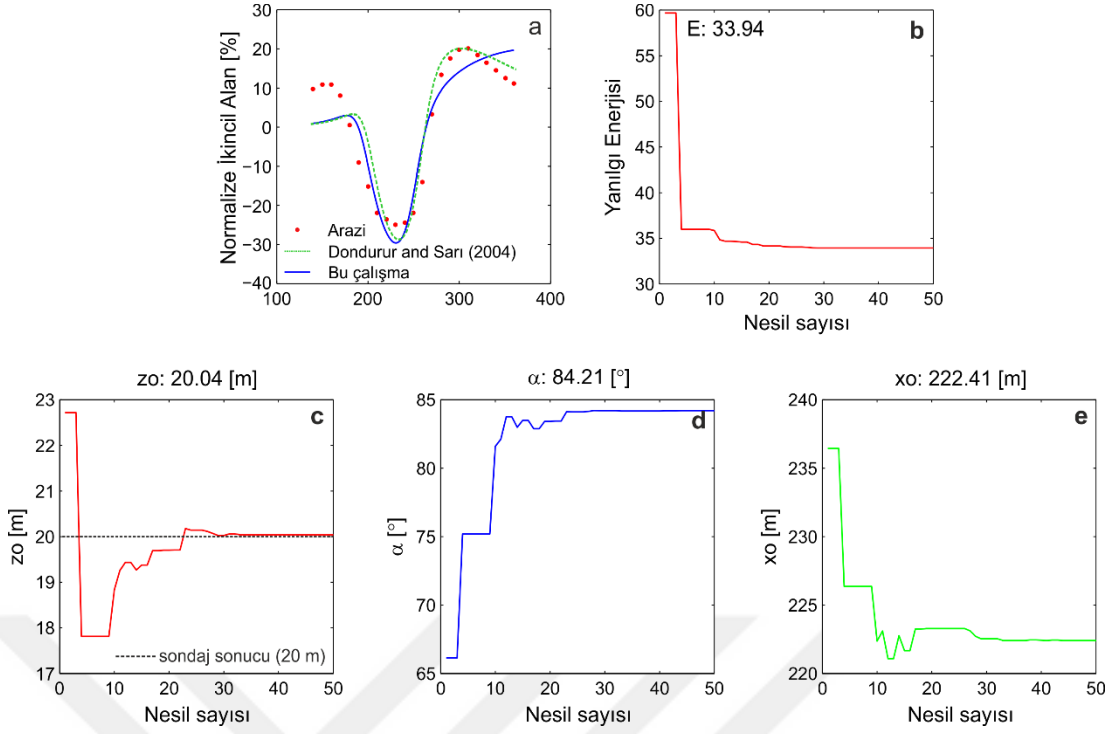
Algoritma	Parametreler		RMS				Ort. süre [s]
	zo [m]	α (°)	xo [m]	Min.	Max.	Ort.	Std. Sap.
FA	19.21±0.70	78.81±4.98	225.54±2.90	5.83	5.89	5.87	3.15e-02
	19.30±0.73	79.19±5.03	225.41±2.90	5.83	5.90	5.87	2.89e-02
PSO	19.38±0.71	79.82±4.95	224.98±2.86	5.83	5.89	5.86	0.031

* : PSO algoritması Scilab ortamında çalıştırılmıştır.

