T.C.
SÜLEYMAN DEMİREL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

REZİDÜEL GRAVİTE ANOMALİLERİNDEN YERÇEKİMSEL ARAMA ALGORİTMASIYLA MODEL PARAMETRE KESTİRİMİ

Merve IŞIK

Danışman
Doç. Dr. Çağlayan BALKAYA

YÜKSEK LİSANS TEZİ
JEOFİZİK ANABİLİM DALI
ISPARTA - 2019

© 2019 [Merve IŞIK]

TEZ ONAYI

Merve IŞIK tarafından hazırlanan **"Rezidüel Gravite Anomalilerinin Yerçekimsel Arama Algoritmasıyla Ters Çözümü"** 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	**Doç. Dr. Osman UYANIK** Süleyman Demirel Üniversitesi	.....

Enstitü Müdürü **Doç. Dr. Şule Sultan UĞUR**

TAAHHÜTNAME

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

Merve IŞIK



İÇİNDEKİLER

	Sayfa
İÇİNDEKİLER	i
ÖZET	ii
ABSTRACT	iii
TEŞEKKÜR	iv
ŞEKİLLER DİZİNİ	v
ÇİZELGELER DİZİNİ	vii
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	viii
1. GİRİŞ	1
2. KAYNAK ÖZETLERİ	3
3. YERÇEKİMİ (GRAVİTE) YÖNTEMİ	10
3.1. Newton Kanunu	12
3.2. Yerkürenin Çekim Potansiyeli ve Kaynağı	13
3.3. Potansiyel Alan Eşitlikleri	15
3.3.1. Gauss (Diverjan) Teoremi	15
3.3.2. Laplace Denklemi	16
3.3.3. Poisson Denklemi	16
3.4. Üç Boyutlu Kütlelerin Potansiyel Çekimi	17
3.5. Yerin Çekim Alanı	18
3.6. Yer Yuvarının Şekli	19
3.6.1. Sferoid	19
3.6.2. Jeoid	19
3.7. Gravite Verisinin Yorumlanması ve Değerlendirilmesi	20
4. YERÇEKİMİ ARAMA ALGORİTMASI (YAA)	21
4.1. YAA'nın Formülasyon	22
4.2. Düz Çözüm	26
5. OPTİMİZASYON, SEZGİSEL ve METASEZGİSEL KAVRAMLAR	27
6. Grav_GSA	31
7. UYGULAMALAR	34
7.1. Kuramsal Çalışma	36
7.1.1. Gürültüsüz Veri	36
7.1.2. Gürültülü Veri	50
7.2. Arazi Veri Çalışması	54
8.SONUÇLAR ve ÖNERİLER	59
KAYNAKLAR	61
ÖZGEÇMİŞ	66

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

REZİDÜEL GRAVİTE ANOMALİLERİNDEN YERÇEKİMSEL ARAMA ALGORİTMASIYLA MODEL PARAMETRE KESTİRİMİ

Merve IŞIK

Süleyman Demirel Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Jeofizik Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Doç. Dr. Çağlayan BALKAYA

Topluluk tabanlı yeni bir metasezgisel olan Yerçekimi Arama Algoritması (YAA), Newton'un kütle çekim yasasına ve kütlelerin etkileşimine dayanan fiziksel bir olgudan esinlenilerek geliştirilmiştir. Bu algoritmada, topluluktaki arama yapan bireyler temel olarak Newton yerçekimi ve hareket yasaları aracılığıyla birbirleriyle etkileşime giren bir kütleler topluluğudur. Algoritma, bilimsel topluluk arasında hızla popülerlik kazanmış olsa da uygulamalı jeofizikte henüz geniş bir şekilde araştırılmamıştır. Bu nedenle, basit şekilli cisimlerin neden olduğu rezidüel (sığ) gravite anomalilerinin yorumlanması ilk kez bu tez kapsamında gerçekleştirilmiştir. Algoritmanın uygulanabilirliği ve etkinliği ilk olarak kuramsal olarak üretilen bir anomalide test edilmiştir. Kestirilmek istenen model parametreleri, genlik katsayısı (A), yapının derinliği (z_0) ve yeryüzündeki izdüşümü (x_0) ve biçim faktörlerini (q ve η) içermektedir. Ayrıca, gürültü içeriğinin çözüm üzerindeki etkisi de araştırılmıştır. YAA'nın başarısı, değerlendirme sürecinde her bir yinelemede azalan yerçekimi sabiti (G) gibi kullanıcı tanımlı kontrol parametrelerinin ayarlanmasına nispeten duyarlı olduğu için, algoritmanın keşif ve sömürü aşamaları arasında daha iyi bir denge sağlayabilmek için bu parametreler araştırılmıştır. Ayrıca, Québec'te (Kanada) bulunan bir metal sülfit yatağından kaynaklanan bir alan anomalisi de değerlendirilmiştir. Genel olarak, algoritma önceki çalışmaların sonuçları ile oldukça uyumlu model parametre kestirimleri sağlamıştır. Bununla birlikte YAA, ters çözümde yineleme sayısının artmasıyla daha etkili sonuçlar sağladığı için yüksek bir hesaplama maliyeti karakteri göstermektedir. Bu nedenle, YAA'yı türev tabanlı bir ters çözüm uygulamasıyla birleştiren melez bir yaklaşım diğer jeofizik uygulamalar için daha faydalı olabilir.

Anahtar Kelimeler: Parametre kestirimi, Yerçekimi Arama Algoritması, metasezgisel, gravite anomalileri.

2019, 66 sayfa

ABSTRACT

M.Sc. Thesis

MODEL PARAMETER ESTIMATION BY GRAVITY SEARCH ALGORITHM FROM RESIDUAL GRAVITY ANOMALIES

Merve IŞIK

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

Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Çağlayan BALKAYA

Gravitational search algorithm (GSA), a novel population-based heuristic optimization algorithm, is inspired by a physical phenomenon based on Newton's law of gravity and interaction of masses. In this algorithm, the searcher individuals in the population are basically a group of masses interacting with each other via the Newtonian gravity and the laws of motion. Even though the algorithm has rapidly gained popularity among the scientific community, it is not yet widely explored in applied geophysics. Thus, the interpretation of residual gravity anomalies caused by simple shaped bodies was first performed in this thesis context. The applicability and effectiveness of the algorithm were first tested on a theoretically produced anomaly. The model parameters to be estimated include the amplitude coefficient (A), the depth (z_0), the origin (x_0) and the shape factors (q and η) of the causative body. The effect of noise content on the solution was also investigated. Since the success of the GSA are relatively sensitive to the tuning of user-defined control parameters, such as the gravitational constant (G) decreasing at each iteration during the evaluation process, these parameters were investigated to provide a better balance between the exploration and exploitation stages of the algorithm. Besides, a field anomaly originated from a base metal sulphide deposit located in Québec (Canada) has been considered. In general, the algorithm has provided model parameter estimations that are quite compatible with the results of previous studies. However, GSA display a high computation cost character by providing more effective results with relatively higher iterations in the inversion. Thus, a hybrid approach combining GSA with a derivative based inversion scheme can be more useful for further geophysical applications.

Keywords: Parameter estimation, Gravitational Search Algorithm, metaheuristic, gravity anomalies.

2019, 66 pages

TEŞEKKÜR

Bu araştırma kapsamında, üç yıl boyunca değerli bilgilerini benimle paylaşan, karşılaştığım zorlukları tecrübesi ile aşmama yardımcı olan değerli Danışman Hocam Doç. Dr. Çağlayan BALKAYA'ya teşekkürlerimi sunuyorum.

Bu tez çalışması kapsamında kullanılan rezidüel gravite veri kümelerini sağlayan Doç. Dr. Yunus Levent Ekinci'ye teşekkür ederim.

Tezimin her aşamasında beni yalnız bırakmayan ve desteklerini hiç esirgemeyen anneme, eşime ve biricik kızıma sevgi ve saygılarımı sunarım.

Merve IŞIK
ISPARTA, 2019

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa

Şekil 3.1. Bazı gravite anomalileri 11
Şekil 3.2. Gaziantep'in Sofalıca bölgesi yakınlarında bulunan krom madeni üzerinde gerçekleştirilen gravite çalışması ve gravite anomalisinin haritalanması 12
Şekil 3.3. Newton'un kütleler arası hareket ve yerçekimsel kuvvet kanunu 13
Şekil 3.4. Yerkürenin potansiyel denklemi. Bu Gauss teoremine dayalı olan potansiyel denklemde yer alan F vektörel alanıi çinde yer alan "*S*" kapalı yüzeyine giren ve çıkan vektörler ve dik bileşenleri 16
Şekil 3.5. $\vec{g}$ gravite kuvveti ve bileşenleri burada $\vec{b}$; kütle çekim ivmesi, $\vec{f}$; merkez kaç kuvveti, $\vec{g}$; gravite ivmesi 18
Şekil 3.6. Yeryüzündeki elipsoid ve jeoid gösterimi 19
Şekil 4.1. Kütlelerin yerçekimi ve hareket yasası ile etkileşimi 21
Şekil 4.2. Yerçekimsel arama algoritmasının (YAA) basitleştirilmiş akış şeması 25
Şekil 5.1. Optimizasyon yöntem problemlerinin sınıflandırılması 28
Şekil 5.2. Metasezgisellerin sınıflandırılması 30
Şekil 6.1. Grav_GSA algoritmasının şematik klasör gösterimi 32
Şekil 7.1. Fiziksel modeller ve bunlara karşılık gelen kuramsal anomaliler 35
Şekil 7.2. a) Doğru parametrelerle elde edilen gürültüsüz kuramsal veri b) Eklenen gürültü sonucunda elde edilen kuramsal veri 35
Şekil 7.3. a) Gözlenen ve hesaplanan kuramsal anomalilerin karşılaştırılması b) Yanılgı enerjilerinin iterasyon ile değişimi c) G'nin her bir iterasyondaki değişimi 40
Şekil 7.4 a) Gözlenen ve hesaplanan kuramsal anomalilerin karşılaştırılması b) Yanılgı enerjilerinin iterasyon ile değişimi c) G'nin her bir iterasyondaki değişimi 43
Şekil 7.5. Farklı başlangıç *G* (50, 100, 200, 400) değerlerinin her bir yinelemedeki değişimi 44
Şekil 7.6. Farklı başlangıç *G* (500, 800, 1000) değerlerinin her bir yinelemedeki değişimi 44
Şekil 7.7. a) Gözlenen ve hesaplanan kuramsal anomalilerin karşılaştırılması b) Yanılgı enerjilerinin iterasyon ile değişimi c) G'nin her bir iterasyondaki değişimi 45
Şekil 7.8. Kuramsal anomali için bazı model parametre çiftlerinin yanılgı enerji haritaları 47
Şekil 7.9. η'nın A'ya göre değişimini saptamak amacıyla başlangıç topluluğunun sırasıyla 250, 500, 750 ve 1000. iterasyonlarındaki değişimi 48
Şekil 7.10. η'nın ve q'nun z_0'a göre değişimlerini saptamak amacıyla başlangıç topluluğunun sırasıyla 250, 500, 750 ve 1000. iterasyonlarındaki değişimi 48

Şekil 7.11. Bir yapılı modelin gürültüsüz veri kümesi için 100 ayrı YAA çalışması sonucunda her bir iterasyonda elde edilen sonuçlar kullanılarak elde edilen mutlak frekans grafikleri 49
Şekil 7.12. Bir yapılı modelin gürültüsüz veri kümesi için YAA çalışması sonucunda elde edilen en iyi çözüm sonuçlar kullanılarak elde edilen mutlak frekans grafikleri 50
Şekil 7.13. a) Gözlenen ve hesaplanan kuramsal anomalilerin karşılaştırılması b) Yanılgı enerjilerinin iterasyon ile değişimi c) G'nin her bir iterasyondaki değişimi 51
Şekil 7.14. Bir yapılı modelin gürültülü veri kümesi için 100 ayrı YAA çalışması sonucunda her bir iterasyonda elde edilen sonuçlar kullanılarak elde edilen mutlak frekans grafikleri 52
Şekil 7.15. Bir yapılı modelin gürültülü veri kümesi için YAA çalışması sonucunda elde edilen en iyi çözüm sonuçlar kullanılarak elde edilen mutlak frekans grafikleri 53
Şekil 7.16 Önceden çalışılmış Québec verisi ve AA' profili boyunca alınan gravite ölçüsü 55
Şekil 7.17. a) Gözlenen ve hesaplanan kuramsal anomalilerin karşılaştırılması b) Yanılgı enerjilerinin iterasyon ile değişimi c) G'nin her bir iterasyondaki değişimi 56
Şekil 7.18. Arazi veri kümesi için 100 ayrı YAA çalışması sonucunda her bir iterasyonda elde edilen sonuçlar kullanılarak elde edilen mutlak frekans grafikleri 57
Şekil 7.19. Arazi veri kümesi için YAA çalışması sonucunda elde edilen en iyi çözüm sonuçlar kullanılarak elde edilen mutlak frekans grafikleri 58

ÇİZELGELER DİZİNİ

	Sayfa
Çizelge 3.1. Bazı kayaçların özgül ağırlıkları	10
Çizelge 3.2. Gravite ölçümlerinde kullanılan birimler	13
Çizelge 3.2. Genlik katsayısı ve biçim faktörlerinin değerleri	26
Çizelge 6.1. *Grav_GSA* klasörü içerisinde kullanılan bazı parametre ve kullanım şekilleri	33
Çizelge 7.1. G_0 ve α parametrelerinin çözüm üzerindeki etkileri araştırılırken, birey satısı 25, iterasyon sayısı 200, iterasyonun her bir yineleme sayısı 10 olarak belirlendi. G_0 ve α değerleri test edildi.	37
Çizelge 7.1. G_0 ve α parametrelerinin çözüm üzerindeki etkileri araştırılırken, birey satısı 25, iterasyon sayısı 200, iterasyonun her bir yineleme sayısı 10 olarak belirlendi. G_0 ve α değerleri test edildi (Devamı)	38
Çizelge 7.2. Farklı G_0 ve α parametrelerinin çözüm üzerindeki etkileri. Değerlendirmede birey sayısı 25, iterasyon sayısı 200, YAA'nın bağımsız çalışma sayısı ise 10'dur. Algoritmanın ortalama zamanın saptanması	38
Çizelge 7.2. Farklı G_0 ve α parametrelerinin çözüm üzerindeki etkileri. Değerlendirmede birey sayısı 25, iterasyon sayısı 200, YAA'nın bağımsız çalışma sayısı ise 10'dur. Algoritmanın ortalama zamanın saptanması (Devamı)	39
Çizelge 7.3. Farklı *Np* ve iterasyon parametrelerinin çözüm üzerindeki etkileri. Değerlendirme iterasyon sayısı 200, G0 = 500, $\alpha = 5$, YAA'nın birbirinden bağımsız çalışma sayısı 500'dür	41
Çizelge 7.4. Farklı N_p iterasyon parametrelerinin çözüm üzerindeki etkileri. Değerlendirmede iterasyon sayısı 200, G_0 = 500, α =5, YAA'nın birbirinden bağımsız çalışma sayısı 500'dür	42
Çizelge 7.5. Sentetik gürültülü ve gürültüsüz verinin karşılaştırılması	54
Çizelge 7.6. Québec (Kanada) anomalisi için YAA ve FE tarafından elde edilen sonuçlar	56

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

a	İvme
A	Genlik katsayısı
AA'	Québec Gravite anomalisinin elde edildiği kesit
$a_i^d(t)$	d. boyutundaki i. kütlenin t anındaki ivmesininin hesaplanması
$\vec{b}$	Kütle çekimi
best (t)	En iyi çözüm
DES	Doğal uçlaşma ve elektrik özdirenci
FE	Farksal evrim algoritması
$\vec{f}$	Merkez kaç kuvveti
F	Kuvvet
$F_{ij}^d(t)$	t anında d. boyutta i ve j kütleleri arasındaki kuvvet
$fit_j(t)$	j. kütlenin t anındaki uygunluğu
G	Evrensel çekim sabiti
G_0	Yerçekimi sabitinin başlangıç değeri
GA	Genetik algoritması
grad	Gradyan
iter	İterasyon (yineleme) sayısı
KKA	Karınca kolonisi algoritması
n	Arama alanının boyutu
M	Kütle
n	Arama alanın boyutu
N	Kütle sayısı
PSO	parçacık sürü optimizasyonu
r	Kütle merkezleri arasındaki uzaklık
$rand_i$	[0,1] aralığında rastgele atanan bir sayı değeri
R_{ij} (t)	i ve j kütleler arası mesafeyi bulmamızı sağlamakta
t	Yerçekimi arama algoritması yineleme sayısı
T	Maksimum iterasyon sayısı
YAA	Yerçekimi arama algoritması
YAK	Yapay arı kolonisi algoritması
z_0	Nedensel kaynağın derinliği
$worst(t)$	En kötü çözüm
WKA	kambur balina optimizasyon algoritması
x_0	Kesin kaynağın derinliği
x_i^d	i. bireyin d. boyutundaki yerini belirtir
q	Biçim faktörü (sabit)
η	Biçim faktörü (sabit)
ε	Kullanıcı tarafından sayısal verilen küçük bir sabit değer
ρ	Yoğunluk
∇	Diverjan

1. GİRİŞ

Yerçekimi (gravite) kavramı ilk olarak Newton'un I. ve II. yerçekimi Yasaları ile ortaya çıkmış (1600) ve ilk gravite etüdü 1901 yılında buzul Balaton Gölü'nde gerçekleştirilmiştir. Yöntem, 1922 yılından itibaren petrol aramalarında kullanılmaya başlanmıştır (Keçeli, 2009). Bir potansiyel alan yöntemi olan gravite doğal kaynaklı bir yöntem olup yerçekimi ivmesinin değişiminden yararlanarak yeraltındaki farklı yoğunluk değerlerine sahip yapıları araştırır. Farklı yoğunluklara sahip kayaçlar, yerçekim kuvvetinde küçük değişimlere neden olur ve bu değişimler gravimetre cihazlarıyla ölçülür. Son yıllarda yatay bileşenleri ölçen aletler olsa da genel olarak yöntemde yerçekiminin düşey bileşeni (g_z) ölçülür. Gravite araştırmaları; denizde, havada ve karada gerçekleştirilebilir. Gravite ölçümleri sonucu elde edilen veri kümelerinden anomali haritalarının elde edilebilmesi için bazı düzeltme işlemlerinin uygulanması gerekir. Bu anomaliler yoğunluk farklılığına göre yorumlanmaktadır. Gravite yöntemi, mikro (yeraltı boşlukları), küçük (temel topoğrafyasının haritalanması), orta (petrol araştırmaları) ve büyük (kabuk kalınlığını araştırılması) ölçekte uygulanabilmektedir. Ortalama yoğunluğun üzerinde olan bölgelerde pozitif gravite anomalisi gözlenirken, ortalama yoğunluk altındaki bölgelerde negatif anomalilere rastlanır. Yanal yoğunluk değişimlerine duyarlı olan yöntem, düşey yoğunluk değişimlerinden etkilenmez ve genel olarak ayrım gücü (çözünürlük) düşüktür. Bu nedenle, büyük alan araştırmalarında, sismik gibi çözüm gücü daha yüksek olan yöntemlere yardımcı olarak kullanılırlar.

Metasezgiseller, genel olarak, doğadaki canlıların davranışlarından esinlenerek geliştirilen algoritmalardır. Newton'un kütle ve yerçekimi kanunlarına dayanarak geliştirilen "Yerçekimsel Arama Algoritması (YAA; Gravitational Search Algorithm, GSA)" fizik tabanlı bir optimizasyon algoritmasıdır (Rashadi vd., 2009). YAA'da, her bir topluluğun kütle miktarı o nesnenin performansını göstermektedir. Her bir kütle, arama uzayında bulunan diğer kütleleri yerçekimi kuvveti ile çekmektedir. Bu kuvvet daha ağır kütlelere doğru bütün kütlelerin hareket etmesine sebep olmaktadır. Bu nedenle, kütleler yerçekimi kuvveti

doğrultusunda birlikte hareket etmektedir (Alcan, 2014). Görece ağır kütlelerin hareketi diğer kütlelere göre daha yavaş gerçekleşirken aynı zamanda diğer kütleleri de kendilerine doğru çekerler (Rashadi vd., 2009).

Bu tez kapsamında, YAA metasezgiselinin temel çalışma prensipleri açıklanarak kullanıcı tanımlı parametrelerinin rezidüel gravite verilerinin ters çözümü üzerindeki etkisi araştırılmıştır. Değerlendirmede, kuramsal ve literatürden bilinen bir alan anomalisi kullanılmıştır. Kestirilen parametreler, anomaliye neden olan yapının, genlik katsayısı (A), derinliği ve orijini (z_0 ve x_0) ile biçim faktörlerini (q ve η) kapsamaktadır. Kuramsal veri kümesi, ayrıca gürültü içeriği de eklenerek değerlendirilmiştir. Algoritmanın, kuramsal veri kümesi üzerinde araştırılan ve önerilen kontrol parametreleriyle başarısı dikkate alınarak, Québec (Kanada) bölgesinde bulunan bir metal sülfit yatağından kaynaklanan bir alan verisi değerlendirilmiştir. YAA uygulamasından elde edilen sonuçlar, bu veri kümesi üzerinde çalışan diğer araştırmacıların çalışmalarından elde edilen sonuçlarla karşılaştırılmıştır. Bulgular, YAA'nın rezidüel (sığ) gravite anomalilerinden parametre kestiriminde uygulanabilirliğini göstermiştir. Bununla birlikte, algoritmanın çözüme prematüre (erken) bir yakınsamadan uzak bir karakter göstermesi gereksinim duyduğu yineleme sayısının da görece artmasına neden olmaktadır. Bu nedenle, YAA'yı türev tabanlı bir ters çözüm uygulamasıyla birleştiren melez bir yaklaşım diğer jeofizik uygulamalar için daha faydalı olabilir.

2. KAYNAK ÖZETLERİ

Sen ve Stoffa (1995), tarafından yazılan bu kitapta kısaca jeofizik problemlerin ters çözümünde genel olarak global optimizasyon yaklaşımı irdelenmektedir. Yazarlar gerek öğrenciler gerekse araştırmacılar için jeofizik problemlerin ters çözümünde genetik algoritma, ısıl işlem gibi çeşitli optimizasyon yöntemlerinin temellerini detaylı olarak açıklamaktadır. Bu bağlamda söz konusu kitap bu tez çalışması için global optimizasyon yaklaşımının kavranması açısından oldukça faydalı olacaktır.

Rashedi vd. (2009) çalışmalarında, bu tez çalışmasında da kullanılan topluluk tabanlı yeni bir metasezgisel olan ve yerçekimi ve kütle etkileşimleri yasalarını kullanan YAA algoritmasını tanıtmışlardır. Önerilen fizik tabanlı yaklaşım etkinliği bilinen diğer sezgisel arama yöntemleri ile karşılaştırılmıştır. Elde edilen sonuçlar YAA'nın başarısını göstermiştir.

Rao (2009), "*Mühendislik Optimizasyonunda Teori ve Pratik*" adlı kitabında optimizasyon yöntemlerinin hem verimli hem de ekonomik olması açısından önemli olduğuna değinmiştir. Optimizasyon yöntemleri hızla gelişen bilgisayar teknikleri ile daha iyi bir konuma gelmekte olduğundan ve birçok sektörde kullanıldığından bahsetmiştir. Ayrıca, birçok farklı optimizasyon tekniklerinin ispatları ve gelişimlerine basitçe olsa da değinmiştir. Mühendislik uygulamalarında kullanılan doğrusal, geometrik, dinamik, tam sayı ve stokastik gibi optimizasyon problemleri üzerinde kullanılan yöntemlerin etkilerini gözlemlemiştir.

Mirjalili ve Hashim (2010), parçacık sürü optimizasyonu (PSO) ve yerçekimsel arama algoritması (YAA) ile yeni bir melez popülasyonu olan PSOYAA üzerinde çalışmalar yapılmıştır. Yaptıkları karşılaştırma testinden sonra PSOYAA'yı PSO ve YAA ile karşılaştırmaları sonucunda yerel optimuma daha hızlı kaçtıklarını gözlemlemiştir.

Tongur (2010), jeodezinin amacını belirlemede yer yuvarının etkilerini incelemiştir. Gravite ölçüm yöntemleri ve gravite indirgemelerini araştırmıştır. Bu tez çalışmasının uygulama araştırmaları Konya, Karaman, Niğde ve Aksaray illerini oluşturulan bölgede enlem, boylam ve deniz yüksekliği bilinen noktalarda EGM08 modelini kullanarak gravite değerlerini araştırmıştır.

Yang (2011) yapmış olduğu çalışmasında, en basit anlamda optimizasyon problemlerini minimize veya maksimize olarak düşünmüştür. Optimizasyon algoritmalarını odak ve özelliklerine bağlı olarak birçok şekilde sınıflandırılabileceğimizi savunmuştur.

Göktürkler ve Balkaya (2012), basit geometrik şekilli (küre, silindir) yapıların neden olduğu DU belirtilerinin ters çözümü için doğadan esinlenilerek geliştirilen YİA, 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, uçlaşma açısı ve elektrik dipol momenti 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.

Balkaya (2013), doğal uçlaşma 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. 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 ısıl 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.

