



**T.C.
ONDOKUZ MAYIS ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ
HARİTA MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI**

**3 BOYUTLU NOKTA BULUTLARININ
MODELLENMESİNDE METASEZGİSEL YAKLAŞIMLAR**

Doktora Tezi

Ülkü KIRICI YILDIRIM

Danışman
Prof. Dr. Yasemin ŞİŞMAN

SAMSUN
2024

**T.C.
ONDOKUZ MAYIS ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ
HARİTA MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI**



**3 BOYUTLU NOKTA BULUTLARININ
MODELLENMESİNDE METASEZGİSEL YAKLAŞIMLAR**

Doktora Tezi

Ülkü KIRICI YILDIRIM

Danışman
Prof. Dr. Yasemin ŞİŞMAN

SAMSUN
2024

TEZ KABUL VE ONAYI

Ülkü KIRICI YILDIRIM tarafından, Prof. Dr. Yasemin ŞİŞMAN danışmanlığında hazırlanan “3 BOYUTLU NOKTA BULUTLARININ MODELLENMESİNDE METASEZGİSEL YAKLAŞIMLAR” başlıklı bu çalışma, jürimiz tarafından 7.2.2024 tarihinde yapılan sınav sonucunda oy birliği ile başarılı bulunarak Doktora Tezi olarak kabul edilmiştir.

	Unvanı Adı Soyadı Üniversitesi Ana Bilim/Ana Sanat Dalı	Sonuç
Başkan	Prof. Dr. Sebahattin BEKTAŞ Ondokuz Mayıs Üniversitesi Harita Mühendisliği Ana Bilim Dalı	☒ Kabul ☐ Ret
Üye	Prof. Dr. Yasemin ŞİŞMAN Ondokuz Mayıs Üniversitesi Harita Mühendisliği Ana Bilim Dalı	☒ Kabul ☐ Ret
Üye	Prof. Dr. Ömer YILDIRIM Tokat Gaziosmanpaşa Üniversitesi Harita Mühendisliği Ana Bilim Dalı	☒ Kabul ☐ Ret
Üye	Prof. Dr. Emine TANIR KAYIKÇI Karadeniz Teknik Üniversitesi Harita Mühendisliği Ana Bilim Dalı	☒ Kabul ☐ Ret
Üye	Dr. Öğr. Üyesi Neslihan BEDEN Samsun Üniversitesi Meteoroloji Mühendisliği Ana Bilim Dalı	☒ Kabul ☐ Ret

Bu tez, Enstitü Yönetim Kurulunca belirlenen ve yukarıda adları yazılı jüri üyeleri tarafından uygun görülmüştür.

Prof. Dr. Ahmet TABAK
Enstitü Müdürü

BİLİMSEL ETİĞE UYGUNLUK BEYANI

Hazırladığım Doktora tezinin bütün aşamalarında bilimsel etiğe ve akademik kurallara riayet ettiğimi, çalışmada doğrudan veya dolaylı olarak kullandığım her alıntıya kaynak gösterdiğimi ve yararlandığım eserlerin Kaynaklar'da gösterilenlerden oluştuğunu, her unsurun enstitü yazım kılavuzuna uygun yazıldığını ve TÜBİTAK Araştırma ve Yayın Etiği Kurulu Yönetmeliği'nin 3. bölüm 9. maddesinde belirtilen durumlara aykırı davranılmadığını taahhüt ve beyan ederim.

Etik Kurul Gerekli mi ?

Evet ☐ (Gerekli ise ekler kısmına ekleyiniz)

Hayır ☒

04 /01 / 2024

Ülkü KIRICI YILDIRIM

TEZ ÇALIŞMASI ÖZGÜNLÜK RAPORU BEYANI

Tez Başlığı : 3 BOYUTLU NOKTA BULUTLARININ
MODELLENMESİNDE METASEZGİSEL YAKLAŞIMLAR

Yukarıda başlığı belirtilen tez çalışması için şahsım tarafından 04.01.2024 tarihinde intihal tespit programından alınmış olan özgünlük raporu sonucunda;

Benzerlik oranı : % 17

Tek kaynak oranı : % 3 çıkmıştır.

04 /01 / 2024

Prof. Dr. Yasemin ŞİŞMAN

ÖZET

3 BOYUTLU NOKTA BULUTLARININ MODELLENMESİNDE METASEZGİSEL YAKLAŞIMLAR

Ülkü KIRICI YILDIRIM

Ondokuz Mayıs Üniversitesi

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü

Harita Mühendisliği Ana Bilim Dalı

Doktora, Şubat/2024

Danışman: Prof. Dr. Yasemin ŞİŞMAN

Üç boyutlu (3B) nokta bulutu, bir nesnenin veya bir ortamın yüzeyini hassas bir şekilde temsil eden ve bu yüzeyin her bir noktasının kartezyen (X,Y,Z) koordinatları ile belirtildiği bir veri kümesidir. 3B nokta bulutlarının modellenmesi ise, bir ortamın veya nesnenin yüzeyinin uygun bir modelle temsil edilmesidir. Geoid, dünya yüzeyini en iyi şekilde temsil eden, yüzeyin deniz seviyesine göre eğriliğini ve çeşitli noktalardaki yerçekimi potansiyeli yüzeyini ifade eden bir referans yüzeyidir. Geoid belirleme her zaman bilimin konusu olmuştur. Birçok farklı geoid belirleme yöntemleri geliştirilmiş ve geliştirilmektedir. Tüm jeodezik çalışmalarda olduğu gibi geoid yüzeyi belirleme çalışmalarında ölçü sayısı bilinmeyen sayısından büyük olduğunda optimizasyon ile belirli bir amaç fonksiyonuna göre çözüm yapılır. Harita mühendisliğinde dengeleme hesabı olarak adlandırılan bu işlemde çeşitli yöntemler kullanılmaktadır. Ölçü kümesinde her zaman var olan rasgele ölçü hatalarının yanında sistematik ya da kaba hatalı ölçülerde bulunmaktadır. Uyuşumsuz ölçü olarak adlandırılan bu ölçülerin ölçü grubundan ayıklanması ya da sonuçlara etkilerinin azaltılması gerekir. Bu durumda ölçü grubu uyumlu ve uyumsuz olarak ikiye ayrılarak sınıflandırılır.