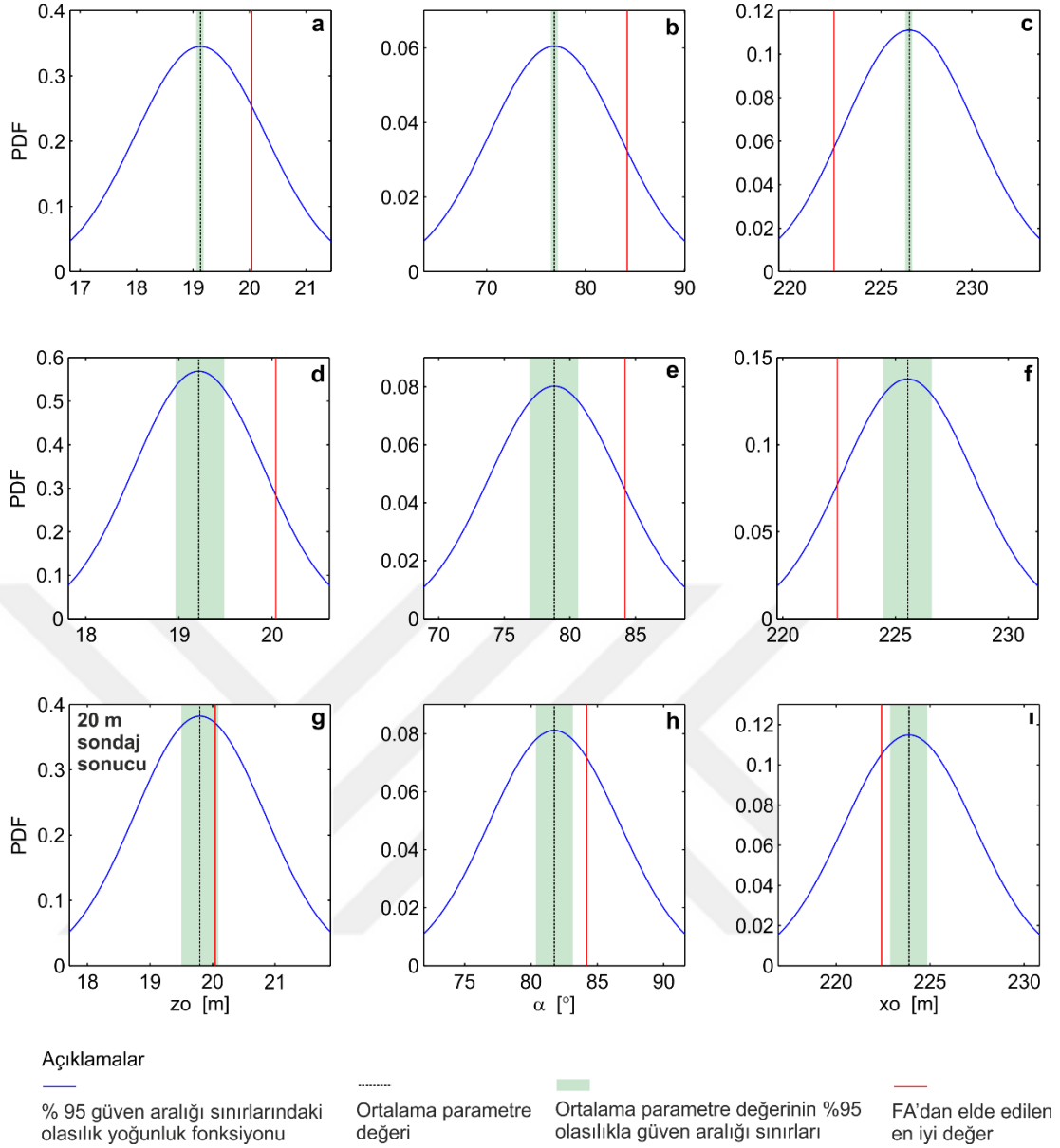
Çizelge 6.17. İkinci arazi veri kümesi için önceki çalışmalar ile bu çalışmadan FA ($p1 = 1$ ve $p2 = 5$) ve PSO kullanılarak elde edilen en iyi çözümlere ait sonuçların karşılaştırılması

Kestirilen parametreler	Duckworth vd. (1991)	Dondurur ve Sarı (2004)	Bu çalışma			Sondaj sonucu
			Arama uzayı	FA	PSO	
zo [m]	20.2	19	5-50	20.04	20.04	20.0
α [°]	50	74	0-90	84.21	84.20	
xo [m]	223	229	175-275	222.41	222.44	
RMS	-	5.93		5.83	5.83	

Şekil 6.35a, her iki çalışmadan elde edilen model parametreleri kullanılarak hesaplanan belirtilerin bir karşılaştırmasını, Şekil 6.35b, FA algoritmasının en iyi çözümü için yanılgi enerjisinin nesil sayısı ile değişimini ve Şekil 6.35c-e ise model parametrelerinin her bir nesilde değişimlerini göstermektedir. İlk arazi veri kümesi için algoritmanın 30 bağımsız çalışması arasında en iyi sonuçları kullanarak elde edilen *PDF* çizimleri Şekil 6.36a-ı’da sunulmuştur.