Özyön vd. (2012), yerçekimsel arama algoritması, ekonomik güç dağılım problemlerindeki yasak iletişim bölgesi ve azalma/artma limiti problemleri için uygulamıştır. YAA'nın performansını gözlemlemek için literatürden 15 farklı generatörlü test sistemi uyarlayıp karşılaştırmalar yapılmıştır. Bu karşılaştırma sonucunda literatürdeki verilere olan yakınlığı ve karşılaştırılma yapıldığında birçok yaklaşımdan daha iyi sonuç verdiği saptanmıştır. Algoritma üzerinde yapılacak olan farklı çalışmalar ve testlerle algoritmanın daha fazla geliştirilip, kararlı ve güçlü hale getirilebileceği düşünülmüştür.

Eldos ve Qasim (2013), YAA'nın performansını değerlendirmek için kuramsal standart birey yerleşim problemleri üzerinde çalışarak sonuçlarını GA ile elde edilenlerle karşılaştırmışlardır. Elde edilen sonuçlar, dikkate alınarak algoritmanın etkinliği irdelenmiştir. Buna göre, YAA doğası gereği görece yoğun matematiksel değerlendirmeler içermesi nedeniyle daha maliyetli bir hesaplama sunmasına rağmen uzun vadede GA ile rekabetçi ve daha verimli sonuçlar sunabildiği belirlenmiştir.

Alcan vd. (2014) çalışmalarında, modern bir optimizasyon yöntemi olan YAA ve bir klasik yöntem ile farklı güç ve yapılardaki transformatörlerin verim optimizasyonunda uygulamış ve elde ettikleri sonuçlar YAA'nın bu alanda etkin ve alternatif bir yaklaşım olabileceğini göstermiştir.

Sudin vd. (2014) çalışmasında, ayrık optimizasyon problemleri için ayrık YAA (AYAA) olarak adlandırılan modifiye edilmiş bir YAA sunmaktadır. Bu algoritmada, bir ajanın pozisyonu yönü ve hızına göre güncellenirken önerilen yaklaşımın performansı bazı test fonksiyonları üzerinde denenmiştir. Elde edilen sonuçlar, AYAA'nın ikili (binary) YAA ile karşılaştırıldığında daha iyi çözümler ve çözüme daha hızlı bir yakınsama karakteristiği sergilediğini göstermiştir.

Sahu vd. (2014), YAA için etkili bir çalışma ortaya koymayı istemiş olup otomatik üretim kontrolündeki (AGC) PI/PIDF destekleyici parametreleri optimize etmek için birbirine bağlı güç sistemleri kullanılmış. YAA parametreleri uygun şekilde ayarlayıp, YAA kontrol parametreleri önerilmiş. YAA'nın üstünlüğü; diferansiyel evrim (DE), bakteriyel besin arama optimizasyon algoritması (BFOA) ve GA ile karşılaştırılmış. Duyarlılık analizi sonucunda bazı fiziksel kısıtlamalar getirildiğinde performansını daha iyi sergilediği gözlemlenmiştir.

Güvenç ve Katırcıoğlu (2015) çalışmalarda, YAA'nın performansının onun parametre ve değişkenlerine doğrudan bağlı olduğunu belirterek bunların algoritmaya üzerindeki etkilerini incelenmiş ve ilgili optimizasyon problemi için önerilerde bulunmuşlardır.

Kazak ve Duysak (2015), yaptıkları çalışmada kütle yay sistemi-yerçekimsel arama algoritması (KYS-YAA) adı verilen yeni bir algoritma üzerinde çalışmıştır. Yeni algoritma, arama uzayında hem global hem de yerel daha fazla arama yapmakta olup algoritmanın yeterliliğini ölçmek için bazı testler yapmıştır. Bu testler sonucunda KYS-YAA'nın YAA'ya göre daha iyi sonuçlar verirken daha yavaş çalıştığı gözlemlenmiştir.

Bilgili (2015), ortaya koyduğu tez çalışması kapsamında, doğal potansiyel (SP) ve düşey elektrik sondaj (DES) verileri üzerinde ters çözüm işlemleri yapmıştır. Yapay ısıl işlem (Yİİ), GA ve parçacık sürü optimizasyonu (PSO) içeren üç metasezgisel optimizasyon (en iyileme) yakınsaması üzerinde çalışmıştır. Çalışılan konu kapsamında hem kuramsal hem de alan veri çalışması yapılmıştır. Uygulanan testler sonucunda kullanılan global optimizasyon yöntemlerinin verimli sonuçlar elde ettiği gözlemlemiştir.

Wang ve Song (2015), yaptıkları çalışmada YAA altı farklı test uygulayarak sentetik verileri değerlendirmiştir. Sentetik veri sonuçlarına göre YAA'nın yakınsak hızı algoritmanın parametrelerine duyarlı olduğu gözlemlemiştir.

Çözümlerinin doğruluğu parametre algoritmalarının yakınsama hızını iyileştirmek ve geliştirmek için esneklik uygulanabilirliği göstermiştir.

Ekinci vd. (2016) çalışmalarında, stokastik ve vektör tabanlı metasezgisel bir algoritma olan FE'yi kullanarak rezidüel gravite belirtilerinden model parametrelerini tahmin etmede etkili bir yaklaşım sunmuştur. Bu algoritmanın hem kuramsal hem de alan veri kümeleri üzerinde uygulanabilirliği ve etkinliği de açıkça gösterilmiştir.

Göktürkler vd. (2016); PSO, GA, FE ve Yİİ 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.

Mirijalili ve Lewis (2016), yaptıkları çalışmada, doğadan esinlenerek ortaya konulan metasezgisel optimizasyon yöntemlerinden biri olan kambur balina optimizasyon algoritması (*WKA*) araştırmıştır. Bu algoritma 29 matematiksel optimizasyon problemi ve 6 yapısal tasarım problemi ile test edilmiştir. *WKA* metasezgisel algoritması geleneksel yöntemlerle karşılaştırıldığında verimli sonuçlar elde ettiği gözlemlenmiştir.

Alcan vd. (2017), güç sistemlerindeki kayıpların azaltılması için dört farklı sezgisel algoritma kullanarak kayıpların minimuma indirilmesini sağlayacak en iyi statcom konumunu ve çıkış değerlerini karşılaştırmıştır. Kullanılan sezgisel yöntemler; YAA, PSO, Yapay Arı Kolonisi Algoritması (YAK) ve Karınca Kolonisi

Algoritmasıdır (KKA). Bunlar arasında Yakınsama hızı, sonuçlara ulaşma ve tekrarlar arasındaki fark gibi kriterler de göz önüne alındığında en iyi iki yöntemin PSO ve YAA olduğu ve en kötü iki yöntemin YAK ve KKA olduğu belirtilmiştir.

Balkaya vd. (2017), çalışmalarında topluluk tabanlı evrimsel bir metasezgisel olan FE algoritmasını prizmatik yapıların neden olduğu manyetik belirtilerin 3B ters çözümünde kullanmışlardır. Algoritmanın etkinliği kuramsal veri kümeleri üzerinde test edildikten sonra çeşitli tortul, metamorfik ve magmatik kayaçlardan oluşan ve Biga Yarımadası'nın doğusunda konumlanan ve granitoid sokulumlarından kaynaklanan havadan manyetik belirtileri için uygulanmıştır. Kestirilen parametrelerin doğruluğu olasılık yoğunluk fonksiyonları hesaplanarak gösterilmiştir.

Alkan (2017), doğadan esinlenerek ortaya konulan metasezgisel ve optimizasyon yöntemleri hakkında bilgi vermektedir. Tez çalışma kapsamında yatay elektron halka yöntemi (YHEM) parametre kestirimi için Farksal Arama (FA) algoritmasının nasıl kullanıldığı gözlemlenmiştir. Kuzey Avustralya'da eğimli grafitik şeyller üzerinde ölçülen iki alan anomalisi de değerlendirilmiş ve literatürden elde edilen sonuçlar ile karşılaştırılmıştır.

Temurtaş vd. (2017), metesezgisel algoritmanın performansını arttırmaya yönelik bir çalışma olup zıt konumlu öğrenme kavramı (OBL), YAA'yı iki farklı şekilde (ObYAA1 ve ObYAA2) uygulamıştır. Çalışma sonucunda; ObYAA1 ve ObYAA2, YAA'ya göre daha iyi sonuç verirken ObYAA2 ObYAA1'e göre daha iyi sonuç verdiği gözlemiştir.

Alkan ve Balkaya (2018), Brown benzeri bir rastgele yürüyüş hareketini kullanarak süper organizmaların göçünden esinlenilen ve gerçel değerli sayısal eniyileme problemlerini çözmek için yakın zamanda önerilen farksal arama (FA) algoritmasını ince eğimli iletkenler üzerinde elde edilen yatay halka elektromanyetik (YHEM) verisinden parametre kestirimi için kullanmıştır.

İletkenin derinliği, eğim açısı ve yüzeydeki izdüşümü genel olarak Slingram ismiyle bilinen bir YHEM belirtisinden belirlenmiştir.

Demirol vd. (2018), fizik tabanlı beş metasezgiasel optimizasyon algoritmasının performanslarını Rastrigin, Rosenbrock, Griewank ve Ackley test fonksiyonları üzerinde karşılaştırmıştır. Belirtilen popülasyon, boyut, çalıştırma ve iterasyon sayısı neticesinde test fonksiyonundan geçen algoritmaların minimum, maksimum, standart sapma ve ortalama değerleri belirlendikten sonra birbirlerine olan üstünlükleri tespit edilmiştir. Sonuç olarak; YAA ve WCA algoritmalarının diğer algoritmalara göre daha iyi sonuç verdiği gözlemlenmiştir.

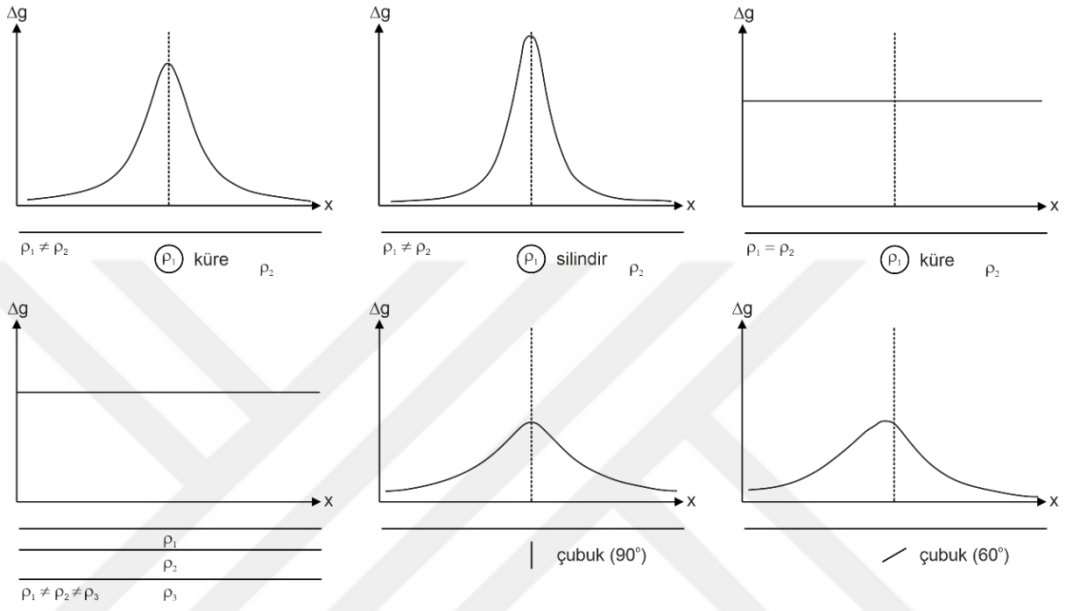
3. GRAVİTE (YERÇEKİMİ) YÖNTEMİ

Gravite yönteminin amacı, yeryuvarının yerçekimi ivmesinin (g) değişimini incelemektir. Yapılan gravite ivme ölçümleri, yeraltının yoğunluk durumunu tespit etmeyi amaçlar. Kısacası bu yöntem, yer kabuğu içerisindeki yoğunluk farklılığına dayanmaktadır. Bu nedenle, bu yöntemin iyi bir sonuç vermesi için yeraltında belirgin bir yoğunluk farkının olması gerekmektedir. Doğal kaynaklı potansiyel bir yöntem olmakla birlikte yanal yoğunluk değişimlerine duyarlılık gösterir. Ayrıca çözünürlük (ayrım) gücü düşük ve çok çözümlü bir yöntemdir. Bu yüzden büyük alanların daraltılmasında çözünürlük gücü yüksek jeofizik yöntemlere yardımcı yöntem olarak kullanılır. Gravite yöntemi, heterojen bir ortamdaki özgül ağırlığı yüksek olan krom, demir, kurşun, bakır maden araştırmalarının yanında özgül ağırlıkları görece düşük olan ponza, tuz ve jips aramalarında birincil yöntem olarak uygulanmaktadır. Bazı kayaçların özgül ağırlıkları Çizelge 3.1'de verilmiştir. Gravite yöntemi genel olarak, dünyanın şekli (jeodezi), havza geometrisi ve anakaya derinliği, hata konumları, mağaraların yeri ve insan kaynaklı yeraltı boşlukları, yerel yoğunluk değişikliklerinin yeri, jeoteknik çalışmalar, maden aramaları, hidrokarbon aramaları, litosferik yapının ölçülmesi gibi araştırmalarda kullanılmaktadır.

Çizelge 3.1. Bazı kayaçların özgül ağırlıkları (Sanver ve İşveren, 2002'den uyarlanmıştır.)

Sedimanter Kayaçlar		
Malzeme/Kayaç Adı	**Yaş Özgül Ağırlığı**	**Kuru Özgül Ağırlığı**
Alüvyon	1.98	1.54
Killer	2.21	1.70
Şeyl	2.40	2.10
Kireçtaşı	2.55	2.11
Magmatik Kayaçlar		
Kayaç Adı	**Özgül Ağırlık**	
Andezit	2.61	
Granit	2.64	
Bazalt	2.99	
Metamorfik Kayaçlar		
Kayaç Adı	**Özgül Ağılık**	
Kuvarsit	2.60	
Mermer	2.77	
Gnays	2.80	

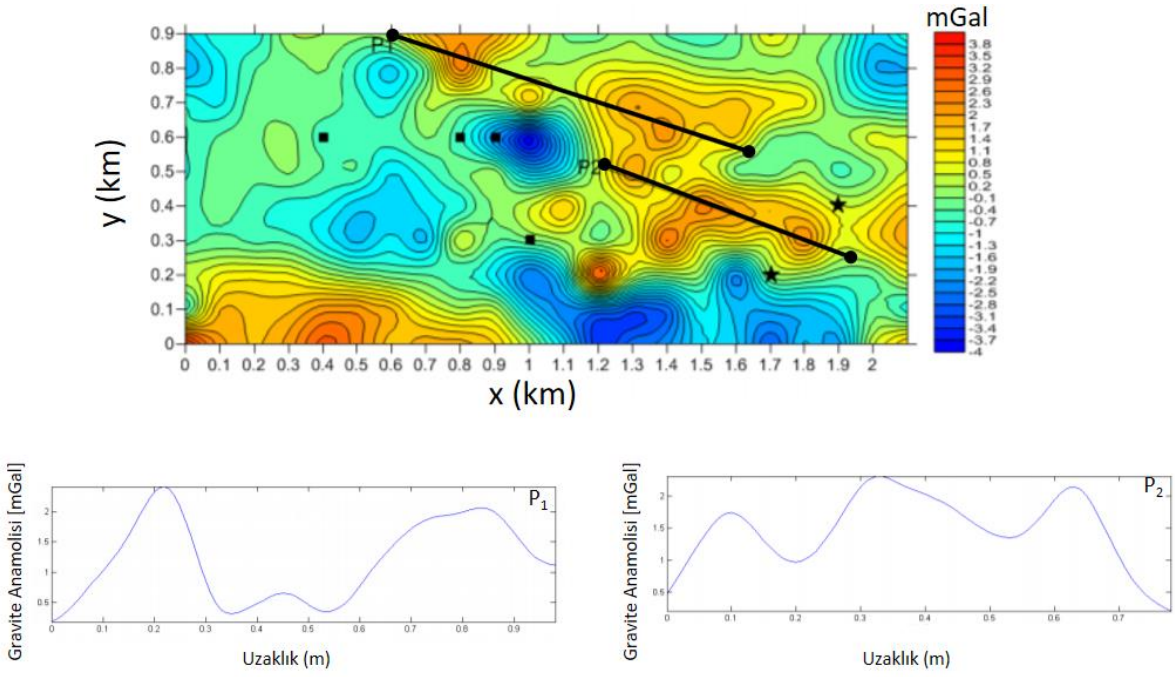
Gravite yöntemi, genel olarak, yeraltının yatay katmanlardan oluşması durumunda ve ortamda bir yoğunluk farkının olmadığı durumlarda bir anomali üretmez (bkz. Şekil 3.1). Küre ve silindir gibi bazı basit geometrik şekilli cisimler ile çubuk şeklindeki yapıların yeryüzünde neden olacağı garvite anomalileri Şekil 3.1'de ayrıca gösterilmiştir.



Şekil 3.1. Bazı gravite anomalileri (Mussat ve Khan, 2000'den düzenlenmiştir)

Gravite ölçümleri gravimetre adı verilen bir cihaz ile gerçekleştirilir. Bu cihazlar sayesinde alınan ölçümler yeryüzünün farklı yerlerinde bulunan yer çekimi ivme farklılıklarını ölçmeye yaramaktadır. Gravimetre cihazları çok hassas yapıya sahip oldukları için en ufak titreşimleri dahi hissederler. Bazı durumlarda az da olsa cihazda sapmalar gerçekleşir. Bu sapmaları düzeltmek amacıyla mekanik ve optik düzeltmeler geliştirilmiştir. Gravite ölçümleri denizde, havada ve karada gerçekleşebilir ancak anomali haritasını elde etmek için çalışma yeri göz önüne alınarak bazı düzeltmeler yapılmalıdır. Gravite ölçümlerinin değerlendirilmesi aşamasında göz önünde bulundurulması gereken; enlem düzeltmesi, yükseklik (kot, serbest hava) düzeltmesi, drift (kayma, gravite cihazı düzeltmesi) düzeltmesi, topografya düzeltmesi, Eötvös düzeltmesi gibi bazı düzeltme adımları bulunmaktadır. Bunlar gerçekleştirildikten sonra Bouguer Anomali haritası elde edilir ve sonuçlar bu

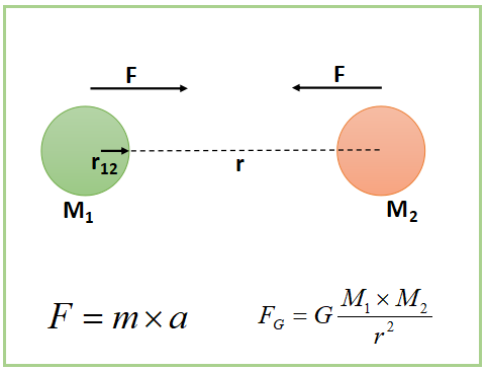
haritaya göre yorumlanır. Gravite ölçümlerinin değerlendirilmesi sonucunda sığ ve derin etkilerin birbirinden ayrılması gerekmektedir. Bouguer anomali haritasında, sığ yapıların etkilerine rezidüel (yerel) etki, derin yapılı etkilere rejyonal (bölgesel) etki denmektedir (Bouguer Anamolisi = Rezidüel + Rejyonal). Rezidüel anomaliler küçük alanları kapsarken, rejyonal anomaliler geniş alanları kapsamaktadır.



Şekil 3.2. Gaziantep'in Sofalıca bölgesi yakınlarında bulunan krom madeni üzerinde gerçekleştirilen gravite çalışması ve gravite anomalisinin haritalanması (Kınalıbalaban vd., 2013)

3.1. Newton Kanunu

Gravite yöntemi Newton'un I. ve II. kanununa dayanmaktadır. Yani yöntemin, yer çekimi ve hareketi kanunu üzerine kurulduğu gözlemlenir. Kısacası kütlelerin birbirini çekimi olarak da ifade edilir (bkz. Şekil 3.3.). Birimi cgs (bkz. Çizelge 3.1) birim sisteminde cm/s^2'dir. Gravitasyon sabiti (G); 6,67x10^{-8} cm^3/gr.sn^2'dir. Ancak modern gravimetrelerin hassas ölçümler alabilmesi amacıyla kullanılan cihazlar ölçüm sonuçlarını miliGal (1 mGal = 10^{-3} cm/sn^2) cinsinden hesaplamaktadır.



Şekil 3.3. Newton'un kütleler arası hareket ve yerçekimsel kuvvet kanunu

Şekil 3.3'te de görülen Newton'un birinci bağıntısında, *F*; çekim kuvveti (gr.cm/sn^2), *a*; hareketin ivmesi ve *m*; kütleyi (gr) göstermektedir. Newton'un ikinci bağıntısında F_G; iki kütle arasındaki çekim kuvvetinin büyüklüğü (vektöreldir) (gr.cm/sn^2), *G*; evrensel çekim sabiti (cm^3/gr.sn^2), M_1 ve M_2; kütlelerin büyüklüğü (gr) ve *r* ise kütlelerin merkezleri arasındaki uzaklığı (cm) göstermektedir.

Güncel olarak kullanılan birim sistemleri *cgs* (santimetre, gram ve saniye), *MKS* (metre, kilogram ve saat), *SI* olmak üzere üç tanedir. Gravite de kullanılan büyüklük birimleri *cgs* ve ya *MKS* birim sistemleridir. Kullanılan birimleri Çizelge 3.2'de görebiliriz.

Çizelge 3.2. Gravite ölçümlerinde kullanılan birimler

Büyüklük	**Simge**	***CGS***	***MKS***
Kütle	m	gram (gr)	kilogram (kg)
Mesafe (uzaklık)	r	santimetre (cm)	metre (m)
		cm^3/gr.sn^2	m^3/kg.s^2
Gravite sabiti	G		
Kuvvet	F	cm\sn^2 (gal)	m/s^2
		din (gr.cm/sn^2)	Newton (N)
İvme	a	gal (cm/sn^2)	m/s^2

3.2. Yerkürenin Çekim Potansiyeli ve Kaynağı

Gravite alanın temeli potansiyeldir yani iş yapabilme yeteneği olarak tanımlanır. Potansiyel skaler (durağan) bir büyüklüktür. Bu tanımlara dayanarak gravite alanının skaler bir büyüklük olduğu gözlemlenir. Kütlesi "*M*" büyüklüğünde bir

kütle düşünüldüğünde "r_1" kadar uzak olan diğer kütleye etki eden kuvvetin büyüklüğü bağıntı 3.1'deki gibi olacaktır.

$$F = G \ \frac{M}{r_1^2} \tag{3.1}$$

Ancak, yerkürenin yoğunluk dağılımı tam olarak bilinmemekle birlikte kütlenin oluşturduğu çekim alanı büyüklüğünü hesaplayabilmek için potansiyellerin göz önüne alınan noktasından türevleri alınır (Sanver ve İşseven, 2007). Gravite potansiyelinin uzaklığa göre türevinin çekim kuvveti bağıntısı 3.2 ve 3.3'teki gibi elde edilir. Bağıntının negatif (-) olarak gösterilme sebebi ise; çekim kuvvetinin azalan "q" (*grad*) yönde olduğunu gözlemleyebilmek içindir.

$$F = -\frac{d_u}{d_r} = -gradu = -\nabla u \tag{3.2}$$

$$\vec{F} = -\frac{\partial_u}{\partial_x} i + \frac{\partial_u}{\partial_y} j + \frac{\partial_u}{\partial_z} k \tag{3.3}$$

Bağıntı 3.3'te yer alan ***i***, ***j*** ve ***k*** sembolleri kartezyen koordinat sisteminde yer alan x, y ve z'nin artış yönündeki birim vektörlerini simgelemektedir. Gravite alanı kolektif (kapalı) bir alan olması sebebiyle içerisinde bulunan iki nokta arasında hareket eden bir kütlenin sadece izlediği yola bağlı olmayıp, hareketin başlangıç ve bitiş noktalarının konumuna bağlı olduğu görülmektedir. Eğer kütle başlangıç noktasına tekrar geri getirilir ise izlenen yol ne olursa olsun harcanan toplam enerji sıfır olacaktır. Sonuç olarak kolektif bir sistemde kinetik ve potansiyel enerji toplamı sabittir. Yani; *U (Potansiyel Enerji) + V (Kinetik Enerji) = Sabit* denklemine ulaşırız (Sanver ve İşseven, 2007).

Potansiyel çekim alanı içerisinde yapılan işe karşı gelinerek, noktayı "r_1" uzaklığından "r_2" uzaklığına getirildiğinde hesaplanan potansiyel bağıntı 3.4'teki gibi düzenlenirse,

$$U = \int_{r_1}^{r_2} F dr = \int_{r_1}^{r_2} \frac{GM}{r_2} dr = GM\left(\frac{1}{r_2} - \frac{1}{r_1}\right) \quad (3.4)$$

r_1'in sonsuz (∞) olduğu varsayılırsa bağıntı 3.5'e ulaşılır.

$$U = \frac{GM}{r_1} \quad \text{veya} \quad U = \frac{GM}{r} \quad (3.5)$$

3.3. Potansiyel Alan Eşitlikleri

Gravite potansiyel fonksiyonunun gradyanı alındığı zaman o potansiyel fonksiyonlarından türeyen gravite alanları oluşturabilir. Potansiyel alan eşitliklerini bulabilmek için yardımcı olarak bazı denklemlerden yararlanılır (Sanver ve İşseven, 2007).