Günümüzde gelişen teknoloji ile birlikte elde tutulan veri miktarları artmış, elde edilen veriyi sınıflandırmak önem kazanmıştır. Veri sınıflandırma işleminde istatistiksel ve makine öğrenimi yöntemleri sıklıkla kullanılmaktadır. Hızla gelişen yapay zeka ve makine öğrenmesi yöntemleriyle çok karmaşık problemler Metasezgisel Algoritmalar ile çözülerek optimum çözümler elde edilebilmektedir. Metasezgisel algoritmalar doğadan esinlenmiş veya önceki deneyimlerden öğrenilmiş özellikleri kullanarak çeşitli optimizasyon problemlerini çözmek amacıyla tasarlanmışlardır. Bu algoritmalar, özellikle büyük ve karmaşık problemlerden optimum çözümler elde etmek için kullanılmaktadır. Metasezgisel algoritmalar iyi bir öğrenme ve adaptasyon yeteneklerine sahip oldukları için farklı problemlere kolayca uyarlanabilirler. Bu nedenle ortaya çıkışından bu yana birçok farklı problemin çözümünde kullanılmaktadırlar.

Bu çalışmada geoid yüzeyi belirleme işlemi için harita mühendisliğinde daha önce kullanılmamış olan Metasezgisel algoritmalar ile veri sınıflandırma işlemi yapılmıştır. Metasezgisel algoritmalarından seçilen Kurbağa Sıçrama Algoritması, Ateşböceği Algoritması, Parçacık Sürü Optimizasyonu ve Gri Kurt Optimizasyonu yöntemleri ile geoid yüzeyi belirleme için Matlab kodlamaları oluşturulmuştur. Elde edilen sonuçlar klasik geoid yüzeyi belirleme yöntemi ile elde edilen sonuçlar ile karşılaştırılmıştır. Metasezgisel algoritmalar ile geoid yüzeyi belirleme yöntemleri ile elde edilen sonuçlarda kendi arasında yorumlanmıştır.

Anahtar Sözcükler: 3B nokta bulutu, Optimizasyon, Geoid yüzeyi belirleme, Veri sınıflandırma, Metasezgisel algoritmalar

ABSTRACT

METAHEURISTIC ALGORITHMS TO MODELLING IN 3D POINT CLOUDS

Ülkü KIRICI YILDIRIM

Ondokuz Mayıs University

Institute of Graduate Studies

Department of Geomatics Engineering

Ph.D., February/2024

Supervisor: Prof. Dr. Yasemin ŞİŞMAN

Three-dimensional (3D) point cloud is a dataset that sensitively represents the surface of an object or environment, where each point on this surface is specified by cartesian (X, Y, Z) coordinates. Modeling 3D point clouds involves representing the surface of an environment or object with an appropriate model. The geoid is a reference surface that best represents the Earth's surface, expressing the curvature of the surface relative to sea level and the gravity potential surface at various points. Determining the geoid has always been a subject of scientific inquiry. Numerous methods for determining the geoid have been developed and are continuously evolving. Similar to all geodetic studies, in geoid surface determination efforts, when the number of measurements is greater than the number of unknowns, a solution is made according to a certain objective function by optimization. Various methods are used in this process, which is called adjustment method in geomatics engineering. In addition to the random measurement errors that are always present in the measurement set, there are also systematic or rough errors. These so-called outlier measurement should be eliminated from the measure group or their effect on the results should be reduced. In this case, the measure group is classified into two groups: compatible and outlier.

Nowadays, with the developing technology, the amount of data held has increased and it has become important to classify the data obtained. Statistical methods and machine learning are often used in data classification. With methods such as rapidly developing artificial intelligence and machine learning technologies, very complex problems can be solved with Metaheuristic Algorithms and optimum solutions can be obtained. Metaheuristic algorithms are designed to solve various optimization problems using features inspired by nature or learned from previous experience. These algorithms are used to obtain optimal solutions, especially from large and complex problems. Metaheuristic algorithms can be easily adapted to different problems because they have good learning and adaptation capabilities. For this reason, they have been used to solve many different problems since its appearance.

In this study, data classification was made with Metaheuristic algorithms which have not been used before in geomatic engineering for geoid determination. Matlab codes were developed for geoid determination with selected metaheuristic algorithms such as Shuffled Frog Leaping Algorithm, Firefly Algorithm, Particle Swarm Optimization and Gray Wolf Optimization. The results obtained are compared with the results obtained with the classical geoid surface determination method. The results obtained with metaheuristic algorithms and geoid surface determination methods are also commented among themselves.

Keywords: 3D point clouds, Optimization, Geoid determination, Data classification, Metaheuristic algorithm

ÖN SÖZ VE TEŞEKKÜR

Tez çalışmam boyunca bilgi birikimi ile her zaman yanımda olan ve desteklerini esirgemeyen danışman hocam sayın Prof. Dr. Yasemin ŞİŞMAN'a teşekkür ederim. Ayrıca Tez İzleme Komisyonu'nda yer alan hocalarım sayın Prof. Dr. Sebahattin BEKTAŞ ve Prof. Dr. Ömer YILDIRIM hocalarıma da tezime katkılarından dolayı teşekkürü borç bilirim. Destek ve yardımlarını hiçbir zaman esirgemeyen bölüm hocam sayın Doç. Dr. Veli İLÇİ'ye teşekkür ederim. Tez çalışmam boyunca desteklerini hissettiğim değerli Araştırma Görevlisi mesai arkadaşlarım ve Harita Mühendisliği Bölüm hocalarıma teşekkür ederim.

Bu günlere gelmemde, akademik olarak devam etmemde en büyük emeğe ve desteğe sahip olan varlıklarıyla içimi ısıtan canım ailem annem Nalan KIRICI, babam Zafer KIRICI, kardeşlerim Öykü KIRICI ve Hüseyin KIRICI'ya teşekkür ederim. Tez çalışmam süresi boyunca yaşadığım zorlu ve mutlu anlara tanıklık eden, her zaman en büyük destekçim sevgili eşim ve meslektaşım Rıdvan Ertuğrul YILDIRIM'a teşekkür ederim. Son olarak tez çalışması sırasında hayatıma giren ve her şeyi güzelleştiren canım kızım Miray YILDIRIM'a teşekkür ederim.