Şekil 6.35. a) İkinci arazi örneği için ölçülen ve hesaplanan belirtilerin karşılaştırılması. Düz mavi çizgi FA algoritması ile elde edilen model parametreleri kullanılarak hesaplanan belirtiyi, yeşil kesikli çizgi ise Dondurur ve Sarı (2004) tarafından sunulan belirtiyi göstermektedir. b) FA çözümü için yanılgı enerjisinin her bir nesildeki değişimi c-e) Model parametrelerinin (sırasıyla z_o , α ve x_o) her bir nesildeki değişimi



Şekil 6.36. İkinci arazi veri kümesi için 30 ayrı FA çalışması sonunda yaklaşım 2 ve $p1 = 1 \cdot rand()$ ve $p2 = 5 \cdot rand()$ kullanarak elde edilen sonuçların PDF grafikleri a-c) Tüm bağımsız çalıştırmalar dikkate alınarak her bir nesilden elde edilen parametrelerin (1500 çözüm) d-f) Tüm bağımsız çalıştırmaların her birinden elde edilen en iyi çözümlere (30 çözüm) ait parametrelerin ve g-i) Şekil 6.35'te sunulan ve 30 çözüm arasında en iyi model parametrelerini üreten çözümün istatistiksel değerlendirmeleri.

7. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu tez çalışması kapsamında, ince eğimli iletkenler üzerinde ölçülen YHEM veri kümelerinden parametre kestirimi için Brown benzeri bir rastgele yürüyüş hareketini kullanarak süper organizmaların göçünden esinlenilerek geliştirilen ve yeni bir metasezgisel olan FA algoritması iletkenlerin derinlikleri, eğim açıları ve yüzeydeki izdüşümlerinin belirlenmesi amacıyla kullanılmıştır. Algoritmanın uygulanabilirliği ve etkinliği ilk olarak sırasıyla sonsuz uzunlukta ince eğimli (0-90°) bir ve iki iletken levha tipi yapıdan kaynaklanan iki kuramsal veri kümesi üzerinde test edilmiştir. Kuramsal veri kümelerine ayrıca gürültü eklenerek gürültü içeriğinin çözüm üzerindeki etkisi ve algoritmanın çözüm gücü de araştırılmıştır. Daha sonra, Kuzey Avustralya'da eğimli grafitik şeyler üzerinde ölçülen iki alan anomalisi değerlendirilmiş ve algoritma, özellikle LMA kullanılarak gerçekleştirilen türev tabanlı lokal optimizasyon çalışmasının sonuçları ve sondaj bilgileri ile oldukça uyumlu derinlik kestirimleri sağlamıştır. Ayrıca, kestirilen parametreler jeofiziğin optimizasyon problemlerinde daha yaygın olarak kullanılan PSO algoritması uygulanarak elde edilen sonuçlar ile de karşılaştırılmış ve elde edilen sonuçlar FA algoritmasının etkinliğini açıkça göstermiştir. Dahası, iyi bir başlangıç modeline gereksinim duymayan ve model parametrelerini görece geniş bir arama uzayında arayabilen FA ve PSO metasezgiselleri LMA ile gerçekleştirilen türev tabanlı yaklaşıma kıyasla görece düşük *RMS* değerleri üreten parametre kestirimleri sağlamıştır. Hem kuramsal hem de alan çalışmalarından elde edilen sonuçlar, kestirilen parametrelerin doğruluğunu temsil eden güven aralıklarının belirlenmesi amacıyla normal dağılım için olasılık yoğunluk fonksiyonları hesaplanarak ayrıca istatistiksel olarak analiz edilmiştir. Elde edilen sonuçlar FA algoritmasının uygulamalı jeofiziğin görece küçük boyutlu ters problemleri için de etkili ve umut verici bir metasezgisel olduğunu açıkça göstermiştir.

Literatürdeki diğer bilimsel uygulamalarının aksine algoritmanın performansını artırmak için kullanıcı tanımlı ve her bir nesilde rastgele değişen iki kontrol parametresi güncel jeofizik optimizasyon problemi için araştırılmıştır. Buna göre, bir yapıli model için algoritmanın söz konusu kontrol parametreleri $p1 = 1$ ve $p2 = 5$ ve iki yapıli model için ise $p1 = 8$ ve $p2 = 5$ olarak belirlenmiştir. Bu parametreler, araştırmacılar tarafından yaygın olarak kullanılanlardan ($p1 = p2 = 0.3$) daha kararlı

sonuçlar ve daha iyi parametre kestirimleri üretmiştir. Bu nedenle, algoritmanın jeofizikteki diğeri uygulamaları için çözüme daha hızlı bir yakınsama karakteristiğı göstererek hesaplama maliyetini azaltması nedeniyle her bir nesilde rastgele değışen söz konusu parametreler için 1 ile 10 arasında değışen bir aralıktaki başlangıç değıerlerinin araştırılmasını öneriyoruz. Ayrıca, elde ettiğimiz sonuçlara dayanarak parametre sayısının (D) 15 katını kapsayan bir yapay organizma ile kabul edilebilir çözümlerin elde edilebileceğini ve yakınsamanın görece az bir nesil sayısında (< 100) gerçekleşeceğini söyleyebiliriz. Elde edilen istatistiksel sonuçlara dayanarak, FA algoritması, PSO gibi daha yaygın ve etkin olarak kullanılan topluluk tabanlı metasezgiseller için de iyi bir alternatif yaklaşım olarak değıerlendirilebilir.