3.3.1. Gauss (Diverjan) Teoremi

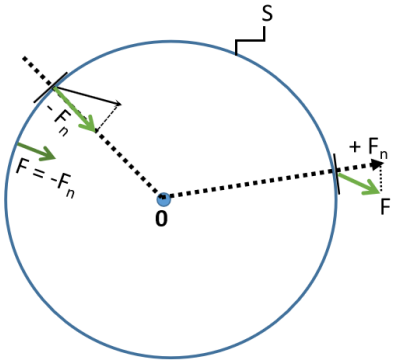
F vektörünün diverjansı "div.F = ∇.**F**" olarak tanımlanır. Diverjan veya Gauss teoreminin vektörel gösterimi bağıntı 3.6'da yer almaktadır. Bağıntıda yer alan, bir *F* vektöründe yer alan "*V*" hacmini saran "*S*" kapalı yüzeyi üzerinden hesaplanmasıdır.

$$\int_V \nabla F dV = \oint_S F_n dS \quad (3.6)$$

Gauss Teoreminin açık ifade ediliş şekli bağıntı 3.7'de, diverjan teoremi ise bağıntı 3.8'deki gibi elde edilir.

$$\nabla = \frac{\partial}{\partial_x} i + \frac{\partial}{\partial_y} j + \frac{\partial}{\partial_z} k \quad \text{ve} \quad F = F_x i + F_y j + F_z k \quad (3.7)$$

$$\iiint_{xyz} \left(\frac{\partial}{\partial_x} i + \frac{\partial}{\partial_y} j + \frac{\partial}{\partial_z} k\right)\left(F_x i + F_y j + F_z k\right) dxdydz = \oint_S F_n ds \quad (3.8)$$



Şekil 3.4. Yerkürenin potansiyel denklemi. Bu Gauss teoremine dayalı olan potansiyel denklemde yer alan F vektörel alanı içinde yer alan "*S*" kapalı yüzeyine giren ve çıkan vektörler ve dik bileşenleri (Sanver ve İşseven, 2007)

3.3.2. Laplace Denklemi

Çekim potansiyeli u olarak tanımlanır. Çekim potansiyelinin birinci türevi uzayda süreklidir bu yüzden sonsuzu temsil eden limit durumunda çekim potansiyeli ve birinci türevi sıfırdır. İkinci türevleri uzayda süreklilik arz etmediğinden dolayı tüm uzay içerisinde (kütle dışı) Laplace Denklemi (3.11) uygulanır ve dört ayrı formda yazılabilir (bkz. Bağıntı 3.9) (Sanver ve İşseven, 2007).

(3.9)

$$\nabla F = \nabla\nabla U = \nabla^2 U = div.gradU = 0$$

$$\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial z^2} = \nabla^2 u = 0 \qquad (3.10)$$

3.3.3. Poisson Denklemi

"*M*" büyüklüğünde bir noktasal kütle düşünüldüğünde, kürenin kütle merkez noktasına "*r*" uzaklıktaki yarıçapının çizimi için Poisson Denklemi uygulanır. Kısacası; kütle içende yer alıyor ise Poisson Denklemi uygulanmaktadır. Bu durumu matematiksel bağıntıya dökerek anlatmak gerekirse diverjan teoremi bağıntı 3.11'deki gibi kullanılır (Sanver ve İşseven, 2007).

$$\int_V \nabla F dV = \oint_S F_n ds = F_n 4\pi r^2 \tag{3.11}$$

Diverjan teoremine göre F_n kürenin dışına yönlendirilmiş ise; çekim kuvvetini bulmak için bağıntı 3.12 kullanılır.

$$F = F_n = -\frac{GM}{r^2} \tag{3.12}$$

3.11 ve 3.12 bağıntıları birlikte kullanıldığında elde edilen bağıntı 3.13'ü verecektir.

$$\nabla F = -4\pi r^2 \frac{GM}{r^2} = -4\pi GM \quad , \quad \nabla F = \nabla \nabla U = \nabla^2 U = -4\pi GM \tag{3.13}$$

3.4. Üç Boyutlu Kütlelerin Potansiyel Çekimi

Üzerinde çalışılan kütlenin x, y ve z eksenleri doğrultusundaki boyutları birbirine yakın ise kütlelere üç boyutlu kütle denilir. Üç çeşit kütle modeline sahip olan gravite potansiyelinin bağıntıları belirlenirken yoğunluğun homojen olduğu varsayılır. Potansiyel, daha önce de söz edildiği gibi skaler büyüklük olduğundan dolayı bağıntı 3. 14'te yer alan denklemdeki gibi ifade edilir (Sanver ve İşseven, 2007).

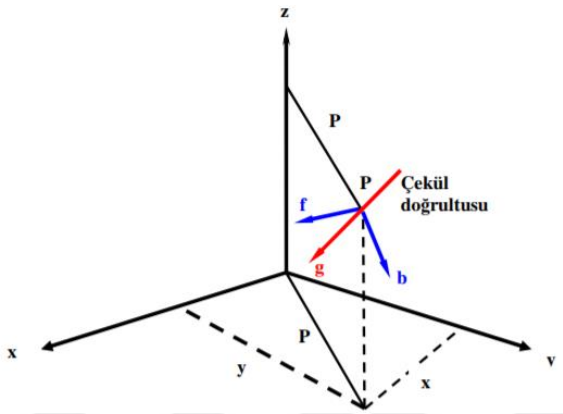
$$U = \int_V dU = G\rho \int_x \int_y \int_z \frac{dxdydz}{\left(x^2 + y^2 + z^2\right)^{1/2}} \tag{3.14}$$

Çekim kuvvetini bulurken; "z" doğrultusunda oluşan çekim kuvveti, potansiyelin "z" doğrultusuna göre türevlenip önüne eksi (-) işareti alır (bkz. Bağıntı 3.15) (Sanver ve İşseven, 2007).

$$g_z = -\frac{\partial U}{\partial_z} = G\rho \int_x \int_y \int_z \frac{z}{q^3} dxdydz = G\rho \int_x \int_y \int_z \frac{zdxdydz}{\left(x^2 + y^2 + z^2\right)^{3/2}} \tag{3.15}$$

3.5. Yerin Çekim Alanı

Yerin çekim ivmesi vektörünün yönü belirlenirken; yeryüzünde bulunan her bir noktada ve dünyayı sarmakta olan ortam üzerindeki her bir nokta da yerin merkezine doğrudur (bkz. Şekil 3.6). Yer kürenin birim kütleye uygulanan kuvvetine gravite ivmesi (g) denir. İvme, birim kütleye etkiyen kuvvet olarak tanımlanır (F = m x a).



Şekil 3.5. $\vec{g}$ gravite kuvveti ve bileşenleri burada $\vec{b}$; kütle çekim (gravitasyon) ivmesi, $\vec{f}$; merkez kaç kuvveti, $\vec{g}$; gravite ivmesi (Ceylan, 2007).

Yer çekimi ivmesi; $b = G\frac{M_e}{R_e^{\,2}}$ gal'dir.

Yerin kütlesi; $M = \frac{4}{3}\pi a^3\delta$ gr (yoğunluk; δ, yerkürenin ortalama yoğunluğu; 5.5 gr/cm^3 olarak kabul edilir). Yeryüzünde duran bir cisme etki eden kuvvet, kütlesel çekim kuvveti ile yer yuvarının kendi ekseni etrafında dönmesi ile oluşan merkezkaç kuvvetin bileşkesidir (Ceylan, 2007). İki ivmenin potansiyellerinin toplamı hesaplanırken kullanılan bağıntı 3.16'da verilmiştir.

$$U = \frac{GM}{r} - \frac{1}{2}w^2d^2 \qquad (3.16)$$

3.6. Yer Yuvarının Şekli

Yerkürenin şeklini bulabilmek için üç çeşit yöntem kullanılmaktadır. Bu kullanılan yöntemler; küre, dönel elipsoid (sferoid) ve jeoid yöntemleri olarak bilinmektedir. Bunlardan küre ve dönel elipsoid matematiksel tanımı olup yerin analitik yapısını araştırır. Jeoid ise geometrik tanım olup yerin gerçek şeklini ortaya koymamızı sağlamaktadır (Sanver ve İşseven, 2007).

3.6.1. Sferoid

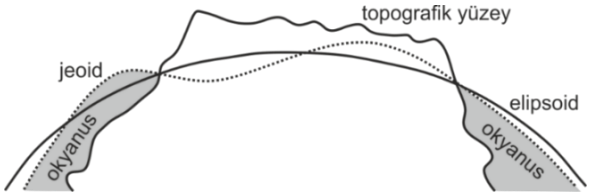
Dünyanın deniz seviyesi üzerinde kalan kütlesinin, okyanuslarla doldurulduğu halini temsil etmektedir. Özetlemek gerekirse, sferoidin kütlesi dünyanın kütlesine eşit olduğu varsayılmakla birlikte ortalama deniz yüzeyini temsil etmektedir. Sferoidin bağıntısı 3.17'de gösterilmiştir.

$$g_{1967}(\phi) = g_{1930}(\phi) - 17.2 + 13.6\sin^2\phi \tag{3.17}$$

Bağıntı 3.17'de yer alan g (1967 ve 1930) o yıllar içerisinde çözümlenen bağıntılardan yararlanarak elde edilmiştir. Bağıntı 3.17'yi çözerken 1930 yılında elde edilen bağıntının birimleri mGal olarak alınmalıdır.

3.6.2. Jeoid

Dünya'da ~2 gr\cm^3 olan yoğunluk değeri yerin merkezine doğru artış göstererek ~12 gr\cm^3 değerini aldığı bilinmektedir. Dünya üzerinde sferoid ve jeoidin arasındaki kot farkı genellikle 50 metrenin altında ve iki eş potansiyelin arasındaki en büyük kot farlı 94 metreye kadar çıktığı görülmektedir.



Şekil 3.6. Yeryüzündeki elipsoid ve jeoid gösterimi (Sanver ve İşseven, 2007'den uyarlanmıştır)

3.7. Gravite Verisinin Yorumlanması ve Değerlendirmesi

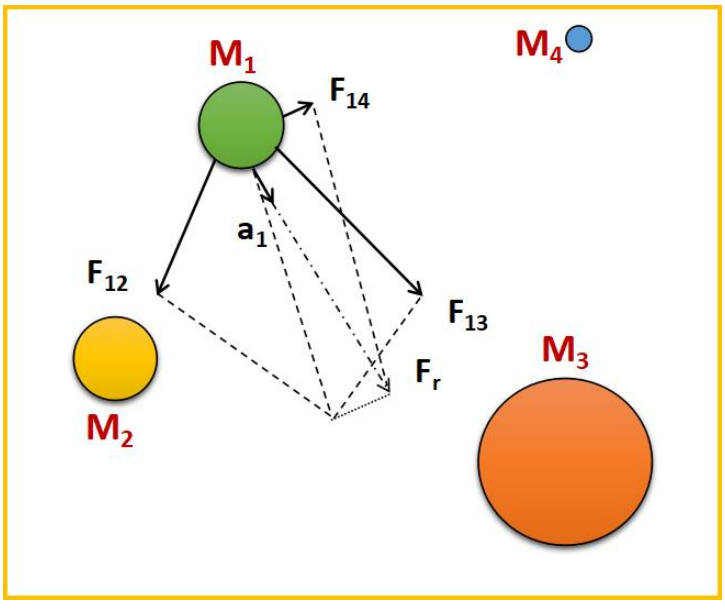
Gravite verisinin değerlendirilmesinde, gömülü yapıların fiziksel özelliklerini belirlemeye çalışırken aynı zamanda yatay ve düşey yöndeki değişimlerinin incelenmesini amaçlanmaktadır. Gravite verisi yorumlanırken problem çözümünden elde edilen sonuçlar tek ve kesin çözümlü değildir. Başka bir deyişle aynı anomaliyi üretebilen sonsuz sayıda model tasarımı meydana getirilebilir (Roy, 1962). Model tasarımı ile birlikte çok çözümlülük sorunun üstesinden gelebilmek için gömülü yapıların fiziksel ve geometrik parametrelerine yönelik ön bilgilere sahip olunması gerekmektedir (Roy vd., 2000).

Gravite verilerini değerlendirebilmek için matematiksel yöntemlerden faydalanılmalıdır. Bu yaklaşımlara örnek olarak, en küçük kareler yaklaşımı (Gupta, 1983; Lines ve Treitel, 1984; Abdelrahman vd., 1991; Salem vd., 2003), Euler dekonvolüsyonu (Thompson, 1982; Reid vd., 1990), sinir ağları (Elawadi vd., 2001; Osman vd., 2007; Hajian, 2004), 3B analitik sinyal genliği (Roest vd., 1992), sürekli dalgacık dönüşümü (Chamoli vd., 2006), gravite tensörü-nün özvektör analizi (Beiki ve Pedersen, 2010), gravite gradyan tensörünün değişmezleri (Oruç, 2010), çoklu uyarlamalı nöro-bulanık çıkarım sistemleri (Hajian vd., 2011) verilebilir (Doğru, 2015).

Jeofizik yöntemlerde genellikle ters çözüm problemleri doğrusal problemler olmadığı için model parametrenin kestiriminde doğrusallaştırılmış yöntemler kullanılmaktadır. Bu tez çalışması kapsamında ise kuramsal ve bir alan çalışmasından elde edilen gravite anomalilerinin değerlendirilmesinde metasezgisel bir yaklaşım olan YAA kullanılmıştır.

4. YERÇEKİMSEL ARAMA ALGORİTMASI (YAA)

Yerçekimsel arama algoritması topluluk tabanlı bir algoritma olup Newton'un yerçekimi ve hareket kanunundan esinlenerek Rashadi vd. (2009) tarafından geliştirilmiştir. Bu çalışmada, algoritmanın etkin bir hesaplama kabiliyeti olduğu ayrıca gösterilmiştir. YAA'da her bir topluluğun kütle miktarı o nesnenin performansını göstermektedir (Alcan vd., 2014). YAA'da her bir kütle dört spesifikasyona sahiptir. Algoritmada kullanılan spesifikasyonlar; pozisyon, atalet kütlesi, aktif yerçekimi kütlesi ve pasif yerçekimi kütlesidir (Rashadi vd., 2009). Kütlenin bulunduğu konum problemin çözümüne karşılık gelmekte olup problemin çözümü bulunurken yerçekimi ve kütle ataleti uygunluk fonksiyonları olarak kullanılır. Kısaca, her bir kütle diğer kütleleri yerçekimi ivmesi ile çekmekte olup kütleler arasında iletişim sağlanmaktadır (bkz. Bağıntı 4.3). Bu iletişim sayesinde kütlelerin hepsi en büyük ve en ağır kütleye doğru ilerlemeye başlar ve bütün kütleler yerçekimi kuvvetine doğru hareket etmeye başlar. Böylelikle algoritma içerisindeki kütleler en ağır ve en büyük kütleye doğru hareket ederken diğer kütleleri de kendine doğru çeker (bkz. Şekil 4.1).



Şekil 4.1. Kütlelerin yerçekimi ve hareket yasası ile etkileşimi (Rashedi vd., 2007'den düzenlenmiştir.)

4.1. YAA'nın Formülasyonu

YAA'nın matematiksel çalışma prensibine bakacak olursak, kütleler bir nesne gibi düşünülmüş ve onların performansları kütleleri ile ölçeklendirilmiştir (Güvenç ve Katırcıoğlu, 2015). Diğer metasezgisel algoritmalara göre YAA'nın matematiksel arka planının görece yoğun olması nedeniyle çözüm maliyeti de artmaktadır. Problemin çözümü için ilk olarak belirli bir arama uzayı ve toplam kaç kütlenin olacağı belirlenir. *N* kütleli bir sistem düşünürsek *i*. kütlenin konumu bağıntı 4.1'deki gibi ifade edilmektedir.

$$x_i = (x_i^1, \ldots, x_i^d, \ldots, x_i^n) \quad \text{için,} \quad i = 1,2,\ldots,N \tag{4.1}$$

Formüldeki; x_i^d ; *i*. bireyin *d*. boyutundaki yerini belirtmektedir, n ; arama alanın boyutunu göstermektedir. Kütlelerin çözüme başlama noktaları rastgele seçilir. Algoritma başlangıcında belirlenen yerçekimi sabitine (G) atanan değerin iterasyonlar (t) ile ve arama hızının kontrol edilmesi gerekir (Alcan, 2014). Belirli bir t zamanında yerçekimi sabitinin elde edilişi bağıntı 4.2'deki gibi ifade edilmektedir.

$$G(t) = G_o * e^{-\alpha \frac{t}{T}} \tag{4.2}$$

G_o ; yerçekimi sabitinin başlangıç değerini, α ; sabit değeri, *t*; iterasyon sayısını, *T*; maksimum iterasyon sayısını belirtmektedir. En iyi ve en kötü kütle değerleri, bağıntı 4.3 ve 4.4'teki gibi ifade edilmektedir.

$$best(t) = \underset{i=1}{\overset{n_{mass}}{}} \max\{fit_i(t)\} \tag{4.3}$$

$$worst(t) = \underset{i=1}{\overset{n_{mass}}{}} min\{fit_i(t)\} \tag{4.4}$$

Formüldeki; $fit_j(t)$; j. kütlenin t anındaki uygunluğunu, $best(t)$; en iyi çözümü, $worst(t)$; en kötü çözümü belirtmektedir. Arama uzayında bulunan kütlenin; aktif yerçekimi kütlesi (M_{ai}), pasif yerçekimi kütlesi (M_{pi}) ve atalet kütlesi,

(M_i) eşit alınarak, bağıntılar 4.5, 4.6 ve 4.7'deki denklemler kullanılarak tüm kütleler hesaplanabilir. Bu denklemlerle yerçekimi güncellenmektedir (Eldos ve Qasim, 2013).

$$M_{ai} = M_{pi} = M_{ii} = M_i \tag{4.5}$$

$$m_i = \frac{fit_i(t) - worst(t)}{best(t) - worst(t)} \tag{4.6}$$

$$M_i(t) = \frac{m_i(t)}{\sum_{j=1}^{N} m_j(t)} \tag{4.7}$$

Toplam kuvvet hesabı yapılırken bağıntı 4.8 ve 4.9'da verilen eşitlikler kullanılmaktadır. Bunun için, iki noktasal kütlenin arasındaki Öklid mesafesi hesaplanırken aşağıdaki bağıntı (4.8) ile ifade edilmektedir.

$$R_{ij}(t) = \left\| x_i(t), x_j(t) \right\|_2 \tag{4.8}$$

Formüldeki; $R_{ij}(t)$; *i* ve *j* kütleler arası mesafeyi bulmamızı sağlamaktadır. Bu formülden (4.8) yararlanarak kütleler arası kuvvet hesaplanabilir (bkz. bağıntı 4.9).

$$F_{ij}^{d}(t) = G(t) \frac{M_{pi}(t) * M_{aj}(t)}{R_{ij}(t) + \varepsilon} (x_j^d(t) - x_i^d(t)) \tag{4.9}$$

Formüldeki; $F_{ij}^{d}(t)$; t anında *d*. boyutta *i* ve *j* kütleleri arasındaki kuvveti, $M_{ai}(t)$; *t* anındaki *j*. kütlenin aktif yerçekimsel kütlesini, ε; kullanıcı tarafından sayısal verilen küçük bir sabit değeri (Eldos ve Qasim, 2013), $x_j^d(t), x_i^d(t)$; *i* ve *j* kütlelerinin *d*. boyuttaki konumunu göstermektedir. Kütlelerin ivmeleri hesaplanırken eşitlik 4.10 ve 4.11'deki bağıntılar ile ifade edilmektedir.

$$a_i^d(t) = \frac{F_i^d(t)}{M_{ii}(t)} \tag{4.10}$$

$a_i^d(t)$; *d*. boyutundaki *i*. kütlenin *t* anındaki ivmesinin hesaplanmasını göstermektedir.

$$a_i(t) = G(t)\sum_{j=1}^{n_{mass}} \quad , \quad rand_j \frac{M_j(t)}{R_{ij}(t)+\varepsilon}(x_j - x_i) \tag{4.11}$$

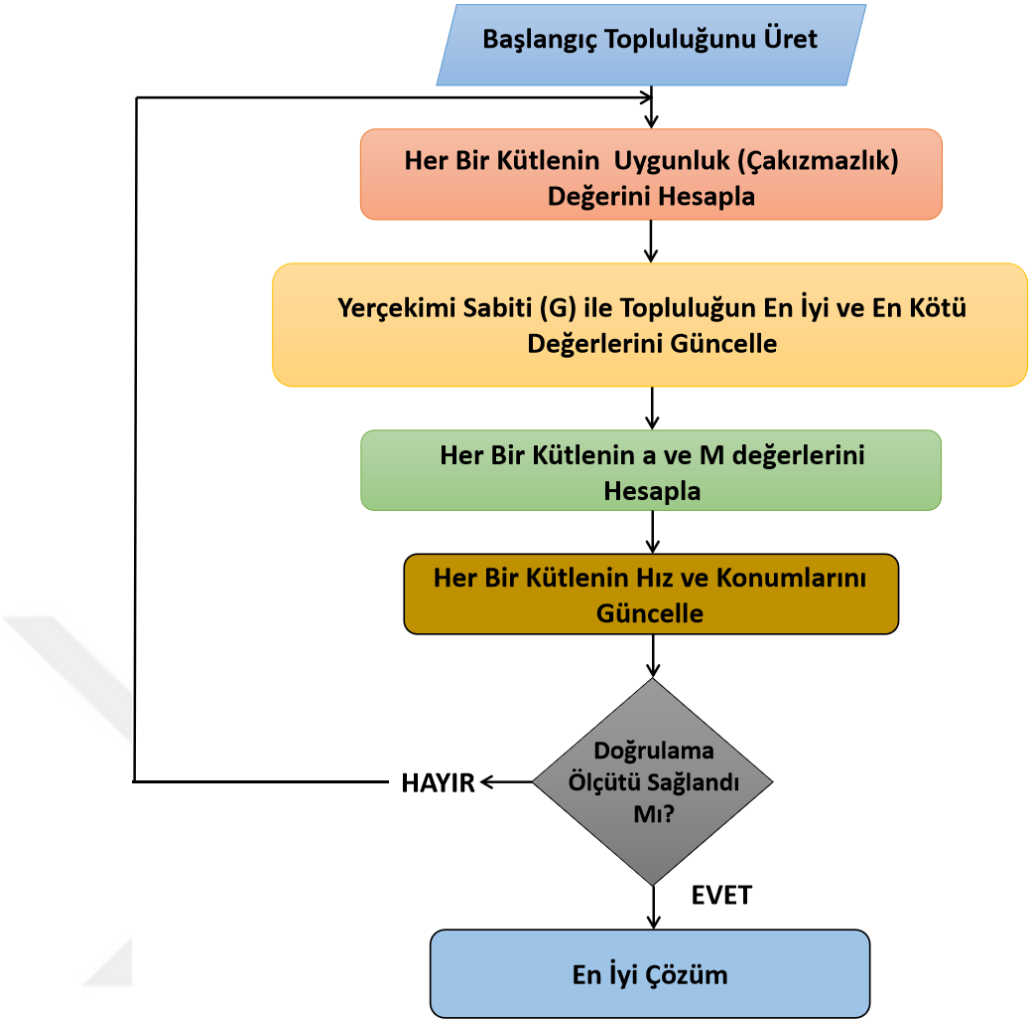
Formüldeki; $rand_j$ [0,1] aralığında rastgele bir sayıdır. Kütlenin bir sonraki hızı ile o anda oluşan hız değişiminin toplam bağıntısı eşitlik 4.12'deki gibi hesaplanabilir.

$$V_i^d(t+1) = rand_i * V_i^d(t) + a_i^d(t) \tag{4.12}$$

$rand_i$; [0,1] aralığında rastgele atanan bir sayı değeridir. Hız değişimiyle birlikte her bir kütlenin sistemdeki yerinin konum güncellemesi yapılmaktadır. Bu güncelleme bağıntı 4.13'teki gibi hesaplanabilmektedir.

$$x_i(t+1) = x_i(t) + v_i(t+1) \tag{4.13}$$

Algoritma ön tanımlı maksimum iterasyon sayısına ulaşıldığında ya da varsa başka bir durdurma ölçütünün sağlanması durumunda sonlanmaktadır. Bu ölçütlerin sağlanmaması durumunda ise bağıntı 4.2'ye geri dönülerek değinilen aşamalar tekrar edilir. YAA için basitleştirilmiş bir genel akış şeması Şekil 4.2'de verilmiştir.



Şekil 4.2. Yerçekimsel arama algoritmasının (YAA) basitleştirilmiş akış şeması (Rashadi vd. 2009'dan düzenlenmiştir.)

YAA kuramı uygulama ve hesaplama açısından bakıldığı zaman kullanımı kolay ve verimli bir yöntem olarak tanımlanır (Sahu vd., 2014). YAA hafızası olmayan bir algoritma olmasına rağmen diğer bellek tabanlı algoritmalar gibi güçlü bir çözüm yeteneğinin olduğu görülmektedir. YAA'nın optimizasyon problemlerini çözme başarısı kontrol parametreleri ve çözüme ulaşma isteği, etkin çözümleri üzerindeki kilit noktasıdır. YAA, global optimumu bulma konusunda diğer yöntemlerle (PSO, GA gibi) karşılaştırıldığında daha iyi sonuçlara yakınsama yaptığı gözlemlenmiştir (Rashadi vd., 2009).