Bu tez çalışmasını doktora çalışmamın son döneminde kaybettiğim, aynı zamanda başarılı bir eğitimci olan canım dedem öğretmen İsmet KAYA'ya ithaf ediyorum.

Ülkü KIRICI YILDIRIM

İÇİNDEKİLER

TEZ KABUL VE ONAYI	i
BİLİMSEL ETİĞE UYGUNLUK BEYANI	ii
TEZ ÇALIŞMASI ÖZGÜNLÜK RAPORU BEYANI	ii
ÖZET	iii
ABSTRACT	iv
ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR	v
İÇİNDEKİLER	vi
SİMGELER VE KISALTMALAR	viii
ŞEKİLLER DİZİNİ	ix
TABLolar DİZİNİ	xii
1. GİRİŞ	1
2. KURAMSAL TEMELLER VE KAYNAK ÖZETLERİ.....	6
2.1. 3B Nokta Bulutu	6
2.2. 3B Nokta Bulutları ile Geoid Belirleme	7
2.3. Yapay Zeka, Makine Öğrenmesi ve Metasezgisel Algoritmalar.....	10
2.4. Literatür Taraması	12
2.4.1. 3B Nokta Bulutu İle İlgili Literatür Taraması	12
2.4.2. Geoid Belirleme İle İlgili Literatür Taraması	16
2.4.3. Metasezgisel Algoritmalar İle İlgili Literatür Taraması	21
3. MATERYAL VE METOD	29
3.1. Materyal	29
3.1.1. 3B Nokta Bulutu ve Elde Etme Yöntemleri	29
3.1.1.1. Fotogrametri	30
3.1.1.2. Lazer Tarayıcılar	30
3.1.1.3. İnsansız Hava Araçları (DRONE)	31
3.1.2. 3B Nokta Bulutu	34
3.2. Metod	38
3.2.1. 3B Yüzey Belirleme	38
3.2.2. Geoid Yüzeyi Belirleme Yöntemleri	40
3.2.2.1. Astro-Jeodezik Yöntemle Geoid Yüzeyi Belirleme.....	41
3.2.2.2. Gravite Değerine Göre Geoid Yüzeyi Belirleme	43
3.2.2.3. Sayısal Yoğunluk Yöntemine Göre Geoid Yüzeyi Belirleme.....	43
3.2.2.4. Jeopotansiyel Yaklaşımı İle Geoid Yüzeyi Belirleme	44
3.2.2.5. Kombine Yöntemle Geoid Yüzeyi Belirleme	44
3.2.2.6. GNSS/Nivelman Yöntemine Göre Polinomlarla Geoid Yüzeyi Belirleme ..	45
3.2.2.7. GNSS/Nivelman Yöntemine göre Bulanık Mantık ile Geoid Belirleme.....	48
3.3. Optimizasyon ve Optimizasyonda Çözüm Yöntemleri.....	49
3.3.1. En Küçük Kareler Yöntemi	50
3.3.2. Sezgisel ve Metasezgisel Algoritmalar ile Optimizasyon	56
3.3.2.1. Kurbağa Sıçrama Algoritması	58
3.3.2.2. Ateşböceği algoritması	67
3.3.2.3. Parçacık Sürü Optimizasyonu	72
3.3.2.4. Gri Kurt Optimizasyonu	77
4. BULGULAR VE TARTIŞMA	84
4.1. Çalışma Alanı.....	84
4.2. GNSS/Nivelman Yöntemi ile Geoid Yüzeyi Belirleme.....	88
4.3. EKK Yöntemi Optimizasyonu ile Geoid Yüzeyi Belirleme İşleminde Uyuşumsuz Ölçü Grubu Belirleme.....	99
4.4. Metasezgisel Algoritmalar Optimizasyonu İle Geoid Yüzeyi Belirleme İşleminde Uyuşumsuz Ölçü Grubu Belirleme	102
4.4.1. Kurbağa Sıçrama Algoritması	102
4.4.2. Ateşböceği Algoritması	105
4.4.3. Parçacık Sürü Optimizasyonu	107

4.4.4. Gri Kurt Optimizasyonu.....	109
4.5. Belirlenen Uyuşumsuz Ölçü Gruplarının Karşılaştırılması	111
5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	127
KAYNAKLAR.....	135
EKLER.....	144
ÖZGEÇMİŞ	153



SİMGELER VE KISALTMALAR

2B	: İki Boyutlu
3B	: Üç Boyutlu
3D	: Three Dimensional
AA	: Ateşböceği Algoritması
ABD	: Amerika Birleşik Devletleri
DN	: Dilim Numarası
EKK	: En Küçük Kareler
EKMT	: En Küçük Mutlak Toplam
GKO	: Gri Kurt Optimizasyonu
GNSS	: Küresel Konum Belirleme Sistemi
GPS	: Küresel Konumlama Sistemi
ITRF96	: Uluslararası Yersel Referans Sistemi 1996
İHA	: İnsansız Hava Aracı
KOH	: Karesel Ortalama Hata
KSA	: Kurbağa Sıçrama Algoritması
LİDAR	: Işın Algılama ve Mesafe Ölçme
PSO	: Parçacık Sürü Optimizasyonu
SM	: Sıçrama Miktarı
SO	: Seçilme Olasılığı
TEKK	: Toplam En Küçük Kareler
UTM	: Universal Transvers Mercator