Son olarak, bu tez çalışması kapsamında geliştirilen MATLAB tabanlı yazılımı (*hlem_global*) jeofizikte metasezgisel optimizasyon konusunda çalışmak isteyen ancak bu konu ile ilgili yeterli bilgi ve deneyimi olmayan geni araştırmacılar için açık kaynak kodlu olarak sunuyoruz. *Hlem_global*, Bölüm 5’te de ayrıntılı olarak açıklandığı gibi basit bir klasör yapısı içerisinde kullanımı kolay ve esnek olarak tasarlanmıştır. Dolayısıyla araştırmacılar, söz konusu klasörlerin ve kodların içeriklerine aşına olduktan sonra kendi amaçları doğırultusunda yazılımı kolayca değıştirebilir ve genişletebilirler. rneğinin, optimizasyon için farklı amaç fonksiyonları kullanabilirler. Ayrıca, yazılım içerisine çeşitli jeofizik optimizasyon problemleri için düz çözüm kodları ekleyerek FA algoritmasını uygulayabilirler ve hatta optimizasyon için farklı bir metasezgiseli yazılıma ekleyebilir. Yeni metasezgisel FA’dan bağımsız olarak uygulanabileceğı gibi yazılım iki metasezgiselin bir kombinasyonu ile melez bir uygulama gerçekleştirecek şekilde de yeniden tasarlanabilir. *Hlem_global* tarafından üretilen öğretici grafiksel ve video ıktıları bir metasezgiselin temel özelliklerini, optimizasyon sırasındaki davranış karakteristiğini daha iyi açıklamak ve sunmak için etkili bir eğıitim aracı olarak ta araştırmacılar tarafından kullanılabilir.

KAYNAKLAR

- Abdelazeem, M., Gobashy, M., 2006. Self-Potential Inversion using Genetic Algorithm. *Journal of King Abdulaziz University Earth Sciences*, 17, 83-101.
- Akyol, S., Alataş, B., 2012. Güncel Sürü Zekâsı Optimizasyon Algoritmaları. *Nevşehir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitü Dergisi*, 1, 36-50.
- Alkan, H., Balkaya, Ç., 2016. Yatay Halka Elektromanyetik (YHEM) Verisinden Diferansiyel Arama Algoritması Kullanarak Parametre Kestirimi. 6. Yer Elektrik Çalıştayı, Kartepe (Kocaeli), 139-144.
- ASTM, 2001. Standard Guide for using the Frequency Domain Electromagnetic Method for Subsurface Investigations, ASTM D6639-01.
- 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 Applied Geophysics*, 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 Algorithm. *Journal of Applied Geophysics*, 136, 372-386.
- Başokur, A.T., Akça, I., Siyam, N.W.A., 2007. Hybrid Genetic Algorithms in view of the Evolution Theories with Application for the Electrical Sounding Method. *Geophysical Prospecting*, 55, 393-406.
- Brevik, E.C., Fenton, T.E., Lazari, A., 2006. Soil Electrical Conductivity as a Function of Soil Water Content and Implications for Soil Mapping. *Precision Agriculture*, 7, 393-404.
- Batmunkh, D., Tosun, S., Gündoğdu, B., Candansayar, M.E., Ulugergerli, E.U., 2004. HLEM and Magnetic Surveys: Examples from the Orkhun Valley, Mongolia. *Archaeological Prospecting*, 11, 133-144.
- Batayneh, A.T., 2001. Horizontal-loop Electromagnetic Signature of a Buried Dike, Al Quweira Area, Southwest Jordan. *Geophysical Prospecting*, 49, 540-546.
- Biswas, A., Sharma, S.P., 2014. Optimization of Self-Potential Interpretation of 2-D Inclined Sheet-Type Structures based on Very Fast Simulated Annealing and Analysis of Ambiguity. *Journal of Applied Geophysics*, 105, 235-247.
- Biswas, A., 2015. Interpretation of Residual Gravity Anomaly Caused by a Simple Shaped Body using Very Fast Simulated Annealing Global Optimization. *Geoscience Frontiers*, 6, 875-893.