4.2. Düz Çözüm

Gözlemsel verilerden yararlanarak ortamın ve kaynağın modellenmesidir. Bu modelleme yapılırken sırasıyla; matematiksel model oluşturulur, model parametreleri belirlenir ve sayısal hesaplamalar yapılır. YAA algoritmasının düz çözümü kapsamında, küre, yarı sonsuz düşey silindir ve/veya sonsuz uzun bir gözlem noktasında yatay silindir gibi basit şekilli cisimlerden kaynaklanan problemlerin değerlendirilmesi amaçlanmıştır. Rezidüel gravite anomalilerinden parametre kestiriminde kullanılan düz çözüm bağıntısı izleyen şekildedir.

$$g(x, x_0, z_0, q, \eta, A) = A\frac{z_0^{\eta}}{((x-x_0)^2 + z_0^2)^q} \tag{4.14}$$

Burada *A;* genlik katsayısını (mGal.m$^{2q-\eta}$), z_0; nedensel kaynağın derinliğini (m), η ve q biçim faktörlerini, x; uzaklık (m) ve x_0; nedensel kaynağın yeryüzündeki izdüşümünü (m) göstermektedir. Genlik katsayısı ile biçim faktörlerinin farklı basit şekilli cisimler için değerleri Çizelge 4.1'de verilmiştir.

Çizelge 4.1. Genlik katsayısı ve biçim faktörlerinin değerleri (Abdelrahman vd. 1989)

Geometrik cisim	A	η	q
Yarı sonsuz düşey silindir	$\pi\gamma\sigma r^2$	0	0.5
Sonsuz uzun yatay silindir	$2\pi\gamma\sigma r^2$	1	1
Küre	$\frac{4}{3}\pi\lambda\sigma r^3$	1	1.5

γ : Evrensel yerçekimi sabiti (6.67384 x 10^{-11} m^{3}kg^{-1}s^2)

σ : Yoğunluk kontrastı (gr/cm^3)

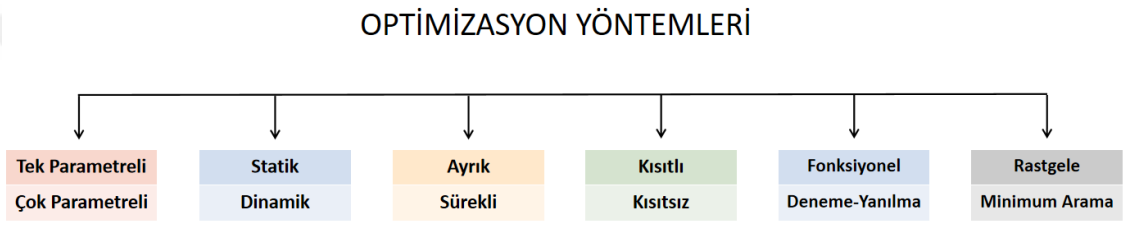
r : Etkiyen cismin yarı çapı (m)

5. OPTİMİZASYON, SEZGİSEL VE METASEZGİSEL KAVRAMLARI

Sezgisel kelimesi Yunanca olmakla birlikte "bilmek, bulmak, keşfetmek ve/veya soruşturmaya rehberlik etmek" anlamına gelmektedir (Rashadi vd., 2009). Optimizasyon, bir problemde belirli bir alan içerisinde bilinmeyen parametre değerlerini bulmaya çalışırken verilen şartlar altındaki en iyi sonucu en kısa zamanda ve maliyeti düşük bir şekilde çözmeyi amaçlar. Biz mühendisler açısından bir işin tasarlanıp gerçekleştirilmesi yeterli olmayıp işin en iyi çözüm yöntemiyle en verimli haline getirilmesi önemlidir. Bu bağlamda optimizasyon, bir fonksiyonun hedeflenen amacının maksimum veya minimum değerini veren koşulları bulma süreci olarak tanımlanır (Rao, 2009). Kısacası optimizasyon en iyileme yöntemi olarak bilinmektedir. Optimizasyon algoritmalarının genellikle sürü, sosyal, fizik, kimya, biyoloji ve müzik tabanlı oldukları gözlemlemekle birlikte bazıları oldukça karmaşık yapıya sahip ve/veya çok çözümlüdür. Bu tez çalışmasında üzerinde çalışılan algoritma merkezi kuvvet optimizasyonu adı verilen yerçekimi kinetiğinin metaforuna dayalı olan deterministik sezgisel arama algoritmasıdır (Rashadi vd., 2009). Bireyler tek başlarına hiçbir işe yaramazken bir araya geldikleri zaman mükemmel sayılabilecek işler ortaya koyabilirler. Böylece, ileride karşılaşabilecekleri sorunlar karşısında çözüm üretebilirlerken bazı durumlarda tek bir çözüm olsa bile sonuca varamazlar. Genel olarak, en uygun çözümü bulmak veya en uyguna yakın bir çözümü bulmak kolay değildir (Yang, 2011).

En basit haliyle optimizasyon, bir en küçükleme ya da bir en büyükleme problemi olarak tanımlanır (Yang, 2011). Optimizasyon problemin çözümüne göre, en küçükleme ya da en büyükleme olarak değişiklik gösterir. Optimizasyon yöntemleri lokal (yerel) ve global (genel) olarak ikiye ayırılır. Lokal optimizasyonlar; doğrusal ve doğrusal olmayan (linear, nonlinear), tamsayılı (integer), kuadratik (quadratic), stokastik (stochastic), dinamik (dynamic) programlamalar ile kombinatoryal (combinatorial) olarak gösterilebilirler (Alkan, 2017). Tasarım kümesini yeterli derecede araştırmadan lokal bir optimuma yakınsamaları, başlangıç çözümüne fazlasıyla bağımlı olmaları, ayrık

ve karma tasarım değişkenlerini ele alabilme yeteneğinden yoksun olmaları, lokal optimizasyon yöntemlerinin en önemli eksikliklerindendir (Pham ve Karaboğa, 2000). Sezgisel yöntemlerin bu eksiklikleri gidermek amacıyla 1970'li yılların başında, sezgisel ve metasezgisel optimizasyon yöntemleri önerilmeye başlanmıştır. Sezgisel (heuristic) optimizasyon algoritmaları, deneme-yanılma (trial-error) yöntemi olarak da bilinmekte olup makul sayılan bir süreçte en iyi çözüme ulaşmaya çalışır. Sezgisel yöntemlerde; rastgele süreçleri temel alan bir arama yöntemiyle parametre uzayında problemin çözümünü doğrudan bulmayı amaçlasa bile kesin optimum çözümü garanti edemezken yerel optimizasyon tekniklerinden daha iyi performans elde etmek için uyarlanmıştır.



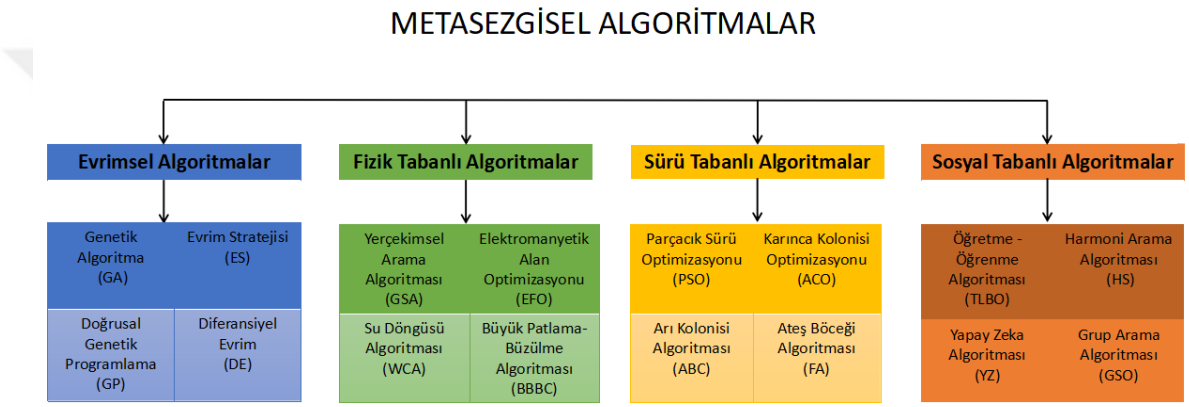
Şekil 5.1. Optimizasyon yöntemlerinin sınıflandırılması (Öztürk, 2002'den uyarlanmıştır.)

1986 yılında Glover tarafından ilk kez metasezgisel kelimesi kullanılmaya başlanmıştır. Metasezgisel yöntemler sezgisel yöntemleri üst düzeyde geliştirmek için ortaya konmuş yöntemler olmakla birlikte parametre seçimleri metasezgisel yöntemlerin çözümünü doğrudan etkilemektedir. Metasezgisel yöntemin en belirgin özelliği başlangıç noktasına ihtiyaç duymadan çözüm üretebilmesi ve yeteri kadar zaman verilirse algoritmanın en iyilemeye (global optimuma) ve/veya yakınına ulaşır. En iyileme çözümüne ulaşırken özel bilgilere (türev gibi) ihtiyaç duyar. PSO, genetik/evrimsel algoritma (GA), karınca kolonisi algoritması (KKA), yapay sinir ağları (YSA), yapay arı kolonisi (YAK) gibi metasezgisel algoritmalar çalışmalarda sıkça kullanılmaktadır. Genellikle doğadan gözlemlenerek oluşturulan bu algoritmalar problemlerin çözümü sırasında da seçilmiş olan metasezgisel yöntemlerle çözüm bulması amaçlanır. Biz mühendislerin yaptığımız çalışmaları, en kısa zamanda, en maliyeti düşük ve en kaliteli şekilde yapmamız gerektiği için para, kalite ve zaman kaynakların kullanımı önemlidir. Bu nedenle günümüzde optimizasyon,

mühendislik tasarımından ekonomiye ve tatil planlamasından internet yönlendirmesine kadar neredeyse tüm alanlarda kullanılmaktadır (Yang, 2011). Optimizasyon algoritmalarının temel unsurları arasında amaç fonksiyonları, tasarım değişiklikleri ve kısıtlamalar mevcuttur. Amaç fonksiyonu; problemin optimum değerini arayan fonksiyondur. Problemlerin amaç fonksiyonları maliyet ve yanılgı enerjisine göre farklılık göstermektedir. Tasarım değişiklikleri; optimizasyonun çözümü için değişikliklerini tam olarak belirlemekle birlikte bilinmeyen değerler tam sayı ve/veya reel sayı olabilirler. Kısıtlamalar ise; optimizasyon problemlerinin belirli değer alabilmesi ve/veya belirli bir değerde kalabilmesini sağlamak için kullanılmaktadır. Yani sınırlayıcı değerler koymaktadır. Optimizasyon algoritmaları genel olarak önce deterministtik bir yöntemle hesaplanabilen en iyi çözümü başlangıç çözümü olarak tespit eder ve daha sonra bu çözümü ihtimalci ve sezgisel stratejiler kullanarak geliştirmeye çalışır (Karaboğa, 2003). Optimizasyon algoritmaları, birçok görüşe ve çözüme göre gruplandırılabilir. Bunlardan en yaygın olarak kullanılanları; yorucu (exhaustive), rastgele (random), açgözlü (Greedy), tepe tırmanma (hill-climbing), sezgisel (heuristic), Nelder-Mead ve ihtimalci (stochastic) arama stratejileri örnek verilebilir. Optimizasyon problemlerinin çözümleri tek boyutlu ya da çok boyutlu olabilir. Bu optimizasyon yöntemlerinde tepe tırmanma (hill-climbing) türev tabanlı, Nelder-Mead, Simplex türeve ihtiyaç duymayan problemleri çözümde kullanılmaktadır.

Optimizasyon algoritmaları başka bir açıdan bakıldığı zaman yörünge ve topluluk tabanlı olarak sınıflandırılabilir. Yörünge tabanlı algoritmaların tek bir çözümü olmakla birlikte, topluluk tabanlı algoritmalar fazla sayıda ajan kullanarak değişik yollardan ve çok sayıda çözüme ulaşır. Bir diğer bakış açısı da deterministtik ve skotastiktir yani rastgeleliktir. Deterministtik problemlerin çözümlerinde farklı başlangıç noktalarından çözüme başlanmış olsa bile tekrar aynı sonuca ulaşır. Skotastik problemlerin çözümlerinde ise aynı başlangıç noktası kullanılsa da her seferinde farklı çözümler ortaya konulmaktadır. Optimizasyon algoritmaları lokal (yerel) ve global (genel) olarak da sınıflandırılabilmektedirler. Aynı zamanda deterministtik olan lokal optimizasyon algoritmaları genelde lokal bir optimuma yakınsar ve lokal bir

optimumdan kaçma olasılığı yoktur (Alkan, 2017). Bu amaç doğrultusunda metasezgisel algoritma yöntemleri kullanılmaya başlanmıştır. Metasezgisel algoritmalar en iyi başlangıç yöntemine gerek duymadan lokal (yerel) optimumdan çıkarak global (genel) optimuma giderler. Genellikle metasezgisel algoritmalarda rastgelelik görülmektedir. Metasezgiseller; biyoloji tabanlı, fizik tabanlı, sosyal tabanlı, müzik tabanlı ve kimya tabanlı olmakla birlikte bunlara ek olarak melezler olarak sınıflandırılabilirler (Şekil 5.2). Bu tez çalışması kapsamında deterministtik fizik tabanlı bir metasezgisel olan YAA algoritması jeofizik problemlerini çözmesi üzerinde çalışmalar yapılmıştır.

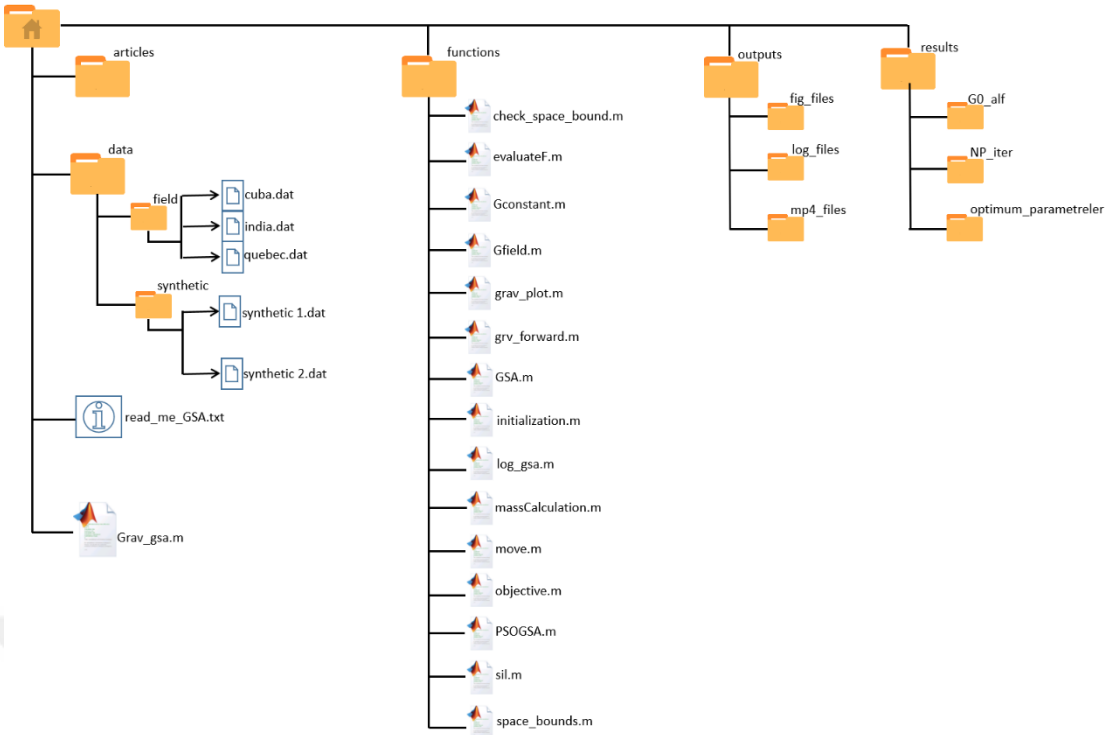


Şekil 5.2. Metasezgisellerin sınıflandırılması (Mirjalili ve Levwis, 2016'dan uyarlanmıştır.)

6. Grav_GSA

Yerçekimsel arama algoritması için geliştirilen MATLAB tabanlı kodlar, şekil 6.1'de basit bir klasör yapısı ile gösterilmektedir. Bütün dosyalar, ana klasör; "C:\Grav_GSA" altında toplanmıştır.

Ana klasör (*Grav_GSA*), Grav_gsa adlı bir m, bir *read_me_GSA* adlı txt, *articles* (makaleler), data (veri), *functions* (fonksiyonlar), *outputs* (çıkışlar), ve *results* (sonuçlar) olmak üzere beş klasörden oluşmaktadır. *Articles* klasörü tez çalışmasında önemli yer tutan makalelere yer verilmiştir. Data klasörü, *synthetic* (sentetik ve\veya kuramsal) ve *field* (alan) olmak üzere iki alt klasörden oluşmaktadır. *Functions* klasörü ise parametre kestirimi için gerekli olan on beş ayrı alt dosyadan meydana gelmiştir. Bu dosyalar YAA algoritmasıyla istediğimiz problemleri test ederek çözmemize yardımcı olmak için oluşturulmuştur. *Outputs* klasörü ise değerlendirme sonucunda elde edilen log dosyalarını (l*og_files*), şekilleri (*fig_files*) ve video dosyalarının (*mp4_files*) ayrı ayrı kaydedildiği klasörlerdir. *Results* klasörü içerisinde, *G0_alf, NP_iter* ve *optimum_parametreler* olmak üzere üç ayrı alt klasör bulunmaktadır. Bu klasörlerin içerisinde parametre ayarlama çalışmalarına ait sonuçlar bulunmaktadır.



Şekil 6.1. Grav_GSA algoritmasının şematik klasör gösterimi

Hem sentetik (*synthetic1.dat ve synthetic2.dat*) hem de alan verisi (cuba*.dat, india.dat ve quebec.dat*) dosyaları sırasıyla data klasörünün altındaki *synthetic* ve *field* alt klasörlerinde bulunmaktadır. *Functions* klasörünün içerinde ise, şekil 6.1'de de görüldüğü gibi alfabetik sıraya göre *.m uzantılı alt dosya bulunmaktadır. Bunlar sırasıyla; *check_space_bound.m, evaluateF.m, Gconstant.m, Gfield.m, grav_plot.m, grv_forward.m, GSA.m, initialization.m, log_gsa.m, massCalculation.m, move.m, objective.m, PSOGSA.m, sil.m ve space_bounds.m* dosyalarıdır. *.m uzantılı dosyalar YAA probleminin çözümünde bize yardımcı olacak olan orijinal kodlamadan yararlanarak uyarladığımız kodlamalardır. *Outputs* klasörü içerisinde yer alan, *fig_files* klasörünün içerisinde bilimsel problemin *MATLAB* programını çalıştırdığımızda elde edilen şekillerin kaydedilmesi sonucu oluşturulmuştur. *log_files* klasöründe ise değerlendirme parametre ve sonuçlarını içeren log dosyaları saklanmaktadır.

Algoritma içerisinde yanılgı enerjisi aşağıdaki eşitlik kullanılarak hesaplanmaktadır.

$$\phi = \frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N}(g_i^{obs} - g_i^{cal})^2 \tag{6.1}$$

Burada *N;* veri sayısını, *i;* gözlemleri, g^{obs} ve g^{cal} gözlenen ve hesaplanan değerleri göstermektedir. Bu çalışma kapsamındaki RMS (kök-ortalama karesi) değeri, yukarıdaki eşitliğin karekökü (6.2) kullanılarak alınmıştır.

$$\phi = \sqrt{\frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N}(g_i^{obs} - g_i^{cal})^2} \tag{6.2}$$

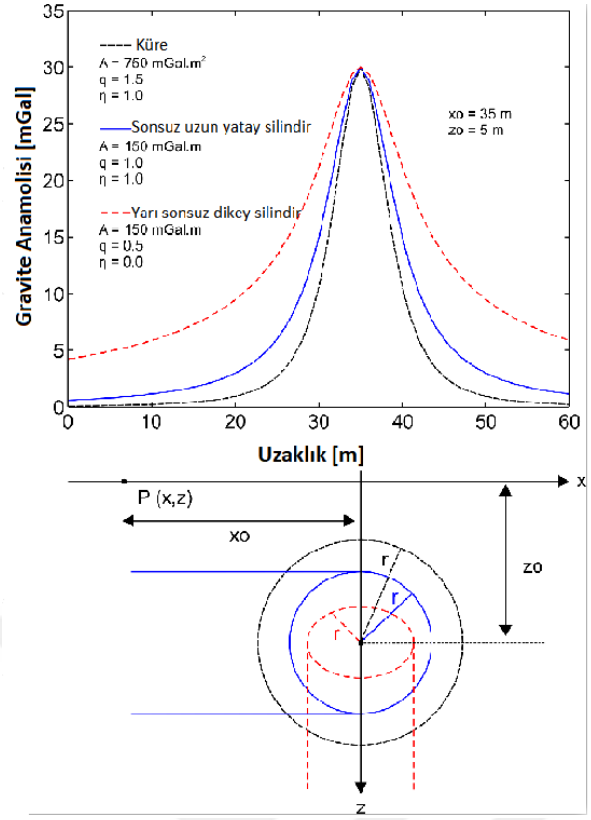
Çizelge 6.1. *Grav_GSA* klasörü içerisinde kullanılan bazı parametre ve kullanım şekilleri

Parametre	***Opsiyon***	***Açıklama***
sol	1	Düz çözüm
	2	Ters çözüm
	3	Yanılgı enerji haritası
fname	1	Sentetik (kuramsal) verisi için (1)
	2	Alan verisi için (2)
*f*_index	1	Çözüm yöntemi GSA için (1)
	2	Başka bir metasezgisel eklenmesi durumu (2)
N_run	-	Bağımsız çalışma sayısı
G_0	-	G değişimi
α	-	α değişimi
Np	-	Birey sayısı değişimi
plt	0	Bağımsız her bir çalışma sonucundaki çizim
	1	Her bir çalışmada her bir birey için eşzamanlı çizim
vid	0	Kayıt yok
	1	Kayıt var

7. UYGULAMALAR

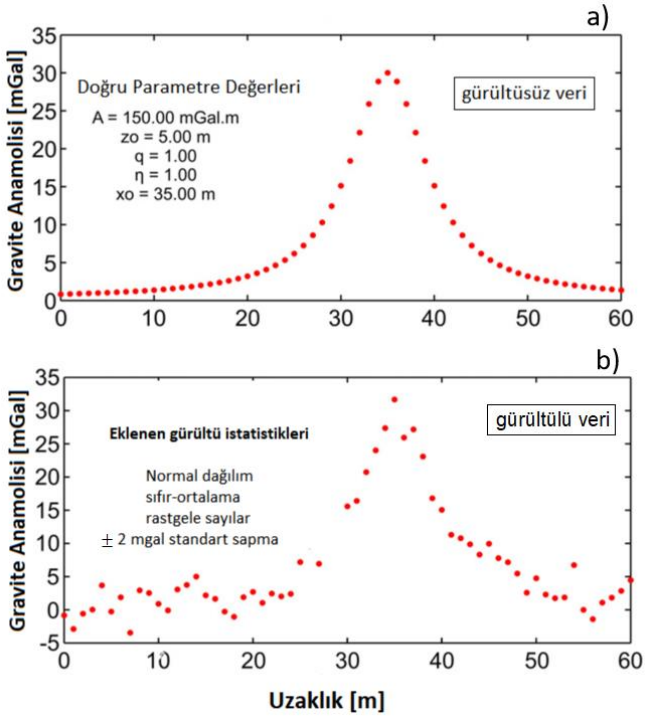
Bu tez çalışması kapsamında, YAA algoritmasından yararlanarak model parametre kestirimini kullanarak iki kuramsal bir arazi verisi değerlendirilmiştir. Kuramsal veri için, Np (birey sayısı) belirlenerek G için optimum (uygun değer) G_0 ve α değerlerinin değişimleri araştırılmıştır. Oluşturulan kuramsal veriye daha sonrasında gürültü eklenerek, gürültülü hale getirilen verinin çözümü içerisindeki etki ve algoritmanın çözüm gücü de ayrı ayrı test edilip incelenmiştir. Arazi verisi ise, Kanada'nın Québec bölgesinde yer alan metal sülfit yatağı üzerinde ölçülen anomali kapsamında alınarak YAA üzerinde test edilmiştir. Kuramsal verilerin test aşamasında her biri birbirinden bağımsız olarak yapılan 100 ayrı çalışma sonucunda elde edilen en iyi çözüm optimum çözüm olarak kabul edilmiştir. Yapılan arazi ve kuramsal veri çalışmaları için YAA algoritmasında ön tanımlı bir maksimum yineleme sayısı kullanılmıştır.

Bu tez çalışması kapsamında, Ekinci vd., (2016)'nin çalışmalarında kullandıkları kuramsal ve alan veri kümeleri kullanılmıştır. Söz konusu çalışmada, rezidüel gravite anomalilerinden parametre kestirimi için FE algoritması uygulanarak bağıntı 4.14'de verilen model parametreleri A, q, η, z_0, x_0 kestirilmiştir. Şekil 7.1, düz çözüm bağıntısı kullanılarak üretilen bazı kuramsal anomalileri göstermektedir. Değerlendirmede ayrıca sıfır ortalamalı ve standart sapması $\pm$ 2 olan rastgele sayılardan oluşan bir gürültü içeriğinin etkisi de araştırılmıştır.