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 2.1 Kartezyen koordinat sistemi (Konakoğlu, 2014).....	6
Şekil 2.2 3B nokta bulutu (Tomurcuk, 2010).....	7
Şekil 2.3 Fiziksel yeryüzü, geoid, dönel elipsoid, referans elipsoidi (Bolat, 2013)	9
Şekil 2.4 Elipsoidal ve ortometrik yükseklik (Kenduiywo vd., 2013).....	10
Şekil 3.1 Bir lazer tarayıcı bileşenleri (Barber vd., 2002)	31
Şekil 3.2 Havadan lazer tarama sistemi (Abdullah & Erdaş, 2007).....	31
Şekil 3.3 İnsansız hava aracı yapısı (Gençerk, 2016)	32
Şekil 3.4 İHA'ların sınıflandırılması	33
Şekil 3.5 Kullanım alanlarına göre İHA sistemleri.....	34
Şekil 3.6 3B global kartezyen koordinat (X,Y,Z) sistemi (Heiskanen & Moritz, 1984).....	35
Şekil 3.7 Türkiye için UTM projeksiyon dilimleri (Bildirici, 2017).....	36
Şekil 3.8 Ortometrik yükseklik (Gürses, 2011)	37
Şekil 3.9 Elipsoidal yükseklik (Yigit, 2003)	37
Şekil 3.10 3B nokta bulutu elde etme iş akışı.....	38
Şekil 3.11 Yüzey modellemesi (Jiang, 2022)	39
Şekil 3.12 Yüzey ağı modelleme tekniği işlem adımları (Çömert, 2015)	39
Şekil 3.13 Geometrik temelli modelleme iş akışı (Çömert, 2015).....	40
Şekil 3.14 Geoid yüzeyi belirleme yöntemleri (Şişman vd., 2023)	41
Şekil 3.15 Astro-jeodezik yöntem (Bolat, 2013)	42
Şekil 3.16 Geoid ondülasyonu (N) (Yılmaz & Erdem, 2019).....	46
Şekil 3.17 Matematik model	50
Şekil 3.18 Kurbağa Sıçrama Algoritması (Singh, 2015)	60
Şekil 3.19 Kurbağaların Memplekse Ayrılma Durumu (Karakoyun & Babalik, 2015).....	61
Şekil 3.20 Alt-mempleks örneği (Mora-Melia vd., 2016)	63
Şekil 3.21 Alt-mempleksdeki en iyi ve en kötü kurbağa gösterimi (Maaroof vd., 2022)	64
Şekil 3.22 KSO akış diyagramı	66
Şekil 3.23 Ateş Böceği (Karaarslan & Zengin, 2016)	67
Şekil 3.24 Ateşböcekleri arasındaki mesafe (Ali vd., 2019).....	69
Şekil 3.25 Ateşböceği algoritması (Louzazni vd., 2018).....	70
Şekil 3.26 AA akış diyagramı	71
Şekil 3.27 Parçacık sürü optimizasyonu analizi (C. Li, 2011).....	74
Şekil 3.28 Parçacık sürü optimizasyonu (Banerjee vd., 2022)	75
Şekil 3.29 PSO akış diyagramı.....	76
Şekil 3.30 Gri Kurt Optimizasyonu sosyal hiyerarşi (Mirjalili vd., 2014).....	78
Şekil 3.31 Gri kurtların konum vektörleri ve olası sonraki konumları (Koc vd., 2018).....	79
Şekil 3.32 Avlanma aşamasında lider takımın etkisi (Karakoyun, 2021)	80

Şekil 3.33 GKO akış diyagramı	82
Şekil 4.1 Veri setinin elde edildiği çalışma alanı.....	85
Şekil 4.2 Veri seti (Cloud Compare programında açılmış).....	86
Şekil 4.3 Çalışma Alanı	86
Şekil 4.4 3B nokta bulutu yüzey gösterimi.....	87
Şekil 4.5 1.derece polinom regresyon grafikleri.....	90
Şekil 4.6 1.derece polinom yüzey gösterimi.....	90
Şekil 4.7 2.derece polinom regresyon grafikleri.....	91
Şekil 4.8 2.derece polinom yüzey gösterimi.....	92
Şekil 4.9 3.derece polinom regresyon grafikleri.....	93
Şekil 4.10 3.derece polinom yüzey gösterimi.....	94
Şekil 4.11 4.derece polinom regresyon grafikleri.....	95
Şekil 4.12 4.derece polinom için yüzey gösterimi.....	96
Şekil 4.13 5.derece polinom regresyon grafikleri.....	98
Şekil 4.14 5.derece polinom yüzey gösterimi.....	98
Şekil 4.15 4.derece polinom eşitliği ile uyumsuz bulunan noktalar	101
Şekil 4.16 KSA'nın uyumsuz bulduğu noktalar.....	104
Şekil 4.17 KSA'nın uyumsuz bulduğu noktaların yüzey gösterimi	104
Şekil 4.18 AA Algoritması ile Uyumsuz Bulunan Noktalar	106
Şekil 4.19 AA'nın uyumsuz bulduğu noktaların yüzey gösterimi.....	106
Şekil 4.20 PSO'nun uyumsuz bulduğu noktalar	108
Şekil 4.21 PSO'nun uyumsuz bulduğu noktaların yüzey gösterimi	108
Şekil 4.22 GKO'nun uyumsuz bulduğu noktalar	110
Şekil 4.23 GKO'nun uyumsuz bulduğu noktaların yüzey gösterimi	110
Şekil 4.24 KSA ile EKK yönteminin ortak bulduğu noktalar.....	112
Şekil 4.25 KSA ve EKK yöntemlerinin ortak bulduğu uyumsuz noktaların yüzey gösterimi	112
Şekil 4.26 AA ile EKK yönteminin ortak bulduğu noktalar	113
Şekil 4.27 EKK ve AA yöntemlerinin ortak bulduğu uyumsuz noktaların yüzey gösterimi	114
Şekil 4.28 PSO ile EKK yöntemlerinin ortak bulduğu noktalar	115
Şekil 4.29 EKK ve PSO yöntemlerinin ortak bulduğu uyumsuz noktaların yüzey gösterimi	115
Şekil 4.30 GKO ile EKK yöntemlerinin ortak bulduğu noktalar	116
Şekil 4.31 EKK ve GKO yöntemlerinin ortak bulduğu uyumsuz noktaların yüzey gösterimi	117
Şekil 4.32 KSA ile AA algoritmalarının ortak bulduğu noktalar.....	118
Şekil 4.33 KSA ve AA yöntemlerinin ortak bulduğu uyumsuz noktaların yüzey gösterimi	119