- Cockx, L., Van Meirvenne, M., De Vos, B., 2007. Using the EM38DD Soil Sensor to Delineate Clay Lenses in a Sandy Forest Soil. *Soil Science Society of America Journal*, 71, 1314-1322.
- Civicioglu, P., 2012. Transforming Geocentric Cartesian Coordinates to Geodetic Coordinates by Using Differential Search Algorithm. *Computers & Geosciences*, 46, 229-247.
- Civicioglu, P., 2013. Circular Antenna Array Design by Using Evolutionary Search Algorithms. *Progress In Electromagnetics Research B*, 54, 265-284.
- Di Maio, R., Rani, P., Piegari, E., Milano, L., 2016. Self-Potential Data Inversion through a Genetic-Price Algorithm. *Computer & Geosciences*, 94, 86-95.
- Dondurur, D., 2000. Elektromanyetik Slingram Yöntemiyle Analog Modelleme Çalışmaları: Çizgisel İletken Model. *DEÜ-Fen ve Mühendislik Dergisi*, 2, 15-25.
- Dondurur, D., Sarı, C., 2004. A Fortran 77 Computer Code for Damped Least-Squares Inversion of Slingram Electromagnetic Anomalies Over Thin Tabular Conductors. *Computers & Geosciences*, 30, 591-599.
- Dondurur, D., 2005. Depth Estimates for Slingram Electromagnetic Anomalies from Dipping Sheet-like Bodies by the Normalized Full Gradient Method. *Pure and Applied Geophysics*, 162, 2179-2195.
- Duckworth, K., 1968. Mount Minza Area Experimental Geophysical Surveys, Northern Territory 1966 and 1967. Record No. 1968/107 of the B.M.R., Australia.
- Duckworth, K., 1970. Electromagnetic Depth Sounding Applied to Mining Problems. *Geophysics*, 35, 1086-1098.
- Duckworth, K., 1977. Field tests of a new electromagnetic depth-sounding technique. *BMR Journal of Australian Geology & Geophysics*, 2, 155-163.
- Duckworth, K., Calvert, H.T., Juigalli, J., 1991. A Method for Obtaining Depth Estimates from the Geometry of Slingram Profiles. *Geophysics*, 56, 1543-1552.
- Duckworth, K., Krebs, E.S., 1995. A Quickbasic Program for the Computation of the Response of a Thin Tabular Perfect Conductor to a Two Coil Horizontal Coplanar Electromagnetic Prospecting System. *Computers & Geosciences*, 21, 333-343.
- Ekinci, Y.L., 2016. MATLAB-based Algorithm to Estimate Depths of Isolated Thin Dike-Line Sources using Higher-Order Horizontal Derivatives of Magnetic Anomalies. *Springerplus* 5, 1384.

- Ekinci, Y.L., Balkaya, Ç., Göktürkler, G., Turan, S., 2016. Model Parameter Estimations from Residual Gravity Anomalies due to Simple-Shaped Sources using Differential Evolution Algorithm. *Journal of Applied Geophysics*, 129, 133-147.
- Ernst, K., Kirsch, R., 2009. Aquifer Structures: Fracture Zones and Caves. In Kirsch, R. (Ed.), *Groundwater Geophysics: A Tool for Hydrogeology* (2nd ed.) (447-474). Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 548p, Berlin.
- Fernández Álvarez, J.P., Fernández Martínez, J.L., Menéndez Pérez, C.O., 2008. Feasibility Analysis of the Use of Binary Genetic Algorithms as Importance Samplers Application to a Geoelectrical Inverse Problem. *Mathematical Geosciences*, 40, 375-408.
- Fernández-Martínez, J.L., García-Gonzalo, E., Naudet, V., 2010a. Particle Swarm Optimization Applied to the Solving and Appraisal of the Streaming Potential Inverse Problem. *Geophysics*, 75, WA3-WA15.
- Fernández Martínez, J.L., García Gonzalo, E., Fernández Álvarez, J.P., Kuzma, H.A., Menéndez Pérez, C.O., 2010b. PSO: A Powerful Algorithm to Solve Geophysical Inverse Problems: Application to a 1D-DC Resistivity Case. *Journal of Applied Geophysics*, 71, 13-25.
- Göktürkler, G., 2011. A Hybrid Approach for Tomographic Inversion of Crosshole Seismic First-Arrival Times. *Journal of Geophysics and Engineering*, 8, 99-108.
- Göktürkler, G., Balkaya, Ç., 2012. Inversion of Self-Potential Anomalies caused by Simple Geometry Bodies using Global Optimization Algorithms. *Journal of Geophysical Engineering*, 9, 498-507.
- Göktürkler, G., Balkaya, Ç., Ekinci, Y.L., Turan, S., 2016. Uygulamalı Jeofizikte Metasezgiseller. *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 22, 563-580.
- Grant, F.S., West, G.F., 1965. *Interpretation Theory in Applied Geophysics*. McGraw-Hill Book Co., 584p, New York.
- Kamm, J., Becken, M., Pedersen, L.B., 2013. Inversion of Slingram Electromagnetic Induction Data using a Born Approximation. *Geophysics*, 78, E201-E212.
- Karaboğa, D., 2011. *Yapay Zeka Optimizasyon Algoritmaları*. Nobel Yayın Dağıtım, 231s, Ankara.
- Kearey, P., Brooks, M., Hill, I., 2002. *An Introduction to Geophysical Exploration* (3rd ed.), Blackwell Science Ltd., 262p.
- Ketola, N., Puranen, M., 1967. Type Curves for the Interpretation of Slingram (Horizontal Loop) Anomalies over Tabular Bodies. *Geological Survey of Finland Report of Investigations No. 1*, Otaniemi.