A: Genlik kat sayısı [mGal m^{2q-n}]
z_0: Nedensel kaynağın derinliği [m]
x: Gözlem hattı boyunca yatay uzaklık [m]
q ve η: Şekil faktörleri
x_0: Nedensel cismin yeri [m]

Şekil 7.1. Fiziksel modeller ve bunlara karşılık gelen kuramsal anomaliler (Ekinci vd., 2016'dan uyarlanmıştır)



Şekil 7.2. a) Doğru parametrelerle elde edilen gürültüsüz kuramsal veri b) Eklenen gürültü sonucunda elde edilen kuramsal veri (Ekinci vd., 2016'dan uyarlanmıştır)

7.1. Kuramsal Çalışma

Metasezgisel algoritmaların büyük bir çoğunluğu doğadan etkilenerek oluşturulurken her bir algoritmaya özgü birtakım parametreler bulunmaktadır. Kullanıcı tanımlı bu parametreler metasezgisel algoritmaların performanslarını ve başarılarını önemli ölçüde etkilemektedir (Yang, 2014, s. 38). En iyi sonucu üretmek için kullanılan bu parametreler ve/veya parametre uygulamaları, optimizasyon problemlerinin çözümünün araştırılmasında büyük rol oynamaktadır. Metasezgisel algoritmaların genelinde matematiksel arka planlarında bulunan yoğun hesaplamalar nedeniyle kontrol parametrelerinin belirlenmesi ilgilenilen problemin çözümünden bağımsız bir araştırma süreci gerektirmektedir. Bu çalışma sürecini daha hızlı bir hale getirebilmek için araştırmacılar, üzerinde çalışacakları problem ile ilgili parametreleri algoritma içerisine uyarlayarak otomatik çalıştırma süreci içerisine girmişlerdir. Bu tez çalışması kapsamında daha önceden de belirtilmiş olduğu gibi YAA algoritmasının *Np*, *İter*, G_0 ve α olmak üzere dört parametre değerinin kullanıcı tarafından belirlenmesi gerekmektedir. Yapmış olduğumuz çalışmada, YAA algoritmasını değerlendirerek model parametre kestiriminin fazla olması ve düz çözüm bağıntısının hesaplanmasında her ne kadar matematiksel arka plana ve bilgisayara bağlı olmuş olsa dahi fazla zaman harcayarak parametre araştırması gerçekleştirilmiştir. Çizelge 7.1'in çeşitli *Np*, *İter*, G_0 ve α parametreleri kullanılarak yaptığımız değerlendirmelerin sonuçlarını göstermektedir.

7.1.1. Gürültüsüz Veri

Gürültüsüz veri araştırması kapsamında gerçekleştirilen her dört parametre için atanan değerler sırasıyla araştırılmıştır, ilk olarak G_0: 50, 100, 200, 400, 600, 800, 1000 ve α: 0.5, 1, 2, 4, 5, 6, 8, 10, 20 parametre değeri için geliştirilen MATLAB programı çalıştırılmıştır. Kuramsal anomali A = 150 mGal, z_0 =5 m, q = 1, η = 1, x_0 = 35 m kullanılarak elde edilmiştir. Parametre uzayı değerleri sırasıyla $A \in$ (0-500), $z_0 \in$ (0-10), $q \in$ (0-1.5), $\eta \in$ (0- 1.5) ve $x_0 \in$ (0-50) olarak seçilmiştir. Bu araştırmalar sonucunda elde edilen çözümlerin en iyi model parametre değerleri ve *RMS* minimim, maksimum, ortalama ve standart sapma

değerleri dikkate alınarak her bir G_0 kütlesi için 90 farklı α değeri arasında belirlenen en iyi parametre değerleri çizelgelerde koyu renkli olarak gösterilirken toplam değerler arasından seçtiğimiz en iyi (en iyileme) değerler kırmızı renk ile gösterilmiştir.

Çizelge 7.1. G_0 ve α parametrelerinin çözüm üzerindeki etkileri araştırılırken, birey satısı 25, iterasyon sayısı 200, iterasyonun her bir yineleme sayısı 10 olarak belirlendi. G_0 ve α değerleri test edildi.

G_0	α	**Model parametereleri**				
		A [mGal m$^{2q-\eta}$]	**zo [m]**	***q***	**η**	**xo [m]**
50	**0.5**	**259.215**	**5.067**	**1.022**	**0.717**	**35.006**
	1	292.587	5.136	1.034	0.677	35.045
	2	233.978	5.014	1.000	0.726	35.014
	4	290.450	5.794	1.142	0.979	34.971
	5	307.181	5.005	1.001	0.557	35.001
	6	311.373	7.806	1.124	0.998	35.330
	8	292.333	6.822	0.918	0.605	33.346
	10	467.150	9.639	0.837	0.287	32.919
	20	468.288	9.995	0.825	0.319	34.000
100	0.5	299.126	4.720	0.961	0.454	34.929
	1	276.160	4.919	0.987	0.581	35.032
	2	**245.461**	**4.919**	**0.986**	**0.653**	**34.969**
	4	295.756	5.156	1.029	0.660	35.000
	5	339.292	5.720	0.996	0.534	34.498
	6	312.032	5.648	1.140	0.921	35.002
	8	272.919	5.383	1.074	0.830	34.994
	10	317.476	4.671	0.989	0.488	34.533
	20	323.109	9.939	0.958	0.605	36.427
200	0.5	212.448	5.025	1.030	0.843	35.018
	1	321.903	5.425	1.076	0.740	35.062
	2	**246.504**	**5.291**	**1.048**	**0.825**	**34.974**
	4	308.712	5.066	1.011	0.585	35.013
	5	339.090	4.906	0.980	0.437	35.000
	6	253.755	5.344	1.071	0.864	35.001
	8	313.024	3.988	0.900	0.244	34.649
	10	348.018	5.687	1.062	0.688	35.109
	20	311.030	5.997	0.896	0.464	35.710
400	0.5	176.672	4.680	0.957	0.777	34.921
	1	217.895	5.490	1.069	0.954	35.040
	2	176.775	4.654	0.969	0.798	34.961
	4	**250.524**	**4.882**	**0.978**	**0.618**	**34.987**
	5	272.660	5.132	1.031	0.710	35.002
	6	189.260	5.036	1.008	0.876	34.994
	8	205.227	4.441	0.893	0.506	35.000
	10	199.580	4.844	0.970	0.742	34.998
	20	242.125	4.704	0.889	0.349	35.591
500	0.5	358.754	5.094	1.025	0.538	34.958
	1	172.744	4.829	0.968	0.823	34.993
	2	221.997	4.619	0.928	0.566	34.957
	4	237.593	5.115	1.032	0.798	35.036
	5	**266.924**	**5.092**	**1.018**	**0.691**	**35.000**
	6	170.331	4.801	0.963	0.821	34.991
	8	265.816	4.841	0.967	0.558	34.997
	10	236.324	4.258	0.864	0.317	34.987
	20	229.484	5.700	0.860	0.430	36.320

Çizelge7.1. G_0 ve α parametrelerinin çözüm üzerindeki etkileri araştırılırken, birey satısı 25, iterasyon sayısı 200, iterasyonun her bir yineleme sayısı 10 olarak belirlendi. G_0 ve α değerleri test edildi (Devamı).

G_0	α	Model parametereleri				
		A [mGal $m^{2q-\eta}$]	zo [m]	q	η	xo [m]
800	0.5	142.207	4.299	0.959	0.912	35.111
	1	235.504	5.541	1.081	0.957	34.852
	2	**308.994**	**4.836**	**0.929**	**0.374**	**35.034**
	4	224.007	5.152	1.035	0.840	34.973
	5	149.264	4.967	0.990	0.980	34.990
	6	200.908	5.190	1.037	0.915	35.009
	8	143.945	4.806	0.962	0.929	35.010
	10	146.735	5.371	0.928	0.793	34.434
	20	199.416	5.711	0.940	0.733	34.337
1000	0.5	189.794	5.049	0.959	0.784	35.212
	1	203.720	5.135	1.001	0.802	34.925
	2	**187.238**	**4.978**	**1.026**	**0.931**	**35.048**
	4	197.692	4.786	0.943	0.674	34.963
	5	174.578	4.856	0.975	0.836	34.969
	6	147.616	4.957	0.988	0.981	34.997
	8	206.493	4.977	0.977	0.738	35.002
	10	233.815	4.846	0.970	0.639	35.003
	20	84.995	2.601	0.593	0.182	34.631

Çizelgedeki karşılaştırma kapsamında her bir kütle için 630 kere çalıştırıldı ve en iyi G_0 ve α değerleri 500 ve 5 olarak belirlendiği Çizelge 7.1'de görülmektedir. Şekil 7.2'de (a) kuramsal anomaliyi, (b) yanılgı enerjisinin her bir yinelemedeki değişimini ve (c) ise G'nin her bir yinelemedeki değişimini göstermektedir. Elde edilen sonuçlar Çizelge 7.2'de verilmiştir.

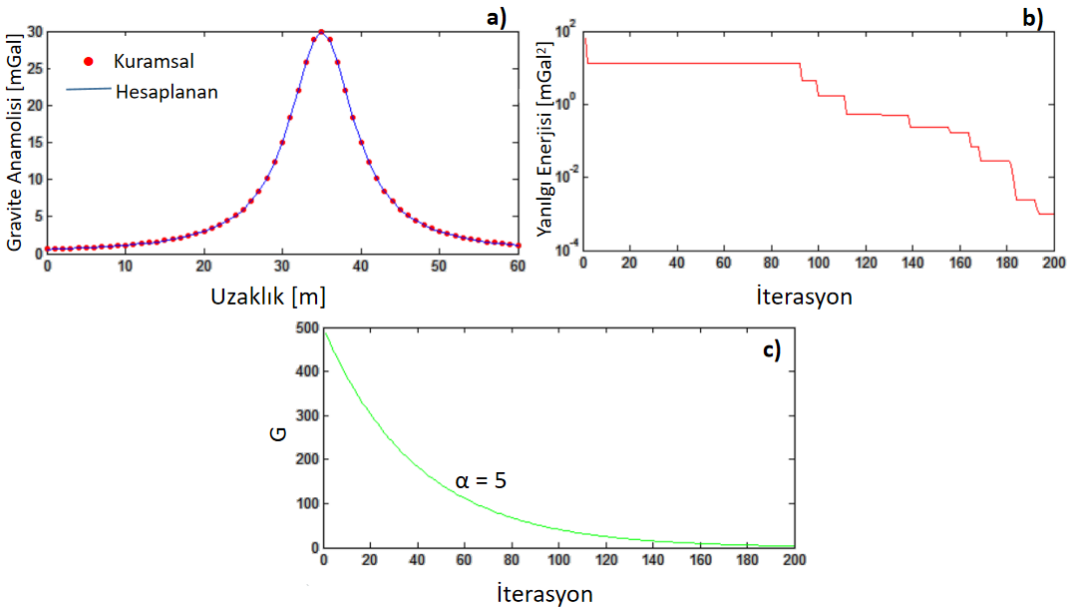
Çizelge 7.2. Farklı G_0 ve α parametrelerinin çözüm üzerindeki etkileri. Değerlendirmede birey sayısı 25, iterasyon sayısı 200, YAA'nın bağımsız çalışma sayısı ise 10'dur. Algoritmanın ortalama zamanın saptanması.

$G0$	α	rms [mGal]				Ort. Zaman
		Min.	Max.	Ortalama	Std. Sap.	
50	**0.5**	**5.96e-02**	**3.83e-01**	**2.56e-01**	**1.11e-01**	**0.91**
	1	1e-01	3.84	5.94e-01	1.15	0.91
	2	2.59e-02	6.43	8.52e-01	1.98	0.91
	4	2.59e-01	6.58	4.64	2.06	1.42
	5	3.40e-03	6.10	4.35	1.80	1.53
	6	1.89	5.40	4.23	9.84e-01	1.27
	8	3.23	5.77	4.98	7.55e-01	1.53
	10	4.50	5.82	5.35	4.06e-01	1.54
	20	4.71	5.50	5.20	2.31e-01	1.50

Çizelge 7.2. Farklı G_0 ve α parametrelerinin çözüm üzerindeki etkileri. Değerlendirmede birey sayısı 25, iterasyon sayısı 200, YAA'nın bağımsız çalışma sayısı ise 10'dur. Algoritmanın ortalama zamanın saptanması. (Devamı)

G0	***α***	**rms [mGal]**				**Ort. Zaman**
		Min.	**Max.**	**Ortalama**	**Std. Sap.**	
100	0.5	1.83e-01	7.21e-01	4.05e-01	1.60e-01	1.49
	1	6.88e-02	4.85e-01	2.44e-01	1.23e-01	1.45
	2	**5.96e-02**	**2.78e-01**	**1.64e-01**	**8.11e-02**	**1.46**
	4	5.91e-02	5.45	1.93	2.23	1.46
	5	1.12	6.29	3.42	1.80	1.47
	6	2.21e-01	6.05	3.40	2.03	1.47
	8	1.28e-01	5.02	2.82	1.56	1.46
	10	8.81e-01	6.00	4.71	1.51	1.46
	20	4.33	5.83	5.13	5.07e-01	1.46
200	0.5	2.14e-01	9.64e-01	5.92e-01	2.33e-01	1.30
	1	1.70e-01	2.02	5.04e-01	5.62e-01	1.43
	2	**1.12e-01**	**4.20e-01**	**2.36e-01**	**1.00e-01**	**1.44**
	4	3.13e-02	4.64	5.73e-01	1.43	1.67
	5	3.61e-02	3.16	4.05e-01	9.69e-01	1.42
	6	1.19e-01	4.81	1.69	1.96	1.71
	8	1.69	5.09	3.57	1.19	1.64
	10	4.32e-01	5.64	3.24	1.56	1.52
	20	2.13	6.08	4.76	1.33	1.47
400	0.5	1.92e-01	1.37	7.21e-01	3.71e-01	1.41
	1	2.45e-01	9.62e-01	6.01e-01	2.40e-01	1.43
	2	2.32e-01	2.25	5.58e-01	6.23e-01	1.43
	4	**5.03e-02**	**6.27e-01**	**2.58e-01**	**1.54e-01**	**1.42**
	5	5.98e-02	2.54	8.30e-01	9.88e-01	1.42
	6	1.75e-02	3.90	9.52e-01	1.30	1.43
	8	2.14e-01	4.17	2.00	1.59	1.41
	10	5.59e-02	5.37	2.34	1.83	1.43
	20	1.43	5.75	3.66	1.47	1.42
500	**0.5**	**2.25e-01**	**1.37**	**8.09e-01**	**4.17e-01**	**1.42**
	1	1.05e-01	1.51	7.52e-01	4.55e-01	1.61
	2	2.41e-01	9.76e-01	4.79e-01	2.12e-01	1.42
	4	9.02e-02	4.39e-01	2.49e-01	9.90e-02	1.42
	5	3.20e-02	2.47e-01	1.50e-01	7.92e-02	1.41
	6	7.49e-02	1.35	4.27e-01	4.54e-01	1.42
	8	5.76e-02	4.55	1.90	1.73	1.43
	10	2.88e-01	3.33	1.57	1.24	1.42
	20	2.36	5.261	3.93	8.17e-01	1.44
800	0.5	6.99e-01	1.79	1.23	3.94e-01	1.43
	1	3.79e-01	1.33	8.19e-01	3.15e-01	1.30
	2	**2.52e-01**	**8.93e-01**	**5.94e-01**	**2.14e-01**	**1.45**
	4	8.38e-02	2.07	5.06e-01	5.86e-01	1.44
	5	2.86e-02	2.92	4.43e-01	8.77e-01	1.45
	6	6.72e-02	1.18	3.05e-01	3.30e-01	1.44
	8	7.45e-02	5.07	6.91e-01	1.54	1.45
	10	1.49e-01	1.82	8.09e-01	6.30e-01	1.44
	20	1.37	5.38	3.39	1.19	1.44
1000	0.5	5.36e-01	2.15	1.32	4.83e-01	1.46
	1	4.13e-01	1.73	9.19e-01	4.13e-01	1.44
	2	**2.73e-01**	**9.63e-01**	**5.41e-01**	**2.23e-01**	**1.45**
	4	1.88e-01	2.04	4.85e-01	5.60e-01	1.44
	5	8.39e-02	1.59	3.54e-01	4.53e-01	1.44
	6	2.73e-02	3.04	4.43e-01	9.19e-01	1.44
	8	4.40e-02	1.23	3.93e-01	3.79e-01	1.44
	10	5.70e-02	1.95	3.83e-01	5.61e-01	1.45
	20	1.34	5.87	4.11	1.47	1.44

Bu işlemler sonucunda kırmızı renk ile gösterilen optimum model parametreleri algoritmanın 10 bağımsız çalışması dikkate alındığında ortalama 1.42 saniye olarak hesaplanmıştır. Bulunan ortalama zaman, metasezgisel algoritmaların çözüme ulaşabilmeleri açısından makul olarak kabul edilebilir bir zaman dilimidir. G_0 ve α optimum değerleri kullanılarak ve 200 iterasyon sonunda elde edilen gravite anomalisi, yanılgı enerjisi ve G'nin ber bir iterasyondaki değişimleri Şekil 7.3'te sunulmuştur.



Şekil 7.3. a) Gözlenen ve hesaplanan kuramsal anomalilerin karşılaştırılması b) Yanılgı enerjisinin iterasyon ile değişimi c) G'nin her bir iterasyondaki değişimi

Şekle bakıldığı zaman hesaplanan gravite anomalisinin kuramsal anomaliyle uyumlu olduğu gözlemlenmektedir. Elde edilen sonuçlar, algoritmanın görece yüksek iterasyon değerleriyle daha başarılı kestirim değerleri üretebileceğini göstermektedir.

Kuramsal gravite anomalisini değerlendirmek amacıyla YAA algoritmasının kontrol parametreleri için (G_0 ve α) en uygun değerler seçildikten sonra birey sayısının çözüm üzerindeki etkisi de araştırılmıştır. Bu amaç için, farklı iterasyon sayıları dikkate alınarak (200, 400, 600, 800 ve 1000) optimum Np (15, 25, 50, 75 ve 100) parametre değerleri araştırılmış ve YAA algoritması birbirinden bağımsız 500 defa çalıştırılmıştır. Bunlar arasında belirlenen en iyi

parametre değerleri çizelgede koyu renkli olarak gösterilirken en iyi değerlerler kırmızı renk ile gösterilmiştir (bkz. Çizelge 7.3). Bu parametrelerin araştırılmasında her bir çalıştırmada aynı başlangıç topluluğu kullanılmıştır.

Çizelge 7.3. Farklı Np ve iterasyon parametrelerinin çözüm üzerindeki etkileri. Değerlendirmede iterasyon sayısı 200, G_0 = 500, α = 5, YAA'nın birbirinden bağımsız çalışma sayısı 500'dür.

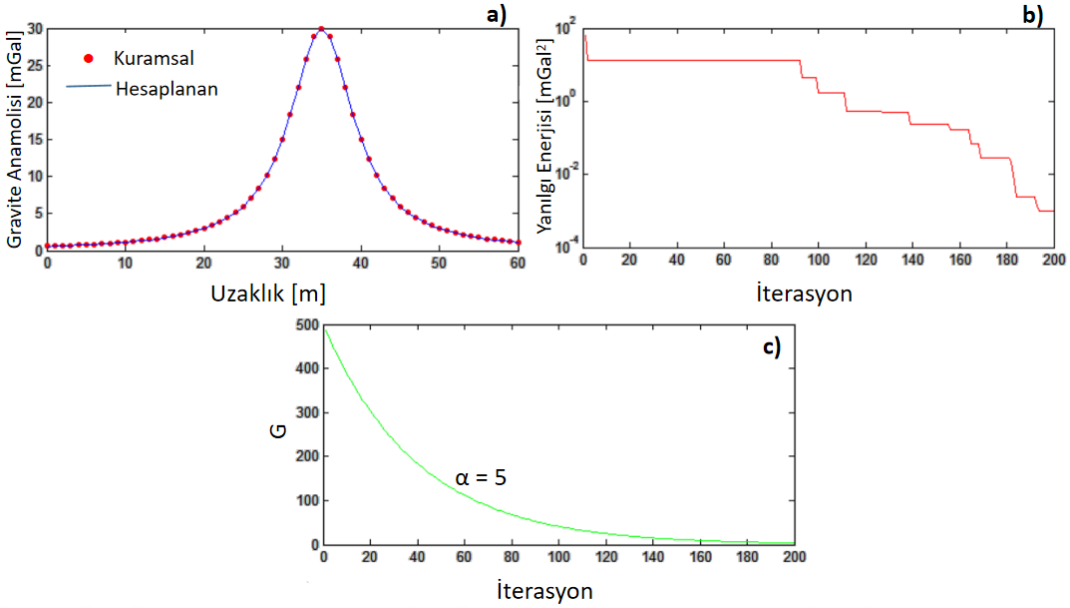
Np	***N_iter***	***Model Parametreleri***				
		A [mGal m$^{2q-\eta}$]	**zo [m]**	***q***	**η**	**xo[m]**
15	200	202.304	4.979	0.995	0.802	34.995
	400	**206.751**	**5.093**	**1.017**	**0.845**	**35.022**
	600	253.966	5.014	0.999	0.674	34.999
	800	176.458	5.010	1.001	0.903	34.997
	1000	201.575	4.959	0.991	0.793	34.998
25	**200**	**242.525**	**5.067**	**1.011**	**0.733**	**35.012**
	400	225.932	5.026	1.003	0.755	34.991
	600	172.136	5.023	1.004	0.925	34.996
	800	170.105	4.999	0.999	0.918	34.997
	1000	293.181	4.979	0.996	0.572	35.000
50	200	306.275	4.932	0.987	0.517	34.998
	400	159.301	4.954	0.991	0.940	35.000
	600	**148.960**	**4.960**	**0.992**	**0.984**	**35.002**
	800	162.308	4.099	0.993	0.933	35.004
	1000	169.379	4.993	0.999	0.922	34.998
75	200	302.112	4.972	0.994	0.548	35.004
	400	**203.292**	**5.001**	**1.001**	**0.813**	**34.995**
	600	143.324	4.952	0.986	0.995	34.991
	800	185.562	4.990	0.100	0.865	34.998
	1000	161.386	4.995	0.999	0.953	34.999
100	**200**	**178.094**	**5.005**	**1.000**	**0.894**	**34.997**
	400	168.565	4.912	0.983	0.884	34.990
	600	116.092	4.685	0.935	0.998	35.020
	800	198.629	4.998	0.999	0.824	35.001
	1000	212.751	4.997	1.000	0.782	34.999

Kütle sayısı arttıkça algoritmanın hesaplama zamanında da artış gözlemlenmiştir. Bu duruma etki eden sebepler problemin boyutu ve düz çözümün hesaplanması hususunda en iyi değer (*Np* = 25) için bile yaklaşık olarak 1.5 saniye civarında bir hesaplama süresi gerektiği gözlemlenmiştir. Bulunan bu ortalama hesaplama süresi metasezgisel algoritmalar açısında ortalama bir hesaplama süresi olarak kabul görebilir bir değerde olduğu gözlemlendi. Kullanılan algoritmanın kütle sayısına bağlı olan ortalama çözüm süresine bakıldığında kullanılacak olan *Np* değeri 25 ve *iter* değeri 200 olarak kabul edildi (bkz. Çizelge 7.4'teki kırmızı değerler).

Çizelge 7.4. Farklı Np ve iterasyon parametrelerinin çözüm üzerindeki etkileri. Değerlendirmede iterasyon sayısı 200, G_0 = 500, α = 5, YAA'nın birbirinden bağımsız çalışma sayısı 500'dür.

Np	*N_iter*	*RMS [mGal]*				*Ort.zaman [sn]*
		Min.	**Max.**	***Ort.***	**Std. Sap.**	
15	200	1.43e-02	2.69e+00	3.84e-01	5.82e-01	0.86
	400	**5.00e-02**	**3.60e-01**	**1.90e-01**	**1.01e-01**	**1.71**
	600	2.25e-02	2.91e-01	1.02e-01	9.31e-02	2.59
	800	1.25e-02	3.77e-01	1.52e-01	9.50e-02	3.45
	1000	1.77e-02	2.33e-01	1.12e-01	6.63e-02	4.33
25	**200**	**3.08e-02**	**3.10**	**3.18e-01**	**6.63e-01**	**1.48**
	400	2.47e-02	4.61e-01	1.51e-01	1.10e-01	2.96
	600	1.08e-02	3.39e-01	1.08e-01	7.95e-02	4.44
	800	9.61e-03	2.83e-01	7.91e-02	7.58e-02	5.86
	1000	7.97e-03	2.69e-01	9.12e-02	6.40e-02	7.23
50	200	3.03e-02	1.55	2.34e-01	3.23e-01	3.16
	400	1.66e-02	3.82e-01	1.64e-01	9.82e-02	6.32
	600	**1.72e-02**	**3.86e-01**	**1.60e-01**	**9.91e-02**	**9.40**
	800	1.76e-02	4.97e-01	1.51e-01	1.35e-01	12.64
	1000	4.60e-03	3.28e-01	1.01e-01	9.17e-02	15.62
75	200	1.34e-02	2.73e-01	1.20e-01	6.49e-02	5.29
	400	**8.49e-03**	**3.60e-01**	**1.58e-01**	**1.06e-01**	**10.59**
	600	3.40e-02	4.56e-01	1.81e-01	1.28e-01	15.85
	800	1.10e-02	3.21e-01	1.01e-01	8.69e-02	21.19
	1000	4.43e-03	3.24e-01	1.19e-01	1.07e-01	26.45
100	**200**	**8.47e-03**	**1.93e-01**	**1.11e-01**	**5.72e-02**	**7.94**
	400	3.52e-02	3.24e-01	1.57e-01	8.79e-02	15.85
	600	3.80e-02	3.74e-01	1.81e-01	8.73e-02	23.72
	800	4.61e-03	3.21e-01	1.47e-01	1.09e-01	31.39
	1000	2.77e-03	3.31e-01	1.31e-01	1.01e-01	39.47

Bu işlemler sonucunda kırmızı renk ile gösterilen optimum model parametreleri algoritmanın 500 bağımsız çalışması dikkate alındığında ortalama 1.48 saniye olarak hesaplanmıştır. Bulunan ortalama zaman, metasezgisel algoritmaların çözüme ulaşabilmeleri açısından makul olarak kabul edilebilir bir zaman dilimidir. G_0 ve α optimum değerleri kullanılarak ve 200 iterasyon sonunda elde edilen gravite anomalisi, yanılgı enerjisi ve G'nin her bir iterasyondaki değişimleri Şekil 7.4'te sunulmuştur.