Şekil 4.34 KSA ile PSO algoritmalarının ortak bulduğu noktalar	120
Şekil 4.35 KSA ve PSO yöntemlerinin ortak bulduğu uyumsuz noktaların yüzey gösterimi	120
Şekil 4.36 KSA ile GKO algoritmalarının ortak bulduğu noktalar	121
Şekil 4.37 KSA ve GKO yöntemlerinin ortak bulduğu uyumsuz noktaların yüzey gösterimi	122
Şekil 4.38 AA ile PSO algoritmalarının ortak bulduğu noktalar	123
Şekil 4.39 AA ve PSO yöntemlerinin ortak bulduğu uyumsuz noktaların yüzey gösterimi	123
Şekil 4.40 AA ile GKO algoritmalarının ortak bulduğu noktalar	124
Şekil 4.41 AA ve GKO yöntemlerinin ortak bulduğu uyumsuz noktaların yüzey gösterimi	125
Şekil 4.42 PSO ile GKO algoritmalarının ortak bulduğu noktalar	126
Şekil 4.43 PSO ve GKO yöntemlerinin ortak bulduğu uyumsuz noktaların yüzey gösterimi	126

TABLÖLER DİZİNİ

Tablo 2.1 Düzlem denklemi ve parametreleri (Weingarten, Gruener & Siegwart, 2004).....	8
Tablo 3.1 Geleneksel çözüm yöntemleri (Konakoğlu, 2014)	55
Tablo 3.2 Metasezgisel algoritmalar bazı örnekler	57
Tablo 4.1 Çalışma alanı verisi	87
Tablo 4.2 1. derece polinom eşitliği regresyon analizi sonuçları	89
Tablo 4.3 2. derece polinom eşitliği regresyon analizi sonuçları	91
Tablo 4.4 3. derece polinom eşitliği regresyon analizi sonuçları	92
Tablo 4.5 4. derece polinom eşitliği regresyon analizi sonuçları	94
Tablo 4.6 5. derece polinom eşitliği regresyon analizi sonuçları	96
Tablo 4.7 Polinomların karesel ortalama hata değerleri	99
Tablo 4.8 Uygun polinomun derecesinin belirlenmesi	101
Tablo 4.9 A Memelektindeki kurbağaların seçilme olasılıklarına göre sıralanmış hali.....	102
Tablo 4.10 B Memelektindeki kurbağaların seçilme olasılıklarına göre sıralanmış hali.....	102
Tablo 4.11 KSA uyşumsuz ölçü grubu.....	103
Tablo 4.12 AA uyşumsuz ölçü grubu	105
Tablo 4.13 PSO uyşumsuz ölçü grubu	107
Tablo 4.14 GKO uyşumsuz ölçü grubu	109
Tablo 4.15 Metasezgisel algoritmalar EKK yöntemi karşılaştırması.....	117
Tablo 5.1 Yöntemlerin birbirlerine göre ortak nokta sayıları	127
Tablo 5.2 Yöntemlerin birbirlerine göre ortak nokta sayısı yüzdeleri	128
Tablo 5.3 Yöntemlerin karesel ortalama hataları.....	129
Tablo 5.4 Metasezgisel yöntemlerin EKK yöntemi başarı yüzdeleri.....	129

1. GİRİŞ

3 boyutlu (3B) nokta bulutu, bir nesnenin veya bir alanın üç boyutlu uzayda hassas bir şekilde tanımlanması sağlayan bir veri setidir (Han vd., 2017). Veri seti 3B uzayda hassas bir şekilde tanımlanmış olan bir dizi noktadan oluşur. 3B nokta bulutları, bir nesnenin veya bir yüzeyin detaylı bir dijital temsilini sağlar. 3B nokta bulutu kullanılarak görüntü işleme, filtreleme ve yüzey belirleme işlemleri yapılır. 3B yüzey belirleme, bir nesnenin veya alanın 3B modelini oluşturulmasıdır (Richter & Döllner, 2014).

Uydu teknolojilerinin gelişimiyle birlikte, jeodezi, jeofizik gibi yerbilimi disiplinlerde daha önemli bir konu haline gelen geoid belirleme çalışmaları, bilim adamlarının özel ilgi alanı olmuştur. Geoidin anlamı tarih boyunca önemli bir kavram olmuştur. Geoidin teorik önemine ek olarak, günlük yaşantımızda da önemli pratik uygulamalara sahiptir ve farklı bilim alanlarında geniş bir kullanım yelpazesi bulunmaktadır (Sansò & Sideris, 2013). Yüksek hassasiyet gerektiren jeodezi uygulamalarında, özellikle de büyük alanlarda ölçü işlemleri yapılırken, gerçek yüzeyle referans alınan bir düzlem arasındaki farkı belirlemek için geoid belirleme işlemlerine ihtiyaç duyulur (Forsberg vd., 2000). Geoid kısaca; ortalama deniz yüzeyinde, karaların altındanda devam ettiği varsayılan düzgün olmayan bir şekil olarak ifade edilebilir (Rapp, 1974). Bu yüzey, düzensiz topografya ve yerçekimi etkileri nedeniyle düzensiz bir şekile sahiptir (Denker & Wenzel, 1987). Düzensiz ve karmaşık bir yüzey olmasından dolayı matematiksel olarak ifadesi de güçtür. Jeodezide ölçümler fiziksel dünya üzerinde yapılır, ancak ölçümler kullanılarak yapılan hesaplamalar fiziksel yüzeye olabildiğince uygun ve daha basit olan referans yüzeyi kullanılır ve referans yüzeyi ile fiziksel dünya arasındaki farka geoid ondülasyonu denir (Kenduiywo vd., 2013). Geoid ondülasyonu, coğrafi bilimlerde, jeodezi alanında ve harita yapımında önemli bir parametredir. Farklı coğrafi bölgelerde, yerel topografyanın ve yerçekimi etkilerinin bir sonucu olarak geoid ondülasyon değerleri değişiklik gösterir (Wichiencharoen, 1982). Literatürde geoid belirleme ile ilgili birçok yöntem ve birçok çalışma vardır (Das vd., 2018; Merry & Vanicek, 1974; Oduyebo vd., 2022; Sideris, 2020b; Soycan & Soycan, 2003; Udama vd., 2023). Bu yöntemlerin ayrıntılı açıklamalarına tez metninde içerisinde yer verilmiştir.