- Ketola, M., 1968. The Interpretation of Slingram (Horizontal Loop) Anomalies by Small-Scale Model Measurements. Geological Survey of Finland, Report of Investigation No. 2, Otaniemi.
- Khakural, B.R., Robert, P.C., Hugins, D.R., 1998. Use of Non-Contacting Electromagnetic Inductive Method for Estimating Soil Moisture across a Landscape. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 29, 2055-2065.
- Kitchen, N.R., Sudduth, K.A., Myers, D.B., Massey, R.E., Sadler, E.J., Lerch, R.N., Hummel, J.W., Palm, H.L., 2005. Development of a Conservation-Oriented Precision Agriculture System: Crop Production Assessment and Plan Implementation. *Journal of Soil and Water Conservation*, 60, 421-430.
- Lange, G., Seidel, K., 2007. Electromagnetic Methods. In Knödel, K., Lange, G., Woigt, H.J. (Eds), *Environmental Geology: Handbook of Field Methods and Case Studies* (239-281). Springer Berlin Heidelberg, 1357p, Berlin, Heidelberg.
- Liu, B.O., 2014. Composite Differential Search Algorithm. *Journal of Applied Mathematics*, 2014, 1-3.
- Liu, S., Hu, X., Liu, T., 2014. A Stochastic Inversion Method for Potential Field Data: Ant Colony Optimization. *Pure and Applied Geophysics*, 171, 1531-1555.
- Liu, S., Hu, X., Liu, T., Xi, Y., Cai, J., Zhang, H., 2015. Ant Colony Optimisation Inversion of Surface and Borehole Magnetic Data under Lithological Constraints. *Journal of Applied Geophysics*, 112, 115-128.
- Lowrie, W., 2007. *Fundamentals of Geophysics* (2nd ed.). Cambridge University Press, 381p, Cambridge UK.
- Lund, E.D., Christy, C.D., Drummond, P.E., 1999. Practical Applications of Soil Electrical Conductivity Mapping. In Stafford, J.V. (Ed.). *Proceedings of the 2nd European Conference on Precision Agriculture Sheffield* (771-779). Academic Press Ltd., Sheffield UK.
- Meju, M.A., Fontes, S.L., Ulugergerli, E.U., La Terra, E.F., Germano, C.R., Carvalho, R.M., 2001. A Joint TEM-HLEM Geophysical Approach to Borehole Siting in Deeply Weathered Granitic Terrains. *Ground Water*, 39, 554-567.
- McNeill, J.D., 1980. Electromagnetic Terrain Conductivity Measurement at Low Induction Numbers. Geonics Ltd, Technical Note TN-6, 5-6.
- McNeill, J.D., 1990. Use of Electromagnetic Methods for Groundwater Studies. In Ward, S.H. (Ed). *Geotechnical and Environmental Geophysics: Volume I: Review and Tutorial* (191-218). Society of Exploration Geophysicists, 398p.