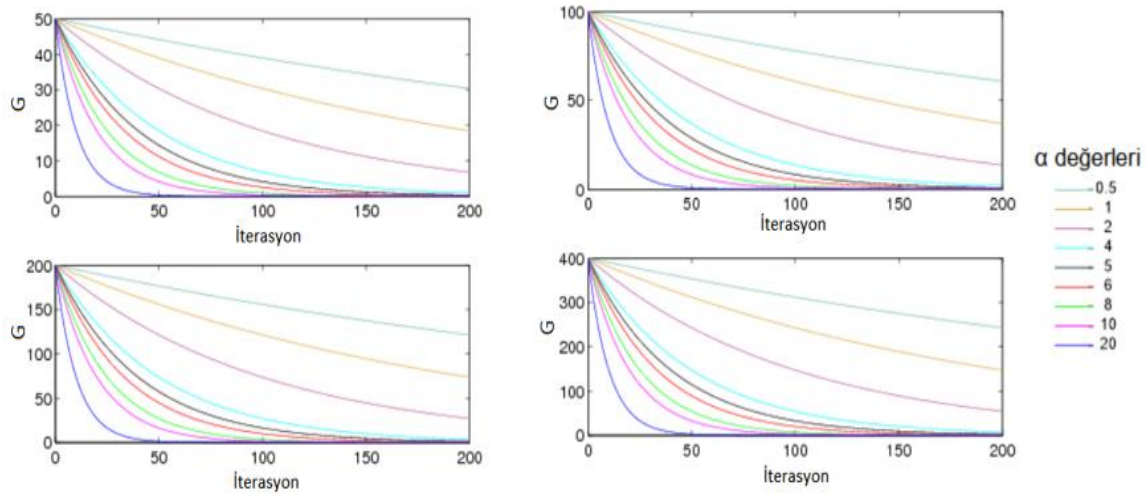


Şekil 7.4. a) Gözlenen ve hesaplanan kuramsal anomalilerin karşılaştırılması b) Yanılgı enerjisinin iterasyon ile değişimi c) *G*'nin her bir iterasyondaki değişimi

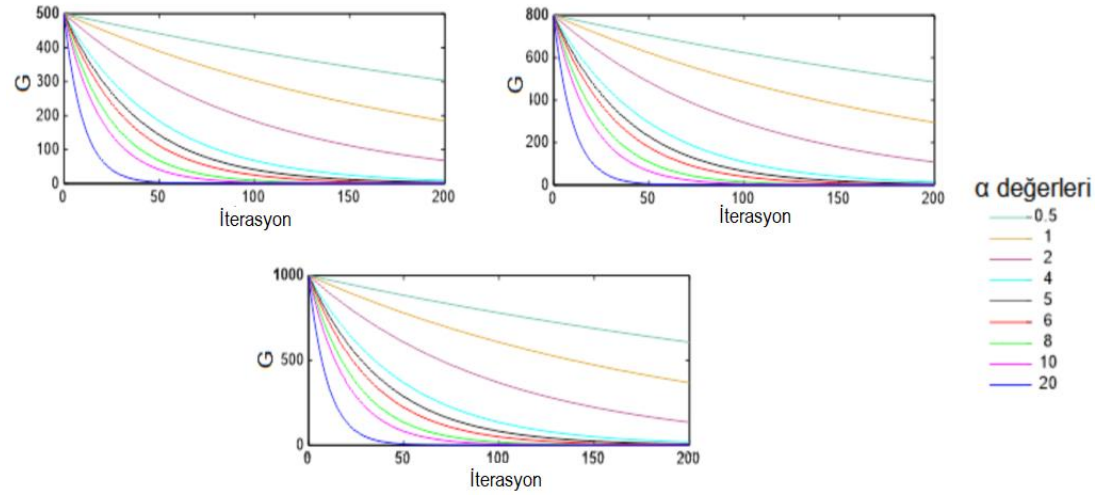
Kuramsal veri kümesinin YAA ile değerlendirilmesinden sonra elde edilen en iyi başlangıç değerleri G_0 ve α için (500-5), *iter* (200) ve en iyi *Np* değeri (25) belirlendikten sonra, topluluk temelli olan metasezgiselde iki önemli etken olan G_0 ve α için ayrıca bir araştırma gerçekleştirilmiştir. Bu hesaplama yapılırken 7.1 denklemi kullanılmıştır. Araştırmada, en uygun değerlerin belirlenmesi amacıyla her bir çalıştırmada aynı başlangıç topluluğu kullanılmıştır.

$$G(t) = G_o * e^{-\alpha \frac{t}{T}} \tag{7.1}$$

Elde edilen sonuçlar Şekil 7.5 ve 7.6'da grafik olarak sunulmuştur.



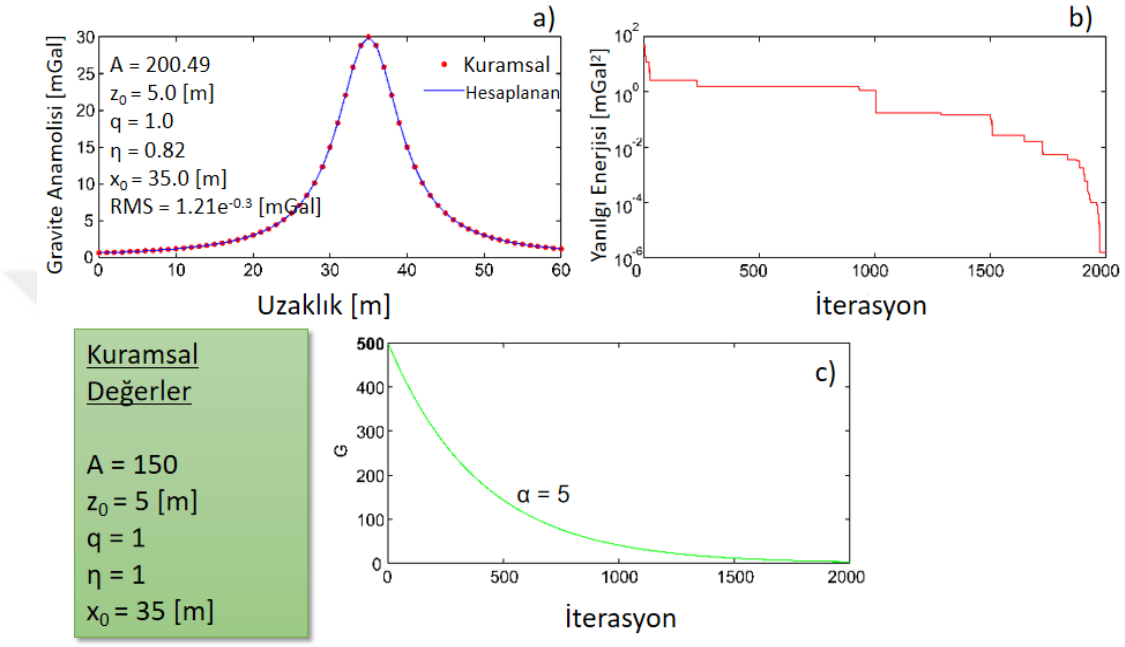
Şekil 7.5. Farklı başlangıç G (50, 100, 200, 400) değerlerinin her bir yinelemedeki değişimi.



Şekil 7.6. Farklı başlangıç G (500, 800, 1000) değerlerinin her bir yinelemedeki değişimi.

Parametre değerlerini belirlemek amacıyla, gerçekleştirilmiş olan çalışmalar sonucunda gürültüsüz kuramsal verinin optimum parametre değerleri ile seçilmiş olan model parametre değerlerinin birbirlerine yakın değerler olduğu gözlemlenmiştir (bkz. Şekil 7.7). Oluşturulan kuramsal veri ve hesaplanacak olan verilerin çözümünde yakınsama hızları araştırıldığında algoritmada kullanılan kütle sayısının istatiksel değerlendirmesini yapabilmek için bağımsız şekilde YAA algoritması 100 defa çalıştırıldı. Algoritma test aşamasındayken

iterasyon sayısı 200 olarak belirlenmişti ancak iterasyon sayısının artmasıyla YAA algoritmasının daha iyi sonuç verdiği gözlemlendikten sonra iterasyon sayısı 2000 olarak değiştirilmiştir. G_0, α ve N_p optimum değerleri kullanılarak ve 2000 iterasyon sonunda elde edilen gravite anomalisi, yanılgı enerjisi ve G'nin her bir iterasyondaki değişimleri Şekil 7.7'de sunulmuştur.



Şekil 7.7 a) Gözlenen ve hesaplanan kuramsal anomalilerin karşılaştırılması b) Yanılgı enerjisinin iterasyon ile değişimi c) G'nin her bir iterasyondaki değişimi

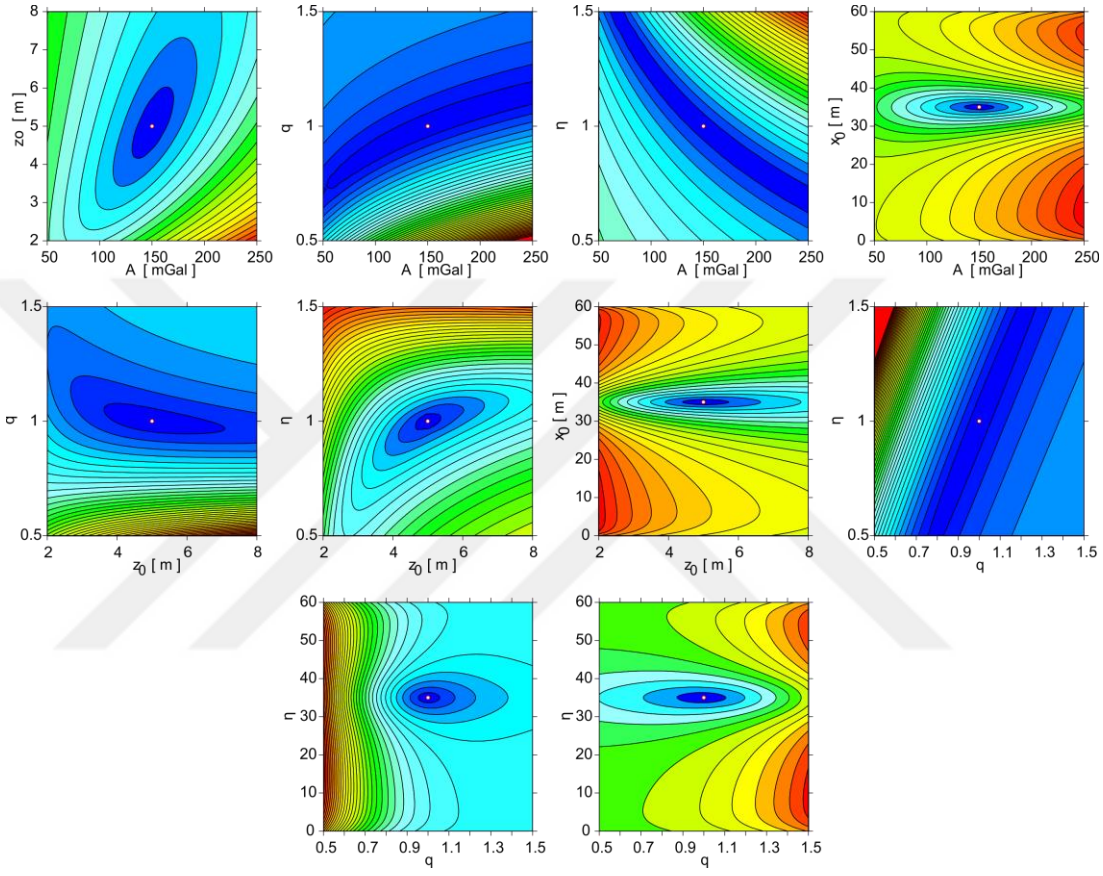
Ters çözüm ile hesaplanan parametrelerde belirli bir yanılgı enerji değeri bulunabilir. Ters çözüm sonucunda elde edilen belirli bir yanılgı enerjisi değerlerine ait konturun (eğrinin), parametre eksenlerinden herhangi birine göre genişliği ve biçimi o parametrenin hesabındaki belirsizliğin de bir ölçütü olarak görülmektedir. Eğer, bu konturlar dairesel görünümlü ise, kütle parametreleri birbiri ile ilişkili olup birbirinden bağımsız ve doğru şekilde çözülenebilmektedir. Yani iki parametre için de doğru çözüme ulaşır. Şekil 7.8'de de görülen z_0-A, q-z_0 ve η-z_0 yanılgı enerjisi kontur grafikleri bu dairesel görünümlü parametrelere örnek olarak gösterilmiştir. Yanılgı enerjisinin oluşturduğu konturlar eliptik şekilde ise, çözüm için dört olasılık oluşmaktadır. Elipsin uzun olan ekseni, birinci parametre eksenine paralel ise oluşan kütle

parametreleri birbiri ile ilişkili değildir ve bunun sonucunda ayrı ayrı çözülenmektedir. Bu çözüm sırasında birinci parametrenin çözüm aralığı ikinci parametrenin çözüm aralığından daha geniş yer kaplamaktadır bu yüzden duyarlılığı daha azdır. Elipsin uzun ekseni ikinci parametre eksenine paralel halde bulunuyorsa, bu sefer ikinci parametrenin çözüm aralığı birinci parametrenin çözüm aralığından daha duyarsızdır. Bu eliptik kontur grafiğine örnek olarak şekil 7.8'de gözlemlenen x_0-A, x_0-z_0, q-x_0 ve η-x_0 kontur grafikleri gösterilmektedir (Başokur, 2002).

Eliptik kontur eksenleri, parametre eksenleri ile açı yapıyorsa parametreler birbiri ile ilişkilidir. Yani bir parametre için bulunan değer diğer parametrenin sayısal değerine bağlı olduğunu ve ilişkili parametre değerlerinin toplamı ile çözüme ulaşırken çözüm ilişki sayısı negatif olduğu gözlenmiştir. Bir yanılgı enerjisi kontur üzerinde her değiştirdiğinde, bir parametrenin değeri artarken diğer parametrenin değerinde azalma meydana gelmektedir. Örnek olarak şekil 7.8'de yer alan η-A kontur haritası verilebilir. Bu çözüme benzer olarak birinci ve ikinci parametrelerin farkları çözümlenirken çözüm ilişkisi pozitif olduğu saptanmıştır. Bir diğer değişle bir parametrenin değeri artarken diğer parametrenin değerinde azalma gözlemlenir. Bu yanılgı enerjisine örnek olarak şekil 7.8'de yer alan q-A eliptik kontur grafiği gözlemlenmiştir (Başokur, 2002).

Yanılgı enerjisi konturları kapanmamakta yani doğrusal şekilde gözlemleniyor ise, araştırılan parametreler için bir çözüm bulunamaz. Birinci parametre değeri artarken ikinci parametre değeri azalmalı ya da tam tersi şeklinde artış ve azalış var ise, bu iki parametrenin sadece toplamları çözülenebilmektedir. İlişki katsayısı -1 olarak ifade edilmektedir. Yanılgı enerjisi konturundaki birinci parametre değeri artarken ikinci parametre değeri de artıyorsa parametrelerin oluşturduğu farklar çözümlenebilmektedir. Yani ayrı ayrı çözüm bulunamaz. İlişki katsayısı +1 olarak ifade edilir. Çözüm sırasında farklar sabit tutularak herhangi iki sayının çözümü bulunabilmektedir. Şekil 7.8'de yer alan q-η yanılgı enerji kontur haritası örnek gösterilebilir.

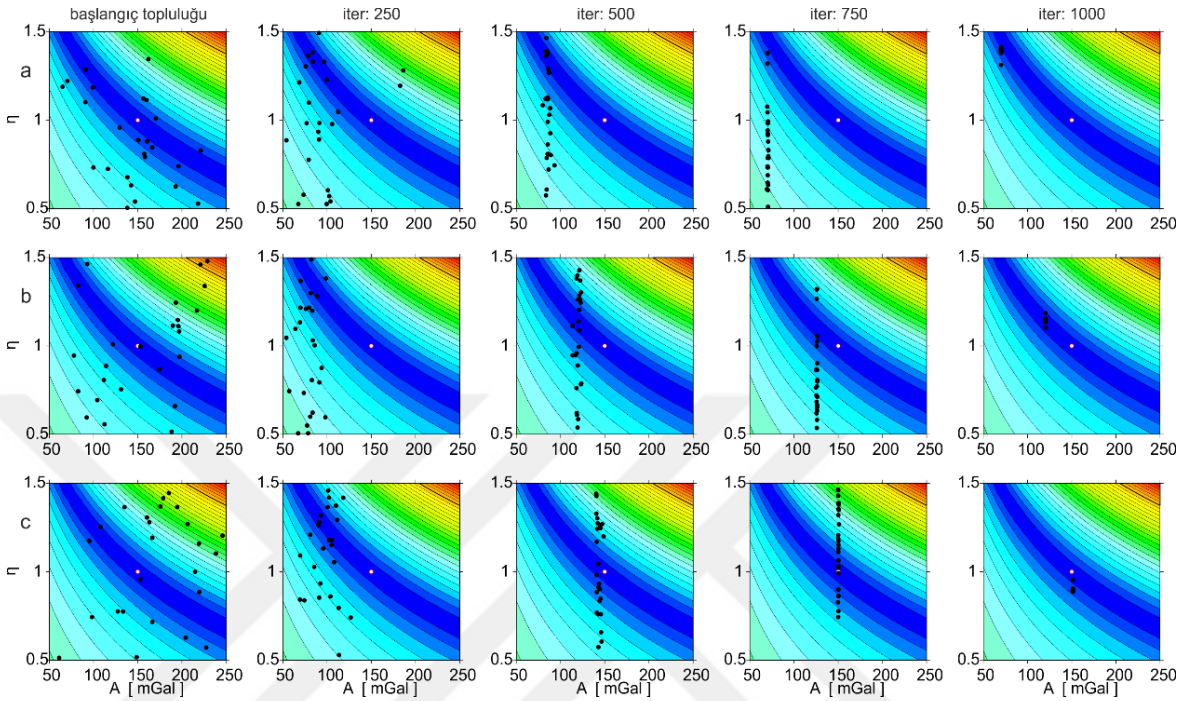
Kapanım yapmamakta olan diğer konturlara bakıldığında, eksenlerden birine paralel olarak uzanan parametrelerden biri çözülebilirken diğer parametre için çözüm kesinlikle yoktur. Kısacası hangi parametreye paralel uzanıyorsa o parametre çözümlenemezken diğer parametre belirli bir duyarlılıkta çözüm üretebilmektedir (Başokur, 2002).



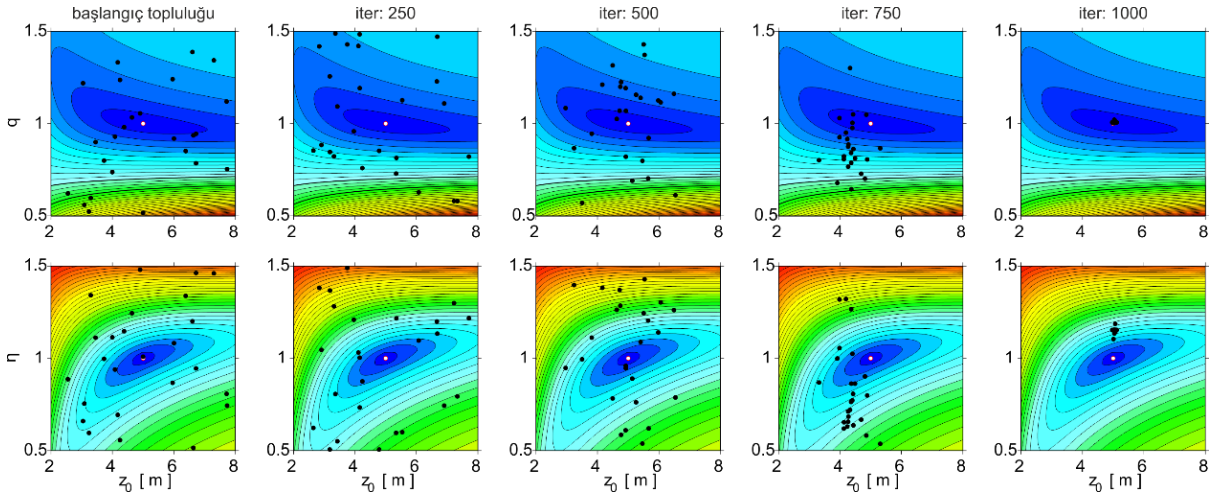
Şekil 7.8. Kuramsal anomali için bazı model parametre çiftlerinin yanılgı enerji haritaları

Seçmiş olduğumuz model parametrelerinin (A-η) yanılgı enerji haritalarının oluşturulması amacıyla iterasyon sayısı 1000 ve topluluk sayısı 25 olarak belirlenmiş ve birbirinden bağımsız olarak üç kez çalıştırılmıştır. Şekil 7.9, farklı başlangıç toplulukları kullanılarak bu üç çalıştırmadan elde edilen ve sırasıyla 250, 500, 750 ve 1000. iterasyonlarda her bir kütlenin yanılgı enerjisi üzerindeki konumlarını göstermektedir. Benzer olarak, z_0-q ve z_0-η parametre çiftleri için elde edilen sonuçlardan benzer örnekler Şekil 7.10'da verilmiştir. Buradan da açıkça görüldüğü gibi iterasyon sayısı arttıkça kütleler birbirlerine

ve optimum değerlere yaklaşmaktadır. Ayrıca, daha öncede değinildiği gibi, bu parametreler arasında çözüm belirsizliği en fazla A-η arasında gözlemlenmektedir. Zira bu parametreler arasında ters bir ilişki bulunmaktadır.