Harita mühendisliğinde 3B uygulamalarda, GNSS teknikleri ile belirlenen elipsoid yüksekliklerden ortometrik yüksekliklere geçiş için uygun bir geoid modelinin belirlenmesi önemlidir. 3B yüzey belirleme, coğrafi alanlarda detaylı bir yüzey modeli oluşturmayı amaçlayan önemli bir konudur. 3B yüzey belirleme ve geoid belirleme, coğrafi verilerin daha hassas ve doğru bir şekilde temsil edilmesine odaklanır (Tscherning, 2012). Bu doğrultuda, optimizasyon yöntemleri, belirlenen yüzey veya geoid modelinin mümkün olan en iyi uyumu sağlamak için kullanılabilir. Optimizasyon, mühendislik çalışmalarında elde edilen verilerin, ölçümlerin ve modellerin doğruluğunu artırmak amacıyla kullanılan etkili bir araç olarak karşımıza çıkar. 3B yüzey belirleme ve geoid belirleme süreçlerinde optimizasyon teknikleri, elde edilen sonuçların kalitesini artırma potansiyeli sunar (De León vd., 2015).

Mühendislik çalışmalarında doğruluğu artırmak için, bilinmeyen sayısı ile ölçüm sayısı arasındaki ilişki önemlidir. Bir problemde, bilinmeyen parametrelerin sayısı (u), ölçü sayısı (n) eşit olursa çözüm tek anlamlıdır. Ancak ölçüm sayısı bilinmeyen sayısından fazlaysa ($n > u$), birden fazla çözüm olabilir (Şişman, 2010). Bu durumda, bilinmeyen parametrelerin kesin değerleri bir amaç fonksiyonu kullanılarak optimizasyon yapılarak belirlenir (Le Goïc vd., 2012). Optimizasyonla kesin değer bulma işleminin harita mühendisliğindeki kullanımı dengeleme hesabıdır. Dengeleme hesabı ile ölçülerin ve bilinmeyenlerin kesin değeri karesel ortalama hataları ve amaç fonksiyonlarına göre belirlenir. Ölçü hataları kaba, sistematik ve rastgele olarak sınıflandırılır ve ölçülerde sadece rastgele ölçü hatası olduğu düşünülerek dengeleme hesabı yapılır. Rastgele ölçü hataları normal dağılımda olduğu kabul edilir. Ölçülerde rastgele ölçü hatası büyüklüğüne yakın kaba ve sistematik hatalar uyumsuz ölçü olarak adlandırılır. Ölçü değerleri için oluşan normal dağılıma uymayan ölçü hataları olması durumunda, ölçü kümesinin ortalamasından ve varyansından farklı bir değere sahip ölçüye "uyumsuz ölçü" denir. Uyumsuz ölçüleri belirlemek için çeşitli yöntemler kullanılır (Dasgupta & Mishra, 2004; Dielman, 2005; Ding, 2023; Johnson & Faunt, 1992; Menke, 2015; Yang vd., 2013). Uyşumlu ve uyşumsuz ölçü grubunun belirlenmesi aynı zamanda ölçülerin 2 grup halinde sınıflandırılmasıdır.

Günümüzde bilim ve teknoloji hızla ilerlerken, bu gelişmelerle birlikte karşılaşılan problemlerde değişmeye başlamıştır. Bilim ve teknolojiadaki artış, birçok alanda karşılaşılan zorlukları ve karmaşıklıkları ortaya çıkarmış, bu da problemlerin

çözümünde daha sofistike ve etkili yöntemlere duyulan ihtiyacı artırmıştır. Bu bağlamda, optimizasyon kavramı gündemde önemli bir yer edinmiştir (Gandomi & Roke, 2014). Optimizasyon, belirli bir amacın veya hedefin en iyi veya en uygun şekilde elde edilmesini amaçlayan bir matematiksel çözüm işlemidir. Bu işlemdeki temel amaç, bir sistemdeki değişkenleri, kısıtları ve amaç fonksiyonu kullanarak en iyi çözümü bulmaktır (Adby, 2013). Optimizasyon, mühendislikte, tıpta, işletmede, ekonomide, tasarımda üretimde gibi birçok bilim dalını etkileyen ve çeşitli problemlerin çözülmesini amaçlayan bir süreçtir. Optimizasyon sürecinde verilen koşullar altında en uygun çözümü bulma amacını taşır. İş süreçlerini, kaynakları ve enerji kullanımını optimize etmek, tasarımları iyileştirmek ve ekonomik kararlar almak gibi birçok alanda kullanılır (Kumar vd., 2017). Optimizasyon algoritmaları, doğadan ilham alarak problemleri çözmeye yaklaşımlarından olan yapay zeka tekniklerinin bir parçasını oluşturmaktadır. Bu optimizasyon algoritmalarını iki grup altında inceleyebiliriz. Bunlar stokastik ve deterministik algoritmalar. Stokastik optimizasyonda kendi içerisinde sezgisel ve metasezgisel algoritmalar olmak üzere iki gruba ayrılmaktadır. Sezgisel algoritmalar, makine öğrenmesi ve optimizasyon problemlerinde yaygın olarak kullanılan bir grup algoritmayı ifade eder. Makine öğrenmesinde, sezgisel algoritmalar genellikle örüntü tanıma, sınıflandırma, regresyon ve kümeleme gibi görevlerde kullanılır. Sezgisel ve metasezgisel yaklaşımlar ile optimizasyon problemleri en aza indirme veya maksimize etme problemleri olarak nitelendirilebilir (Güven & Yörükeren, 2022). Sezgisel optimizasyon algoritmaları en mükemmel çözümü bulmayı garanti etmeyen, algoritmanın ne kadar kısa sürede, ne kadar iyi çözüme ulaşıyorsa o kadar etkili olduğunu kabul edileceği bir mantık ile çalışan yaklaşımlara denilmektedir (Özçelik & Gündüz, 2019). Metasezgisel algoritmalar, genellikle belirli bir problem sınıfında genel ve esnek bir şekilde çözüm üretebilen, öğrenme ve adaptasyon yeteneklerine sahip olan algoritmalar olarak tanımlanabilir (Yang, 2011). Metasezgisel algoritmalar, geniş bir problem yelpazesine uygulanabilir ve özellikle karmaşık, çok boyutlu ve belirgin olmayan fonksiyonlarda eniyileme sorunlarını çözmek için etkili olabilir (Aytuğ, 2013). Adaptasyon yetenekleri ve problem bağımsızlıkları, bu algoritmaların farklı alanlarda başarıyla kullanılmasına olanak tanır (De León-Aldaco vd., 2015). Metasezgisel algoritmalar, çeşitli doğa olaylarından esinlenerek tasarlanan ve optimizasyon problemlerini çözmek için kullanılan geniş bir algoritma çeşitliliği içerir. Bu algoritmalarından bazıları; Ateşböceği Algoritması (Balaji, Sai Kiran, & Sunil