- McNeill, J.D., 1992. Rapid, Accurate Mapping of Soil Salinity by Electromagnetic Ground Conductivity Meters. In Topp, G.C., Reynolds, W.D., Green, R.E. (Eds.), *Advances in Measurement of Soil Physical Properties: Bringing Theory into Practice*, Special Publication 30 (209-229). Soil Science Society of America, Madison Wisconsin.
- Milsom, J., 2003. *Field Geophysics* (3rd Ed.). John Wiley & Sons Ltd., 232p, Chichester, England.
- Monteiro Santos, F.A., 2004. 1-D Laterally Constrained Inversion of EM34 Profiling Data. *Journal of Applied Geophysics*, 56, 123-134.
- Monteiro Santos, F.A., 2010. Inversion of Self-Potential of Idealized Bodies' Anomalies using Particle Swarm Optimization. *Computers & Geosciences*, 36, 1185-1190.
- Özürlan, G., Ulugergerli, E.U., 2005. *Jeofizik Mühendisliğinde Elektromanyetik Yöntemler*. Birsen Yayınevi, 250s, İstanbul.
- Paal, G., 1965. Ore Prospecting based on VLF-radio signals. *Geoexploration*, 3, 139-147.
- Palacky, G.J., Ritsema, I.L., de Jong, S.J., 1981. Electromagnetic Prospecting for Groundwater in Precambrian Terrains in the Republic of Upper Volta. *Geophysical Prospecting*, 29, 932-955.
- Parasnis, D.S. 1966. *Mining Geophysics*. Elsevier Publishing Company, 356p. Amsterdam, The Netherlands.
- Pekşen, E., Yas, T., Kayman, A.Y., Özkan, C., 2011. Application of Particle Swarm Optimization on Self-Potential Data. *Journal of Applied Geophysics*, 75, 305-318.
- Pekşen, E., Yas, T., Kıyak, A., 2014. 1-D DC Resistivity Modeling and Interpretation in Anisotropic Media using Particle Swarm Optimization. *Pure and Applied Geophysics*, 171, 2371-2389.
- Rao, S.S., 2009. *Engineering Optimization: Theory and Practice* (4th Ed.). John Wiley & Sons, 840p, Hoboken, New Jersey.
- Reynolds, J.M., 2011. *An Introduction to Applied and Environmental Geophysics* (2nd Ed.). Wiley-Blackwell, 696p. Chichester UK.
- Sabbağ, N., 2012. *Atatürk Baraj Gölünün Tuzlanması Neden Olabilecek Jeolojik Yapıların Doğru Akım Öz direnç ve Elektromanyetik Yöntemlerle Tanımlanması*. Ankara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 53s, Ankara.
- Sen, M.K., Stoffa, P.L., 1995. *Global Optimization Methods in Geophysical Inversion* (1st ed.). Elsevier Science B.V., 281p, Amsterdam, The Netherlands.

- Sen, M.K., Stoffa, P.L., 2013. *Global Optimization Methods in Geophysical Inversion* (2nd ed.). Cambridge University Press, 289p, New York, USA.
- Sasaki, Y., Meju, M.A., 2006. A Multidimensional Horizontal-Loop Controlled-Source Electromagnetic Inversion Method and Its Use To Characterize Heterogeneity in Aquiferous Fractured Crystalline Rocks. *Geophysical Journal International*, 166, 59-66.
- Sharma, S.P., Kaikkonen, P., 1999. Global Optimisation of Time Domain Electromagnetic Data using Very Fast Simulated Annealing. *Pure and Applied Geophysics*, 155, 149-168.
- Sharma, P.V., 2004. *Environmental and Engineering Geophysics*. Cambridge University Press, 475p, Cambridge UK.
- 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, WB3-WB15.
- Shaw, R., Srivastava, S., 2007. Particle Swarm Optimization: A New Tool to Invert Geophysical Data. *Geophysics*, 72, F75–F83.
- Sherlock, M.D., McDonnell, J.J., 2003. A New Tool for Hillslope Hydrologists: Spatially Distributed Groundwater Level and Soil Water Content Measured Using Electromagnetic Induction. *Hydrological Processes*, 17, 1965-1977.
- Singh, A., Biswas, A., 2016. Application of Global Particle Swarm Optimization for Inversion of Residual Gravity Anomalies over Geological Bodies with Idealized Geometries. *Natural Resources Research*, 25, 297-314.
- Song, Y., Kim, J-H., 2008. An efficient 2.5D Inversion of Loop-Loop Electromagnetic Data. *Exploration Geophysics*, 39, 68-77.
- Song, X., Li, L., Zhang, X., Shi, X., Huang, J., Cai, J., Jin, S., Ding, J., 2014. An Implementation of Differential Search Algorithm (DSA) for Inversion of Surface Wave Data. *Journal of Applied Geophysics*, 111, 334-345.
- Soupios, P., Akca, I., Mpogiatzis, P., Basokur, A.T., Papazachos, C., 2011. Applications of Hybrid Genetic Algorithms in Seismic Tomography. *Journal of Applied Geophysics*, 75, 479-489.
- Sörensen, K., Glover, F. 2013. Metaheuristics. In Gass S.I. and Fu, M.C. (Eds.). *Encyclopedia of Operations Research and Management Science* (3rd ed.) (960-970). Springer US, 1640p, New York.
- Srivastava, S., Datta, D., Agarwal, B.N.P., Mehta, S., 2014. Applications of Ant Colony Optimization in Determination of Source Parameters from Total Gradient of Potential Fields. *Near Surface Geophysics*, 12, 373-389.