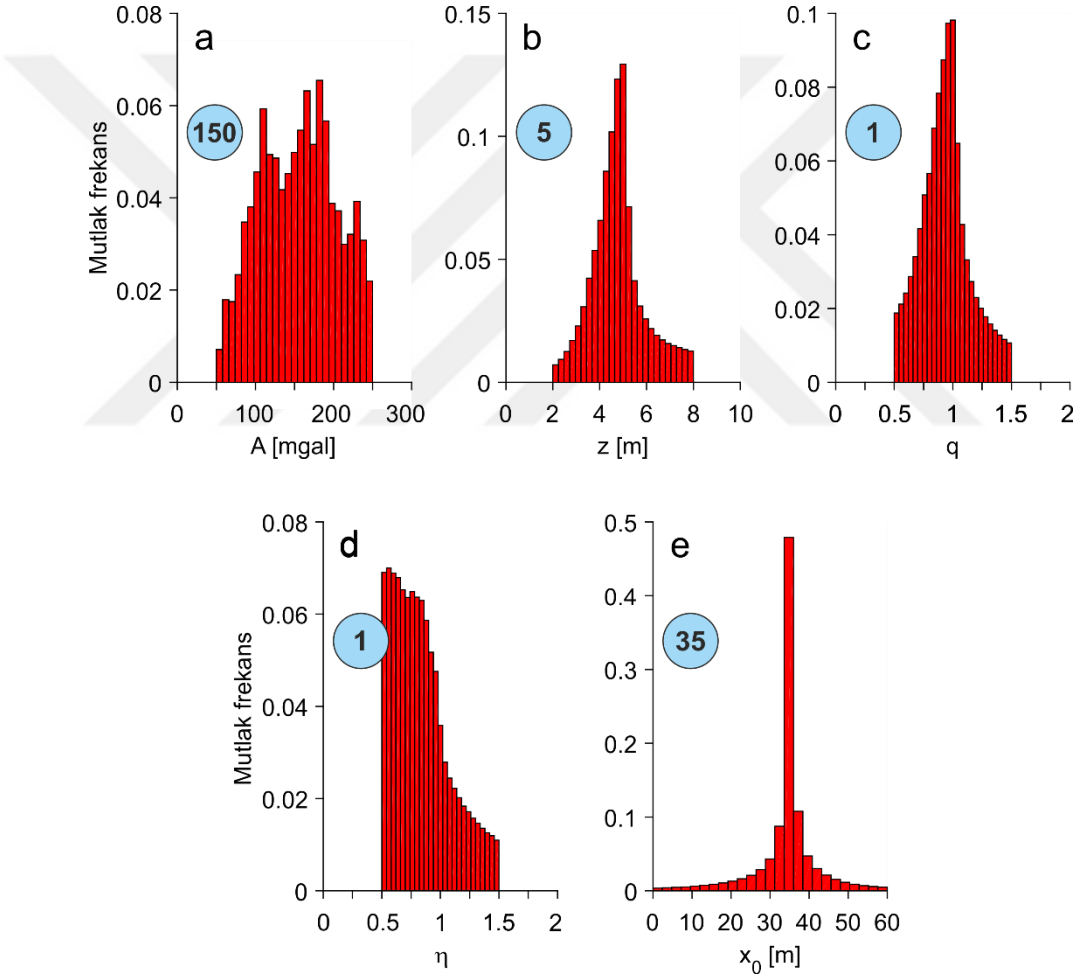
Şekil 7.9. η'nın A'ya göre değişimini saptamak amacıyla başlangıç topluluğunun sırasıyla 250, 500, 750 ve 1000. iterasyonlardaki değişimi



Şekil 7.10. η'nın ve q'nun z_0'a göre değişimini saptamak amacıyla başlangıç topluluğunun sırasıyla 250, 500, 750 ve 1000. iterasyonlardaki değişimi

Şekil 7.11'de gürültüsüz kuramsal verinin birbirinden bağımsız 100 defa çalıştırılması sonucunda elde edilen mutlak frekans ve model parametrelerinin

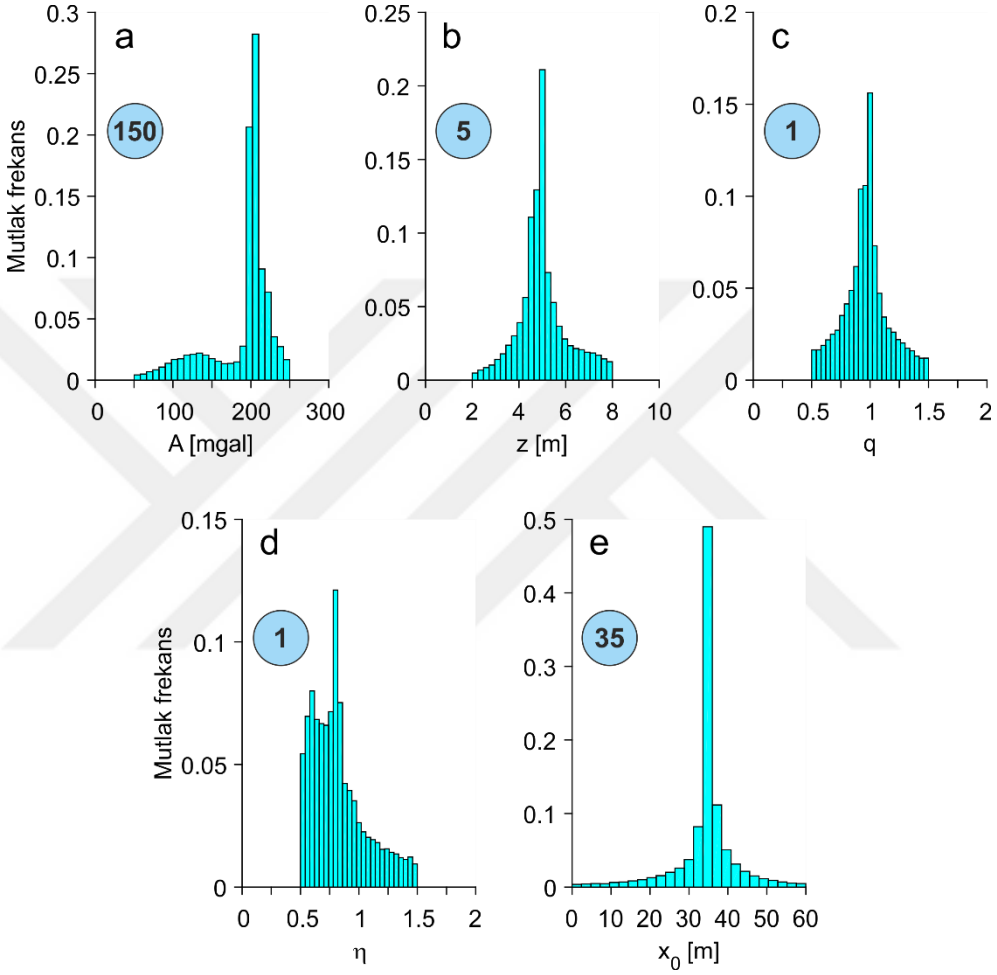
değişimleri histogramlar şeklinde gösterilmiştir. Bu histogramlar 500000 (25 kütle sayısı × 100 bağımsız çalıştırma × 2000 iterasyon) parametre kestirim değerleri kullanılarak oluşturulmuştur. Buradan da açıkça görüldüğü gibi daha doğru olarak kestirilen parametreler için daha düzgün ve daha dar parametre limitleri arasında dağılımlar elde edilmiştir. Bu ayrıca yanılgı enerji haritalarının incelenmesinde de değinilen parametre çözülebilirlikleri ile de uyumludur. Sonuç olarak, bunlar arasında nedensel kaynağın derinliği ve yeryüzündeki izdüşümünün doğru olarak belirlenmesi genel olarak bu problem kapsamında yeterli olmaktadır.



Şekil 7.11. Bir yapılı modelin gürültüsüz veri kümesi için 100 ayrı YAA çalışması sonucunda her bir iterasyonda elde edilen sonuçlar kullanılarak elde edilen mutlak frekans grafikleri

Gürültüsüz veri üzerinde yaptığımız testler sonucuna bakarak bulduğumuz en iyi çözüm içerisinde de en iyilemeyi bularak histogram çizimi yapıldı ve arasındaki fark gözlemlendi. Çalışmalar sonucunda elde edilen en iyi çözümün

mutlak frekans ve model parametre değerleri histogram olarak gösterildi. Yukarıda da bahsedildiği gibi oluşturulan kuramsal verilere yakın sonuçlar elde edildi. Nedensel ve kesin kaynağın derinliğini en iyi şekilde çözümlemektedir. Şekil (7.12) üzerinde yer alan mavi renkli yuvarlakların içerisindeki rakamlar problemin doğru parametre değerlerini temsil etmektedir.



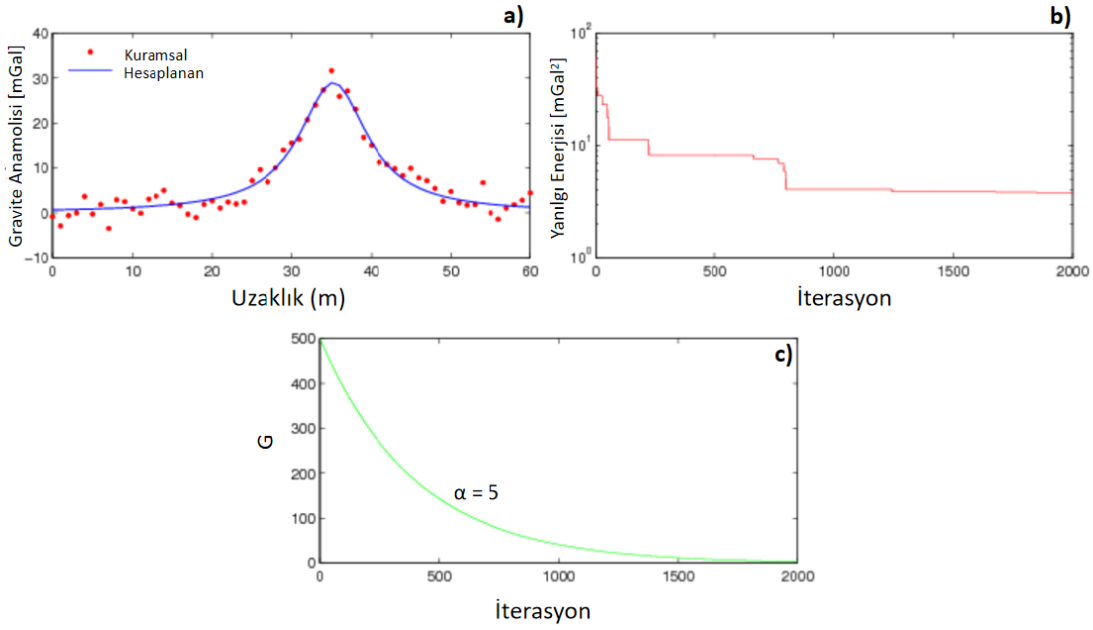
Şekil 7.12. Bir yapılı modelin gürültüsüz veri kümesi için YAA çalışması sonucunda elde edilen en iyi çözüm sonuçlar kullanılarak elde edilen mutlak frekans grafikleri

7.1.2. Gürültülü Veri

Gürültüsüz veri için kullanılan kuramsal veriye standart sapması ± 2 olan normal dağılımdan oluşan rastgele sayılar atanarak elde edilen anomaliyi şekil 7.13'de verilmiştir (bkz. Şekil7.13a). Gürültülü veri kümesi içinde daha önceden gürültüsüz veri için belirlenen arama uzayı sınırları $A \in (0 - 500)$, $z_0 \in (0 - 10)$,

$q \in (0\ \text{-}1.5)$, $\eta \in (0 - 1.5)$ ve $x_0 \in (0 - 50)$ kullanılmıştır. YAA algoritmasının 100 bağımsız çalışmasından elde edilen çözümlere ait istatiksel değer sonuçları Çizelge 7.13'te gösterilmektedir.

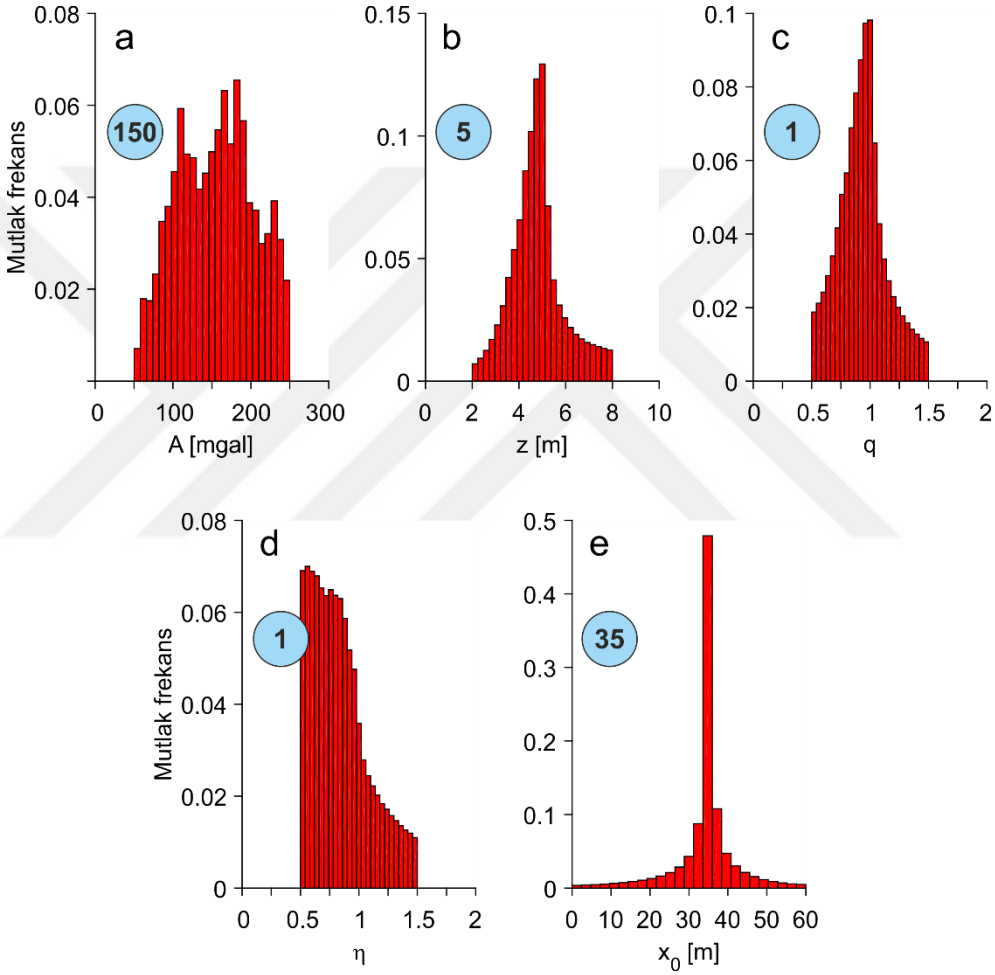
100 kütle arama sonucunda elde edilen en düşük *RMS* değeri için kullanılan parametreler sırasıyla; A = 212.233 mGal m^{2q-n}, z_0 = 5.138 m, q = 0.980, η = 0.744 ve x_0 = 35.220 m olarak belirlendi. Karşılaştırılan kuramsal model parametresinin verileri; A = 150.000 mGal m^{2q-n}, z_0 = 35 m, q = 1.5, η = 1.0 ve x_0 = 5 m dikkate alındığında YAA'nın 1.96 RMS ile başarılı parametre kestirimleri ürettiği söylenebilir. Sonuç olarak, algoritmanın kararlı ve doğru model değerlerine yakın sonuçlara ulaştığı açıkça görülmektedir (bkz. Şekil 7.13). G_0 ve α optimum değerleri kullanılarak ve 2000 iterasyon sonunda elde edilen gravite anomalisi, yanılgı enerjisi ve G'nin her bir iterasyondaki değişimleri Şekil 7.13'te sunulmuştur.



Şekil 7.13. a) Gözlenen ve hesaplanan kuramsal anomalilerin karşılaştırılması b) Yanılgı enerjisinin iterasyon ile değişimi c) G'nin her bir iterasyondaki değişimi

Şekil 7.14'te gürültülü kuramsal verinin birbirinden bağımsız 100 defa çalıştırılması sonucunda elde edilen mutlak frekans ve model parametrelerinin değişimleri histogramlar şeklinde gösterilmiştir. Bu histogramlarda 500000

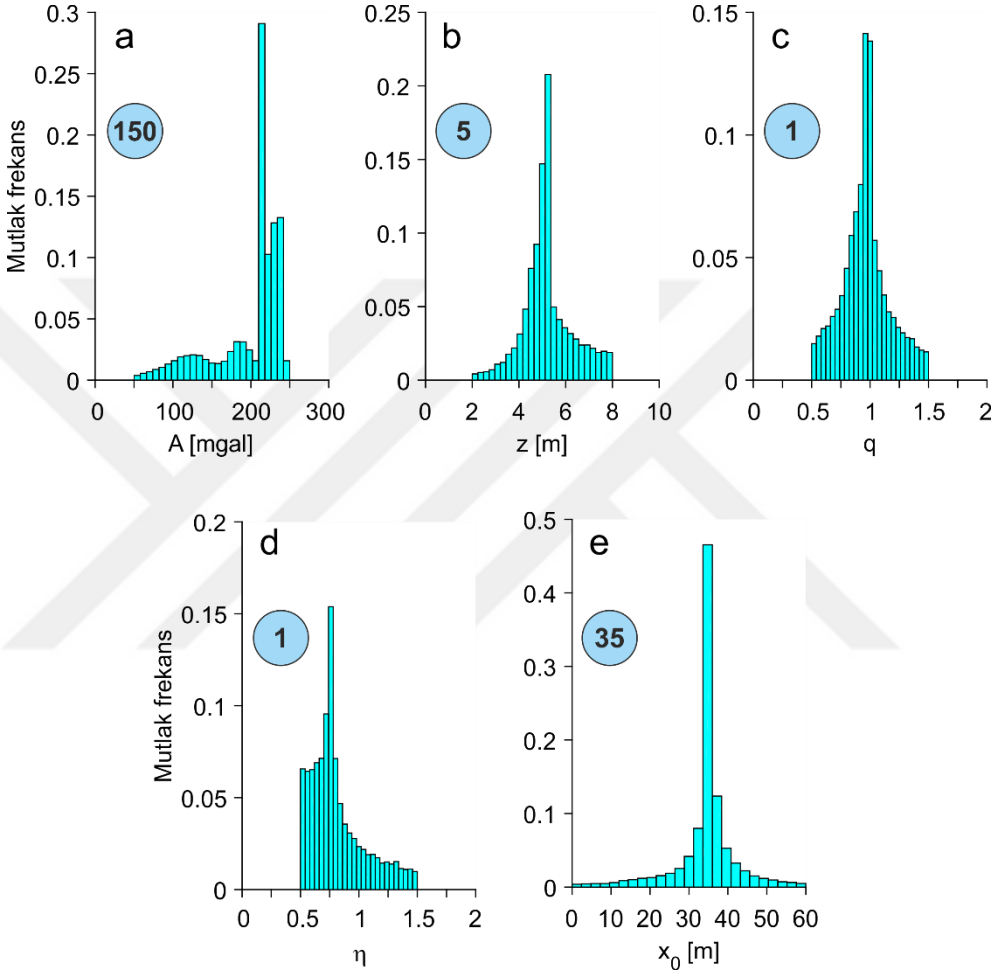
parametre kestirim değerleri kullanılarak oluşturulmuştur. Gürültüsüz veride de olduğu gibi daha doğru olarak kestirilen parametreler için daha düzgün ve daha dar parametre limitleri arasında dağılımlar elde edilmiştir. Elde edilen yanılgı enerjisi haritalarına bakıldığında daha önceden de değindiğimiz parametre çözülebilirlikleri ile de uyumlu görülmektedir. Sonuç olarak, bunlar arasında nedensel kaynağın derinliği ve yeryüzündeki izdüşümünün doğru olarak belirlenmesi genel olarak bu problem kapsamında yeterli olmaktadır.



Şekil 7.14. Bir yapılı modelin gürültülü veri kümesi için 100 ayrı YAA çalışması sonucunda her bir iterasyonda elde edilen sonuçlar kullanılarak elde edilen mutlak frekans grafikleri

Gürültülü veri üzerinde yaptığımız testler sonucuna bakarak bulduğumuz en iyi çözüm içerisinde yer alan en iyilemeyi bularak histogram çizimi yapılmıştır. 100 ayrı iterasyondan elde edilen sonuçlarla arasındaki fark histogramlarla gözlemlendi. Çalışmalar sonucunda elde edilen en iyi çözümün mutlak frekans

ve model parametre değerleri histogram olarak gösterildi. Yukarıda da bahsedildiği gibi oluşturulan kuramsal verilere yakın sonuçlar elde edildi. Nedensel ve kesin kaynağın derinliğini en iyi şekilde çözümlemektedir. Şekil (7.12) üzerinde yer alan mavi renkli yuvarlakların içerisindeki rakamlar problemin doğru parametre değerlerini temsil etmektedir.



Şekil 7.15. Bir yapılı modelin gürültülü veri kümesi için YAA çalışması sonucunda elde edilen en iyi çözüm sonuçlar kullanılarak elde edilen mutlak frekans grafikleri

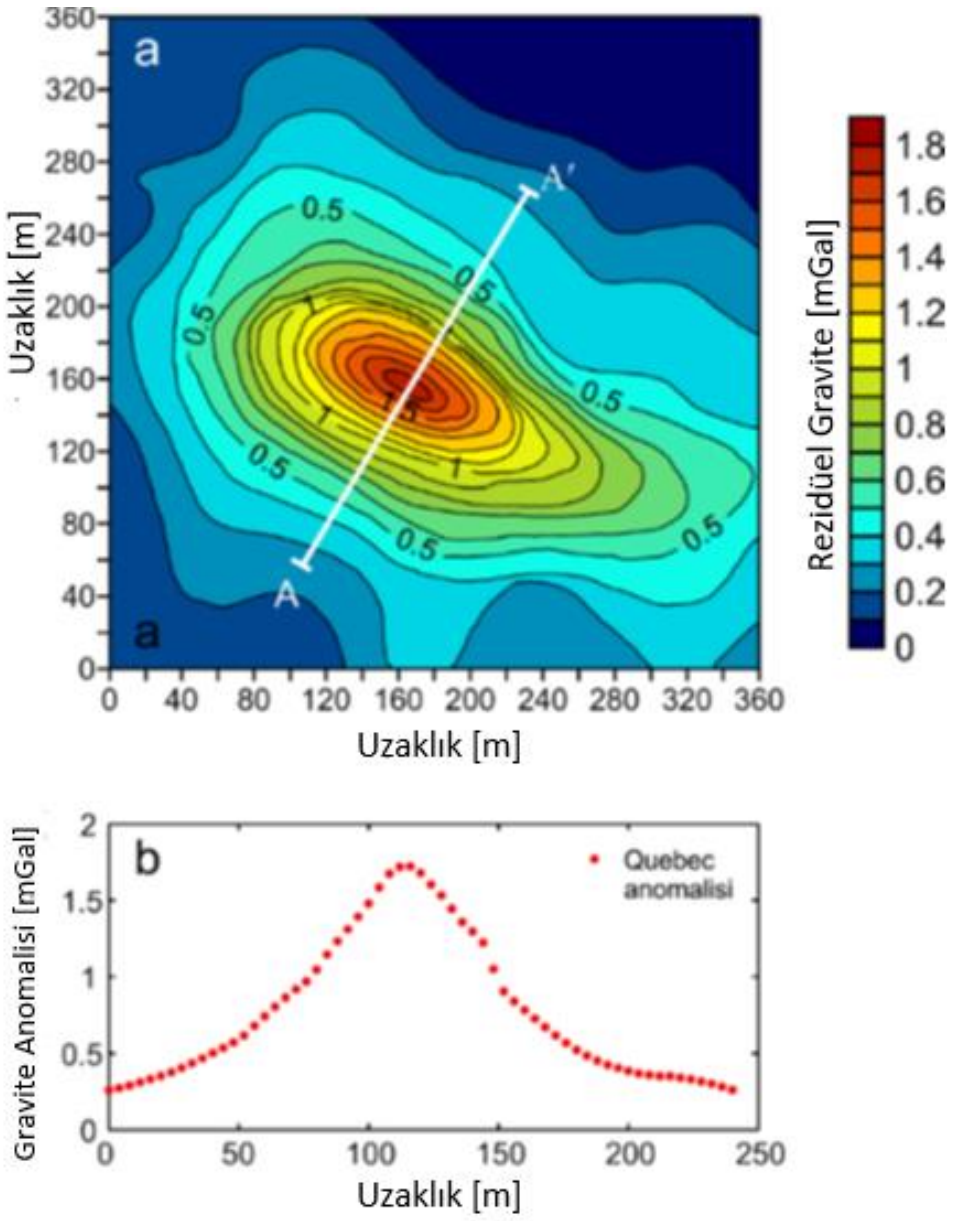
Sonuç olarak üzerinde çalışan kuramsal gürültülü ve gürültüsüz anomaliler için YAA tarafından elde edilen arama boşlukları ve tahmini değerler aşağıdaki çizelgede (7.5) yer almaktadır.

Çizelge 7.5. Sentetik gürültülü ve gürültüsüz verinin karşılaştırılması

Model Parametresi	*Kuramsal Değerler*	*Arama Alanı*		*Kestirilen parametreler*	
		Min.	*Max.*	*Gürültüsüz*	*Gürültülü*
A [mGal.m$^{2q-\eta}$]	*150*	*1*	*500*	*200.49*	*212.23*
z_0 [m]	*5*	*1*	*50*	*5.0*	*5.14*
q	*1*	*0.5*	*1.5*	*1.0*	*0.98*
η	*1*	*0*	*1*	*0.82*	*0.74*
x_0 [m]	*35*	*0*	*60*	*35.0*	*35.22*
RMS [mGal]				*1.21e-03*	*1.96*

7.2. Arazi Veri Çalışması

YAA algoritmasının uygulanabilirliği kuramsal gürültülü ve gürültüsüz verilerinin uygun parametrelerini belirlemek amacıyla yapılan testlerden elde edilen sonuçlara göre, algoritmanın verimliği karşısında arazi verilerine de uygulandı. Arazi örneği, Quebec, Kanada'daki Noranda maden bölgesinde bulunan metal sülfit yatağı üzerinde elde edilen rezidüel gravite anomalisini içermektedir (Grant ve West, 1965). Bu anomaliyi üreten, genel olarak, içeriğinde az miktarda kalkopirit ve Cu, Zn ve Ag mineralizasyonu bulunan büyük bit masif çörtlü pirit kütlesidir (Roy, 2001). Rezidüel gravite anomali haritası 4 metrelik gridlerle sayısallaştırılmıştır (Ekinci vd., 2016). Cevher kütlesinin model parametrelerini kestirebilmek için Şekil 7.16'da sunulan anomali haritasından 240 metre uzunluğundaki AA′ profili boyunca elde edilen anomalinin YAA algoritmasıyla ters çözümü gerçekleştirilmiştir.



Şekil 7.16. Önceden çalışılmış Québec verisi ve AA' profili boyunca alınan gravite anomalisi (Ekinci vd., 2016'dan uyarlanmıştır.)