Kumar, 2023; Yang & Slowik, 2020), Karınca Kolonisi Optimizasyonu (Maniezzo, Gambardella, & Luigi, 2004), Parçacık Sürü Optimizasyonu (Lazinică, 2009), Yapay Arı Kolonisi, Yarasa Algoritması (Yang & He, 2013a), Köpekbalığı Koku Alma Algoritması (Onay, 2023), Kurbağa Sıçrama Algoritması (Eusuff, Lansey, & Pasha, 2006) ve Gri Kurt Optimizasyonu (Mirjalili vd., 2014) algoritmalarıdır. Ayrıca her geçen gün metasezgisel algoritmalar ile ilgili konular literatüre eklenmektedir.

Bu tezin amacı; 3B nokta bulutlarıyla yüzey belirlemede karşılaşılan mevcut yöntemlerin sınırlamalarını aşmak ve daha etkili çözümler sunmak amacıyla metasezgisel algoritmaların kullanımı araştırılmaktadır. Literatür incelendiğinde 3B nokta bulutlarıyla yüzey belirlemek için kullanılan birçok farklı yöntem olduğu görülmüştür. Harita mühendisliğinde 3B nokta bulutu ile yüzey belirleme işleminin bir uygulaması olarak geoid belirleme işlemi alınabilir. Geoid yüzeyi belirken noktaların içerisinde yüzey noktalarının olduğu gibi yüzeye ait olmayan hataya sahip uyuşumsuz noktalar bulunmaktadır. Doğru bir yüzey modeli elde edebilmek için noktaları uyuşumlu ve uyuşumsuz noktalar olarak sınıflara ayırarak verileri uyuşumsuz ölçülerden arındırmamız gerekmektedir. Bu sınıflandırma işlemi için optimizasyon yöntemlerinden birisi olan ve çeşitli problemlerde gittikçe kullanımı yaygınlaşan metasezgisel algoritmaların kullanılabilirliği araştırılmalıdır. Bugüne kadar yapılmış olan çalışmalara bakıldığında 3B nokta bulutlarıyla geoid yüzeyi belirlemede metasezgisel algoritmaların kullanımı ile ilgili çalışmalar olmadığı ve bu konuda bir boşluk olduğu görülmüştür. Bu tez çalışması ile, 3B nokta bulutlarından yüksek kaliteli ve doğru geoid yüzey modelleri elde etme sürecinde yeni bir perspektif sunarak, bilgi işleme ve analizde daha önce keşfedilmemiş olanakları araştırmayı hedeflemiştir. Bu tez çalışmasında 3B nokta bulutu verisi ile yeryüzünün şekli olan geoidin belirlenmesinde yüzeyi oluşturan noktaların uyuşumlu ve uyuşumsuz noktalar olarak sınıflandırılmasında yeni bir optimizasyon yaklaşımları içeren metasezgisel algoritmalar uygulanmıştır.

Tez çalışması 5 bölümden oluşmaktadır.

Çalışmanın birinci giriş bölümünde geoid belirleme, optimizasyon ve metasezgisel algoritmalar ve kullanımı ile ilgili bilgiler verilmiştir. Tezin amacı açıklanmıştır.

Çalışmanın ikinci bölümü kuramsal temeller ve kaynak özetleri bölümünde 3B nokta bulutu, geoid belirleme ve metasezgisel algoritmalar açıklanmış ve literatür taramaya yer verilmiştir. Literatür tarama 3 başlık altında listelenmiştir.

Çalışmanın üçüncü bölümü olan materyal ve metot başlığı altında alınmıştır. Materyal kısmında 3B nokta bulutları ve elde etme yöntemlerine ayrıntılı olarak yer verilmiştir. Metot kısmında ise 3B yüzey belirleme, geoid belirleme yöntemleri ve optimizasyon çözümlerinden bahsedilmiştir. Optimizasyon çözümlerinden, En Küçük Kareler (EKK) yönteminden, metasezgisel algoritmalarından Kurbağa Sıçrama Algoritması (KSA), Ateşböceği Algoritması (AA), Parçacık Sürü Optimizasyonu (PSO) ve Gri Kurt Optimizasyonunun (GKO) ayrıntılı çözümlerine yer verilmiştir.

Çalışmanın dördüncü bölümünde Bulgular ve Tartışma kısmında sayısal uygulama için çalışma alanı, tezin uygulaması ve algoritmaların sonuç haritaları ve kıyaslamaları bulunmaktadır. Seçilen çalışma alanı için EKK , KSA, AA, PSO ve GKO yöntemleri ayrı ayrı denenmiş ve sonuçlar haritalara dökülmüş ve incelenmiştir. Daha sonra yöntemlerin birbirleri ile karşılaştırmaları yapılmıştır.

Çalışmanın beşinci ve son bölümünde sonuç ve öneriler kısmı sunulmuştur. Yöntemlerin EKK yöntemine göre avantaj ve dezavantajları, uyumsuz ölçülerin belirleyebilme yetenekleri incelenmiş ve gelecek çalışmalar için önerilerde bulunulmuştur.