- Tabbagh, A., 1986. Applications and advantages of the Slingram Electromagnetic Method for Archaeological Prospecting. *Geophysics*, 51, 576-584.
- Telford, W.M., Geldart, L.P., Sheriff, R.E., 1990. *Applied Geophysics* (2nd ed.). Cambridge University Press, 770p, Cambridge, New York, Melbourne.
- Unsworth, M.J., 2009. D5 Time-Domain Electromagnetic (EM) Methods. Erişim Tarihi: 25.07.2017. <https://sites.ualberta.ca/~unsworth/UA-classes/223/notes223/223D5-2009.pdf>
- Yas, T., Pekşen, E., 2012. Application of Particle Swarm Optimization to Slingram EM Anomalies. 4th Earth Electrical Workshop, Çeşme, İzmir, 47-52.
- Yang, X.S., 2011. Metaheuristic Optimization. Scholarpedia, Erişim Tarihi: 07.06.2017. http://www.scholarpedia.org/article/Metaheuristic_Optimization
- Yang, X.S., 2014. *Nature-Inspired Metaheuristic Algorithms* (1st ed). Elsevier Inc, 263p, London.
- Viberg, A., Trinks, I., Lidén, K., 2009. A Short Review of the use of Geophysical Prospection Methods In Swedish Archaeology. *ArcheoSciences-Rev A*, 33, 375-378.
- Ward, S.H., 1967. Electromagnetic Theory for Geophysical Applications. In Heinrichs, W.E., Holmer, R.C., MacDougall, R.E., Rogers, G.R., Sumner, J.S., Ward, S.H. (Eds.), *Mining Geophysics, Volume II, Theory* (13-196). Society of Exploration Geophysicists, 717p, Tulsa, Oklahoma.
- Williams, B.G., Baker, G.C., 1982. An Electromagnetic Induction Technique for Reconnaissance Surveys of Soil Salinity Hazards. *Australian Journal of Soil Research*. 20, 107-118.
- Wesley, J.P., 1958. Response of a Dike to an Oscillating Dipole. *Geophysics*, 23, 128-133.

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Hilal ALKAN

Doğum Yeri ve Yılı : Zonguldak, 1989

Medeni Hali : Bekar

Yabancı Dili : İngilizce

E-posta : yl1430105001@stud.sdu.edu.tr, hilal_alkan_67@hotmail.com

Eğitim Durumu

Lise : Zonguldak Uzunmehmet Lisesi, 2007

Önlisans : Bülent Ecevit Üniversitesi, Alaplı Meslek Yüksek Okulu, İnşaat Teknolojisi, 2010

Lisans : Süleyman Demirel Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Jeofizik Mühendisliği Bölümü, 2014

Yayınları

Alkan, H., Balkaya, Ç., 2015. Yatay Halka Elektromanyetik (YHEM) Verilerinden Yeni Bir Sürü Zekasına Dayalı Diferansiyel Arama Algoritması Kullanarak Parametre Kestirimi. Genç Yerbilimciler Kongresi, 5-7 Haziran 2015, İzmir, s. 79-80.

Alkan, H., Balkaya, Ç., 2016. Yatay Halka Elektromanyetik (YHEM) Verisinden Diferansiyel Arama Algoritması Kullanarak Parametre Kestirimi. 6. Yer Elektrik Çalıştayı, Kartepe (Kocaeli), 23-25 Mayıs 2016, s. 139-144.

Alkan, H., Balkaya, Ç., 2017. Parameter Estimation by Differential Search Algorithm from Horizontal Loop Electromagnetic (HLEM) data. 2nd International Conference on Civil and Environmental Engineering (ICOCEE), Avanos, 8-10 May 2017, p. 962.