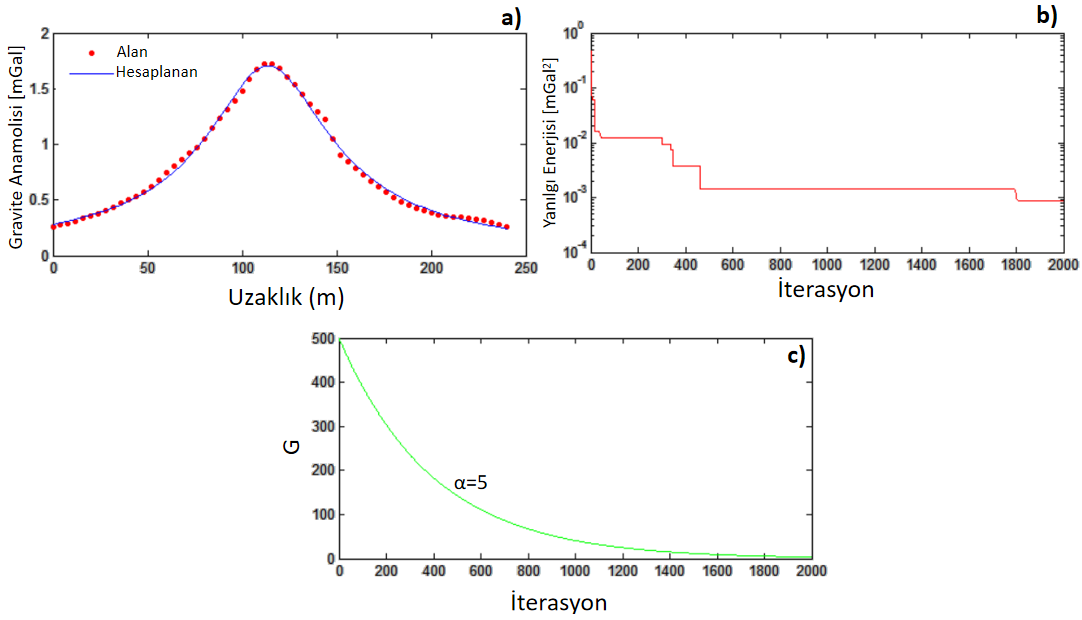
Arazi verisinin değerlendirilmesinde de kuramsal model çalışmasında belirlenen optimum kullanıcı tanımlı parametre değerleri kullanılmıştır (G_0 = 500, α =5, Np = 25, $iter$ = 2000). 100 bağımsız YAA çalışması sonucunda belirlenen en iyi model parametre değerleri; A = 53.86 (mGal.m$^{2q-\eta}$), z_0 = 35.46 (m), q = 0.75, η = 0.52, x_0 = 113.92 (m)'dir. Çizelge 7.6'da FE ve YAA kullanılarak elde edilen sonuçların bir karşılaştırmasını göstermektedir.

Çizelge 7.6. Québec (Kanada) anomalisi için kullanılan parametre arama uzayları ve YAA ve FE tarafından elde edilen sonuçlar

Model Parametresi	*Arama uzayı*		*Kestirilen Parametreler*	
	Min.	*Max.*	*YAA (bu çalışma)*	*FE* (Ekinci vd., 2016)*
A [mGal.m$^{2q-\eta}$]	1	1000	53.86	299.11
z_0 [m]	1	100	35.46	35.39
q	0.5	1.5	0.75	0.74
η	0	1	0.52	0.04
x_0 [m]	0	240	113.92	113.93
RMS [mGal]			2.9e-02	2.9e-02

FE* : Farksal Evrim Algoritması (Stron,1995 ve Price,1997)

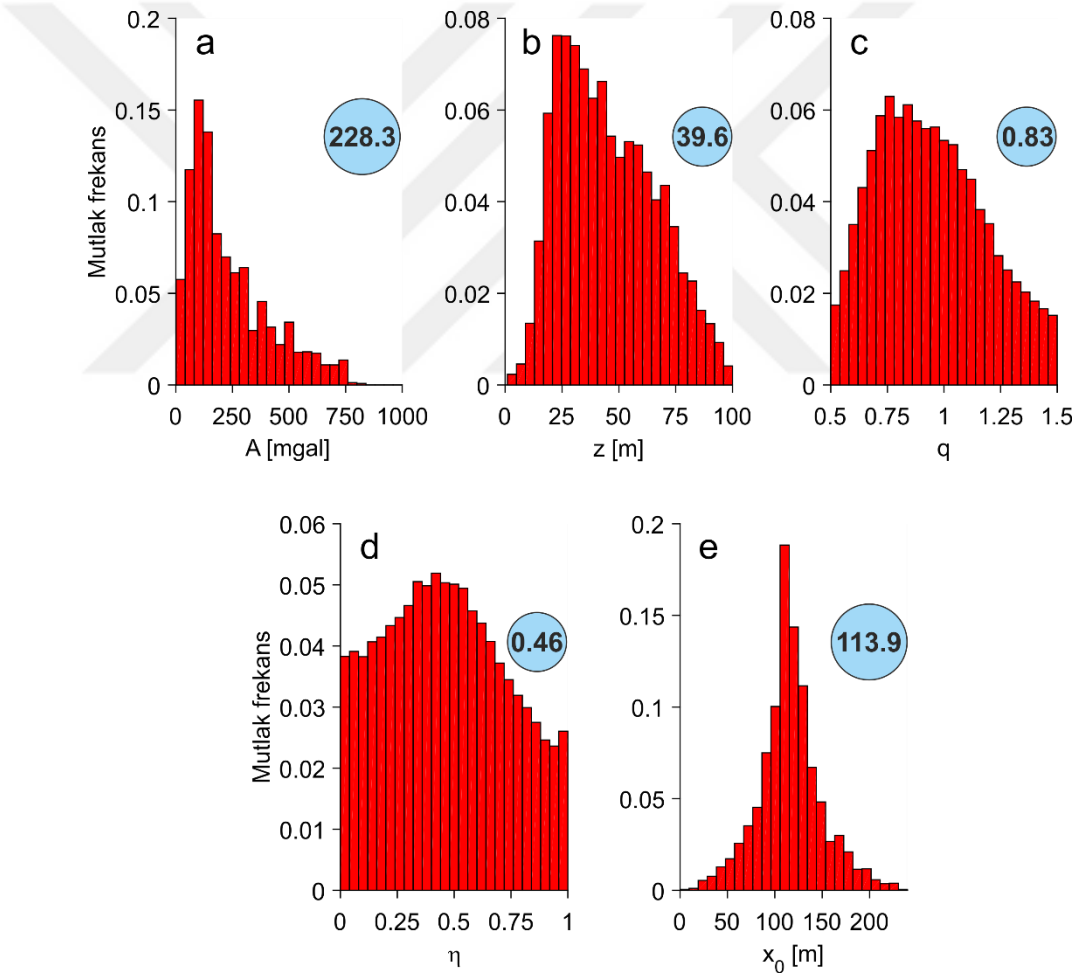
Bu çizelgede de görüldüğü üzere, YAA algoritması jeofizik literatüründeki optimizasyon problemleri için daha yaygın olarak kullanılan FE algoritmasının sonuçları ile uyumlu bir çözüm üretmiştir. Şekil 7.17 sırasıyla alan veri kümesiyle YAA tarafından kestirilen model parametreleri kullanılarak elde edilen anomalinin bir karşılaştırmasıyla, yanılgı enerjisinin ve G'nin her bir iterasyondaki değişimlerin göstermektedir.



Şekil 7.17 a) Gözlenen ve hesaplanan kuramsal anomalilerin karşılaştırılması b) Yanılgı enerjisinin iterasyon ile değişimi c) *G*'nin her bir iterasyondaki değişimi

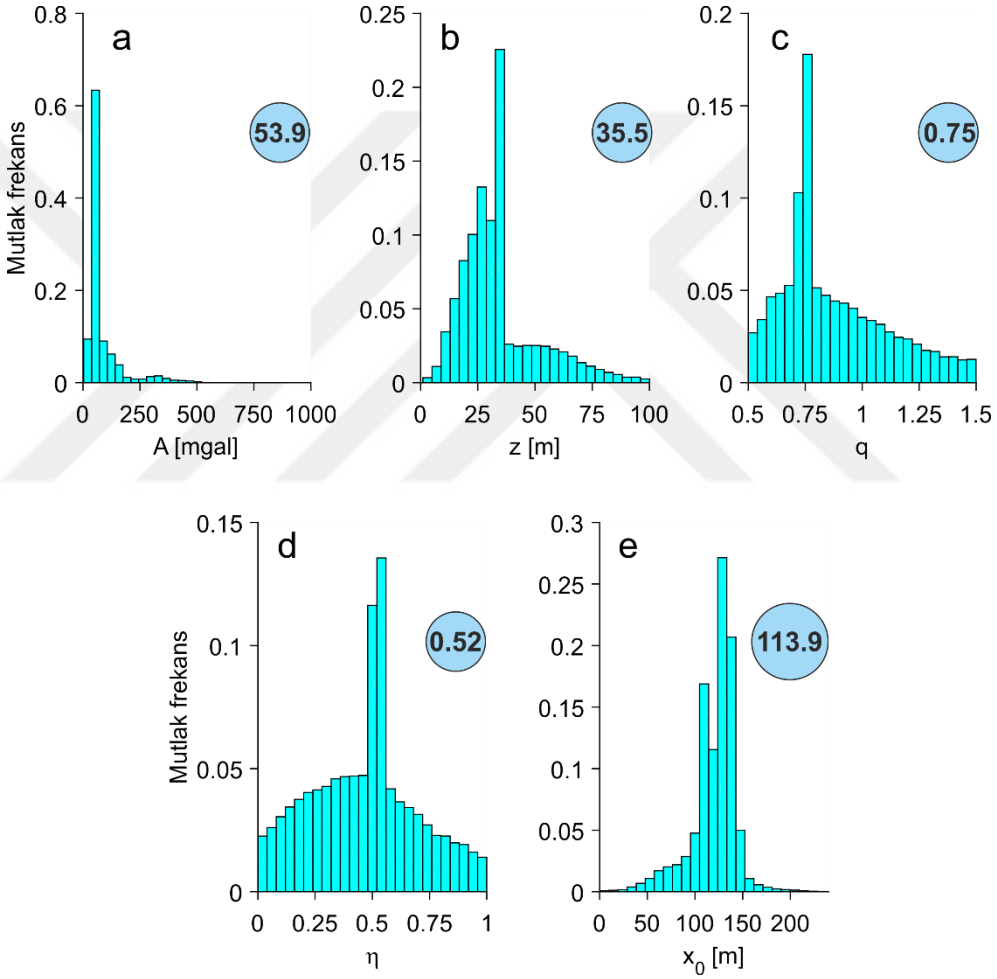
Şekil 7.14'te arazi verilerinin birbirinden bağımsız 100 defa çalıştırılması sonucunda elde edilen mutlak frekans ve model parametrelerinin değişimleri

histogramlar şeklinde gösterilmiştir. Bu histogramlar 500000 (25 kütle sayısı × 100 bağımsız çalıştırma × 2000 iterasyon) parametre kestirim değerleri kullanılarak oluşturulmuştur. Kuramsal gürültülü ve gürültüsüz verilerinde de olduğu gibi arazi verilerinin de doğru olarak kestirilen parametreler için daha düzgün ve daha dar parametre limitleri arasında dağılımlar elde edilmiştir. Yanılgı enerji haritalarının incelenmesinde üzerinde çalışılan parametre çözülebilirlikleri ile de uyumlu olduğu görülmektedir. Çalışmanın sonucunda elde edilen değerler, nedensel kaynağın derinliği ve yeryüzündeki izdüşümünün doğru olarak belirlenmesi genel olarak bu problem kapsamında yeterli olmaktadır.



Şekil 7.18. Arazi veri kümesi için 100 ayrı YAA çalışması sonucunda her bir iterasyonda elde edilen sonuçlar kullanılarak elde edilen mutlak frekans grafikleri

Arazi verileri üzerinde yaptığımız testler sonucunda bulduğumuz en iyi çözüm içerisinde de en iyilemeyi bularak histogram çizimi yapıldı. En iyi çözümle en iyi çözümün içerisindeki en iyileme karşılaştırılarak arasındaki fark gözlemlendi. Çalışmalar sonucunda elde edilen en iyi çözümün mutlak frekans ve model parametre değerleri histogram olarak gösterildi. Nedensel ve kesin kaynağın derinliğini en iyi şekilde çözümlemektedir. Şekil (7.19) üzerinde yer alan mavi renkli yuvarlakların içerisindeki rakamlar problemin doğru parametre değerlerini temsil etmektedir.



Şekil 7.19. Arazi veri kümesi için YAA çalışması sonucunda elde edilen en iyi çözüm sonuçlar kullanılarak elde edilen mutlak frekans grafikleri

8. SONUÇLAR ve ÖNERİLER

Bu tez çalışması kapsamında, basit geometrik yapıların neden olduğu rezidüel gravite anomalilerinin değerlendirilmesinde YAA metasezgiseli kullanılmıştır. Algoritmanın kullanıcı tanımlı parametrelerinin rezidüel gravite anomalilerinin değrelendirilmesi kapsamında optimum değerleri araştırılarak belirlenmiştir. Algoritmanın uygulanabilirliği ve etkinliği ilk olarak, genlik katsayısı (A), nedensel kaynağın ve yeryüzündeki izdüşümü (z_0-x_0) ve biçim faktörlerini (q-η) içeren model parametrelerini tahmin etmek amacıyla, sentetik olarak üretilen bir anomalide test edildi. Kuramsal olarak üretilen verilere ayrıca gürültü eklenerek algoritmanın çözüm gücü üzerindeki etkileri araştırılmıştır. Elde edilen başarılı sonuçlar ışığında Québec'te (Kanada) bulunan metal sülfit maden yatağı üzerinde ölçülen bir anamoli de değerlendirilmiştir. Algoritma bulguları, topluluk tabanlı bir optimizasyon algoritması olan FE kullanılarak elde edilen sonuçlar karşılaştırılmış ve oldukça uyumlu parametre kestirimlerinin sağlandığı gözlemlenmiştir. Parametrelerin çözülebilirliği için yanılgı enerji haritaları oluşturulmuş ve bu parametrelerin belirlenmesinde karşılaşılabilecek belirsizlikler belirlenmiştir. YAA uygulamalarından her bir iterasyonda kestirilen model parametreleriyle en iyi çözüm içerisindeki değerler kullanılarak mutlak frekans grafikleri oluşturulmuştur. Elde edilen sonuçlar incelendiğinde YAA algoritmasının uygulamalı jeofiziğin parametre kestirim problemleri için umut vadeden bir metasezgisel olduğu belirlenmiştir.

Yukarıda değinildiği gibi, algoritma için belirlenen optimum parametre değerlerinin kullanılması, literatürdeki diğer bilimsel çalışmalardan elde edilen sonuçlara benzer olarak, algoritmanın etkinliğini ve hesaplama maliyetini büyük ölçüde arttırmıştır. Bununla birlikte, algoritmanın hesaplama yoğun doğası ve görece yüksek iterasyon değerlerinde daha verimli çözümler üretmesi PSO ve FE gibi diğer metasezgisellere göre hesaplama maliyetinin artmasına neden olmaktadır. Bu nedenle, türev tabanlı bir yaklaşım ile birlikte algoritmanı melez kullanımı elde edilecek başarıyı önemli ölçüde arttıracaktır.

Bu tez çalışmasının en önemli çıktılarından biri de geliştirilen açık kaynak kodlu *MATLAB* ortamında geliştirilen Grav_GSA yazılımıdır. Basit klasör yapısı nedeniyle kullanım kolaylığının yanında, jeofizikte optimizasyon ve metasezgisel konularına ilgi duyan genç araştırmacılar kendi optimizasyon problemleri için küçük birtakım değişiklikler ile yazılımı güncelleyebilirler.

KAYNAKLAR

Abdelrahman, E.M., Bayoumi, A.I., Abdelhady, Y.E., Gobashy, M.M., El-Araby, H.M., 1989. Gravity Interpretation Using Correlation Factors Between Successive Least-Squares Residual Anomalies. Geophysics 54, 1614–1621.

Akça, İ., 2005. Elektrik Verilerinin Lamarckian Genetik Algoritma ile Ters-Çözümü. Ankara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 81s, Ankara.

Alcan, Y., Öztürk, A., Özmen., 2014. Yer Çekimsel Arama Algoritması İle Değişik Çalışma Koşulları İçin Transformatör Verim Optimizasyonu. Akademik Platform, 1218-1225.

Alcan, Y., Öztürk, A., Dirik, H., Demir, M., 2017. Güç Şebekelerinde Minimum Kayıpları Sağlayan STATCOM Konumunun ve Değerinin Belirlenmesinde Farklı Sezgisel Algoritmaların Karşılaştırılması. Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, 23(5), 550-558.

Alkan, H., 2017. Yatay Halka Elektromanyetik (YHEM) Verisinden Farksal Arama Algoritması Kullanarak Parametre Kestirimi. Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 91s, Isparta.

Alkan, H., Balkaya, Ç., 2018. Parameter estimation by Differential Search Algorithm from horizontal loop electromagnetic (HLEM) data. Journal of Applied Geophysics, 149, 77-94.

Altınsu, G.G., Bekler, T., Georgsson, L.S., 2018. Jeotermal Alanların Değerlendirilmesinde Jeofizik Yöntemler. Yer Altı Kaynakları Dergisi, 7(14), 1-16.

Aydın, İ., 2003, Maden Arama Jeofiziği Ders Notları. Isparta, s42.

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., 2002. Doğrusal ve Doğrusal Olmayan Problemlerin Ters-Çözümü. Jeofizik Mühendisleri Odası, Eğitim Yayınları (4). Kızılay,Ankara.

Başokur, A.T., Akça, İ.,2015. Object-Based Model Verification by a Genetic Algorithm Approach: Application to Archaeological Targets. Journal of Applied Geophysics, 74(4), 167-174.

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

Ceylan, S., 2007. Büyük Ölçekli Harita Üretim Çalışmalarında Güncellenmiş Türkiye Jeoidi (TG-99A) ve Yeni Türkiye Jeoidi (TG-03)'ün Doğrudan Kullanılabilirliğinin Araştırılması. Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 64s, Konya.

Ekinci, Y.L., Balkaya, Ç., Göktürkler, G. and Turan, S., 2016. Model Parameter Estimations Fom Residual Gravity Anomalies Due to Simple-Shaped Sources Using Differential Evolution Algorithm. Journal of Applied Geophysics, 129, 133–147.

Eldos, T., Qasim, R.A., 2013. On The Performance of the Gravitational Search Algorithm. International Journal of Advanced Computer Science and Applications, 4(8),74-78.

Elmas, A., Gravite Yönteminde İki Boyutlu Sentetik Modelin Üç Boyutlu Tasarımıyla Testi. Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 203s, Trabzon.

Erdoğmuş, P., Yalçın, E., 2015. Parçacık Sürü Optimizasyonu ile Kısıtsız Optimizasyon Test Problemlerinin Çözümü. İleri Teknoloji Bilimleri Dergisi, 4(1), 14-22.

Darzi, S., Tiong, S.K., Islam, M.T., Soleymanpour, H.R., Kibria, S., 2016. An Experience Oriented-Convergence Improvend Gravitational Search Algorithm for Minimum Variance Distortionless Response Beamforming Optimum. Plos One.

Doğru, F., 2015. Güncel Optimizasyon Yöntemleri Kullanılarak Rezidüel Gravite Anomalilerinden Parametre Kestirimi. Yerbilimleri, 36(1), 31-43.

Duman, S., 2018. FACTS Cihazlarını İçeren Reaktif Güç Planlama Probleminin Hibrit PSOGSA Algoritması Kullanarak Çözülmesi. Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi, 6, 1234-1257.

Göktürkler, G., Balkaya, Ç., Ekinci, Y.L., Turan, S., 2015. Uygulamalı Jeofizikte Metasezgiseller. Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, 22(6), 563-580.

Göktürkler, G., Balkaya, Ç., Ekinci, Y.L., Turan, S., 2016. Metaheuristics in applied geophysics. Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilim Dergisi, 22(6): 563-580.

Gürleme, B., 2015. Maden Aramalarında Gravite Yöntem. Slideshare, Erişim Tarihi: 15.05.2019.

Güvenç, U., Kıtırcıoğlu, F., 2015. GSA Algoritmasının Değişkenlerinin İncelenmesi ve En Uygun Değerlerinin Tespiti. İleri Teknoloji Bilimleri Dergisi, 4 (1), 24-35.

Grant, F.S., West, G.F., 1965. Interpretation Theory in Applied Geophysics. McGraw-Hill Book Co.

Kazak, N., Duysak, A., 2015. Geliştirilmiş Yerçekimi Arama Algoritması: MSS-GSA. Akademik Platform, 1823-1831.

Keçeli, A., 2009. Uygulamalı Jeofizik. Jeofizik Müdensileri Odası, 564s,Ankara.

Kınalıbalaban, B., Beyhan, G., Karavul, C., 2013. Sofalıca Bölgesi (Gaziantep) Krom Madeni Üzerinde Mikrogravite Anomalilerinin Normalize Tam Gradyent ve Doğrusal Olmayan Ters Çözümle Modellenmesi. Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi, 247-255.

Koç, İ., Nureddin, R., Karamanlı, H., 2018. Türkiye'de Enerji Talebini Tahmin Etmek İçin Doğrusal Form Kullanarak GSA (Yerçekimsel Arama Algoritması) ve IWO (Yabani Ot Optimizasyon Algoritması) Tekniklerinin Uygulanması. Selçuk Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Bilim ve Teknoloji Dergisi, c.6, s.4, ss. 529-543.

Kumar, Y., Sahoo G., 2014. A Review on Gravitational Search Algorithm and its Applications to Data Clustering & Classification. I.J. Intelligent Systems And Applications, 06, 79-93.

Mirjalili, S., Lewis, A., 2016. The Whale Optimization Algorithm. Advances in Engineering Software, 95, 51-67.

Musset, A.E., Khan, M. A., 2000. Looking İnto The Earch. Gravity, 112p. New York.

Öztürk, A., 2002. Gerçel Sayı Kodlamalı Genetik Algoritmaların Optimizasyonda Kullanımı. İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 65s, İstanbul.

Özyön, S., Yaşar, C., Temurtaş, H., Durmuş, B., 2012. Artırma\Azaltma Limiti ve Yasak İşletim Bölgeli Ekonomik Güç Dağılımı Problemlerinin Yerçekimsel Arama Algoritması ile Çözümü. ELECO 2012 Elektrik - Elektronik ve Bilgisayar Mühendisliği Sempozyumu, Bursa, 770-774.

Özyön, S., Yaşar, C., Temurtaş, H., Durmuş, B., 2012. Zıt Konumlu Yer Çekimsel Arama Algoritmasının Teknik Üretim Bilgilerinden Oluşan Emisyon Kısıtlı Ekonomik Güç Dağılım Problemlerine Uygulanması. ELECO 2012 Elektrik - Elektronik ve Bilgisayar Mühendisliği Sempozyumu, Bursa, 765-769.

Patel, S.K., Pandey, A.K., Roshan, R.R., Singh. U.K., 2016. Application of PSO and GSA Hybrid Optimization Method for 1-D Inversion of Magnetotelluric Data. International conference on Signal Processing, Communication, Power and Embedded System.

Pham, D.T., Karaboğa, D., 2000. Intelligent optimization techniques. Springer-Verlang, Londan, UK.

Rashedi, E., Nezamabadi-pour, H., Saryazdi, S., 2009, GSA: A Gravitational Search Algorithm. Information Sciences, 179, 2232–2248.

Rao, S.S., 2009. Engineering Optimization Theory And Plactice. 113s, Canada, by John Wiley & Sons, Inc. Allrights Reserved.

Sanver, M., İşseven, T., 2007. Gravite ve Manyetik Arama Yöntemleri. Fiziksel Hesaplamalar, 15s. Ankara.

Roy, A., 1962. Ambiguity in geophysical interpretation. Geophysics, 27 (1), 90-99.

Roy, L., Agarwal, N.P., ve Shaw, R.K., 2000. A new concept in Euler deconvolution of isolated gravity anomalies, Geophysi-cal Prospecting, 48, 3, 559-575.

Roy, L., 2001. Short note: source geometry identification by simultaneous use of structural index and shape factor. Geophysical Prospecting, 49, 159–164.

Sen, M., Stoffa, P.L., 1995. Global Optimization Methods in Geophysical Inversion. Elsevier Science, 280p., Britain.

Sahu, R.K., Panda, S., Padhan, S., 2014. Optimal Gravitational Search Algorithm for Automatic Generation Control of Interconnected Power Systems. Ain Shams Engineering Journal, 5, 721-733.

Sudin, S., Nawawi, S.W., Abidin, A.F.Z., Rahim, M.A.A., Khalil, K., Ibrahim, Z., Yusof, Z.M., 2014. A Modified Gravitational Searh Algorithm for Discrete Optimization Problem. International Journal of Simulation Systems, Science & Technology, 15,1.

Storn, R., Price, K.V., 1995. Differential evolution — a simple and efficient adaptive scheme for global optimization over continuous spaces. Technical Report TR-95-012. International Computer Science Institute, Berkeley.

Storn, R., Price, K., 1997. Differential evolution—a simple and efficient heuristic for global optimization over continuous spaces. Journal of Global Optimization, 11, 341–359.

Tongur, E.Ç., 2010. Gravitenin Bazı Jeodezik Problemlerde Kullanımı. Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 53s, Konya.

Yang, X.S., 2011. Metaheuristic Optimization. Scholarpedia, Erişim Tarihi: 18.05.2019. http://www.scholarpedia.org/article/Metaheuristic_Optimization

Yang, X.S., 2014. Nature-Inspired Metaheuristic Algorithms. Luniver Press Analysis of Algorithms, 265p., London.

Yetkin, M., 2016. Metasezgisel Algoritmaların Jeodezi de Kullanımı. Geomatik Dergisi, ; 1(1);8-13.

Wang, J.S., Song, J.D., 2015. Function Optimization and Parameter Performance Analysis Based on Gravitation Search Algorithm. Algorithms 3-9.

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Merve IŞIK

Doğum Yeri ve Yılı : İzmir, 1993

Medeni Hali : Evli

Yabancı Dili : İngilizce

E-posta :yl1630105012@stud.sdu.edu.tr

Eğitim Durumu

Lise : Güzelcan Kardeşler Lisesi, 2015

Lisans : Süleyman Demirel Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Jeofizik Mühendisliği Bölümü, 2016

Yayınları

Hacıoğlu, M., Balkaya, Ç., 2017. Gravitational search algorithm for inversion of residual gravity anomalies caused by simple-geometry bodies. 2nd International Conference on Civil and Environmental Engineering (ICOCEE), Avanos, 8-10 May 2017, p. 909.