2. KURAMSAL TEMELLER VE KAYNAK ÖZETLERİ

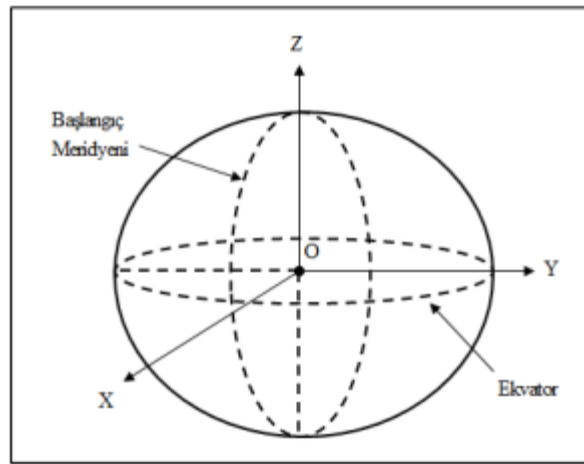
Bu kısımda 3B nokta bulutu, 3B nokta bulutlarıyla geoid belirleme ve yapay zeka, makine öğrenmesi ve metasezgisel algoritmalarla yer verilmiştir. 3B nokta bulutlarıyla geoid belirleme konularına odaklanarak, bu çalışmada kullanılacak olan metasezgisel algoritmaların temelinden bahsedilmektedir. Devamında literatür tarama kısmı yer almaktadır.

2.1. 3B Nokta Bulutu

Nokta bulutları, bir nesnenin gerçek dünyadaki detaylarını ve geometrisini hassas bir şekilde yakalamak için kullanılır. Bu veriler, bilgisayarlı tasarım, mühendislik ve analiz uygulamalarında işlenir. Özellikle inşaat sektöründe, binaların ve arazilerin ölçümü, izlenmesi ve tasarımı için nokta bulutları sıkça kullanılır.

Nokta bulutları, 3B modelleme yazılımları veya özel yazılımlar aracılığıyla görselleştirilebilir ve işlenebilir. Bu sayede nesnelerin hassas ölçümleri yapılabilir, analizler gerçekleştirilebilir ve projelerin geliştirilmesi için önemli veriler elde edilebilir (Leberl vd., 2010).

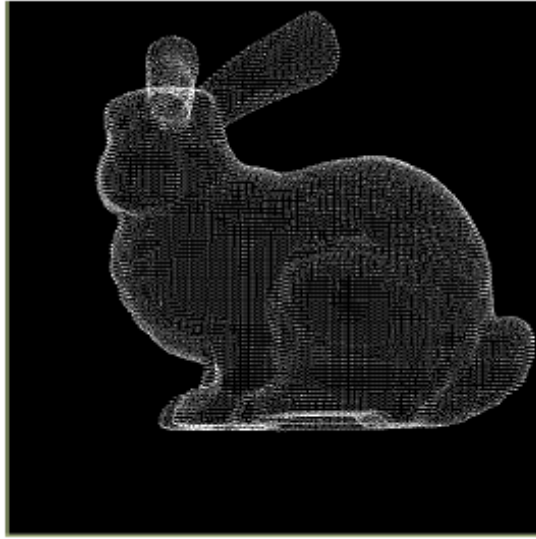
3B kartezyen koordinat sistemi başlangıç noktasının yerin ağırlık merkezi olan, birbirine dik olarak yerleşmiş 3 adet yüzeyden oluşan sistemlerdir (Şekil 2.1). 3B bir uzayda (X,Y,Z) koordinatları bir P noktasından her yüzeye inilen diklerin boylarıdır. Aynı zamanda bunlar kartezyen koordinat sistemi olarak isimlendirilir (Dilaver, 1997).



Şekil 2.1 Kartezyen koordinat sistemi (Konakoğlu, 2014)

Bir yüzeyi oluşturan çok sayıda (X,Y,Z) koordinatı ise nokta bulutu olarak isimlendirilmektedir (Zhao vd., 2018). Nokta bulutunda bir vektör uzayına ait bilgiler

koordinat sisteminde matematiksel olarak ifade edilir. 3B nokta bulutu (Şekil 2.2), bir nesnenin veya bir alanın üç boyutlu uzaydaki yüzeyini temsil eden bir veri setidir. Her bir nokta, üç boyutlu uzayda belirli bir konumu ifade eden X, Y ve Z koordinatlarına sahiptir. Bu koordinatlar, nesnenin fiziksel yapısını dijital olarak temsil eder. 3B nokta bulutları, sadece geometrik bilgileri değil, aynı zamanda noktaların yoğunluk bilgilerini de içerebilir. Bu, noktaların nesnenin fiziksel özelliklerini daha iyi yansıtabilmesini sağlar. 3B nokta bulutları, gerçek dünya nesnelerinin detaylı ve hassas dijital modellerini oluşturmak ve bu modeller üzerinde analiz yapmak için kullanılırlar ve görselleştirmek, ölçmek, planlamak ve simülasyonlar yapmak için güçlü bir araçlardır (Han vd., 2017).



Şekil 2.2 3B nokta bulutu (Tomurcuk, 2010)

3B nokta bulutları elde etmek için çeşitli yöntemler ve teknolojiler bulunmaktadır (Leberl vd., 2010). Bu yöntemlere materyal ve yöntem kısmında değinilmektedir.

2.2. 3B Nokta Bulutları ile Geoid Belirleme

3B nokta bulutları ile yüzey belirleme işlemleri sıklıkla yapılan bir işlemdir. Bu işlemde noktaların X,Y yatay koordinatları ile ilgili olarak h yükseklikleri ile yüzey belirlenmektedir. Bu işlem bir anlamda geoid yüzeyi belirleme yada geoid belirleme olarak da tanımlanabilir. 3B verilerde uygun düzlem yüzeylerin belirlenmesi için literatürde kullanılan birçok farklı yüzey formülü bulunmaktadır (Tablo 2.1).

Tablo 2.1 Düzlem denklemi ve parametreleri (Weingarten vd., 2004)

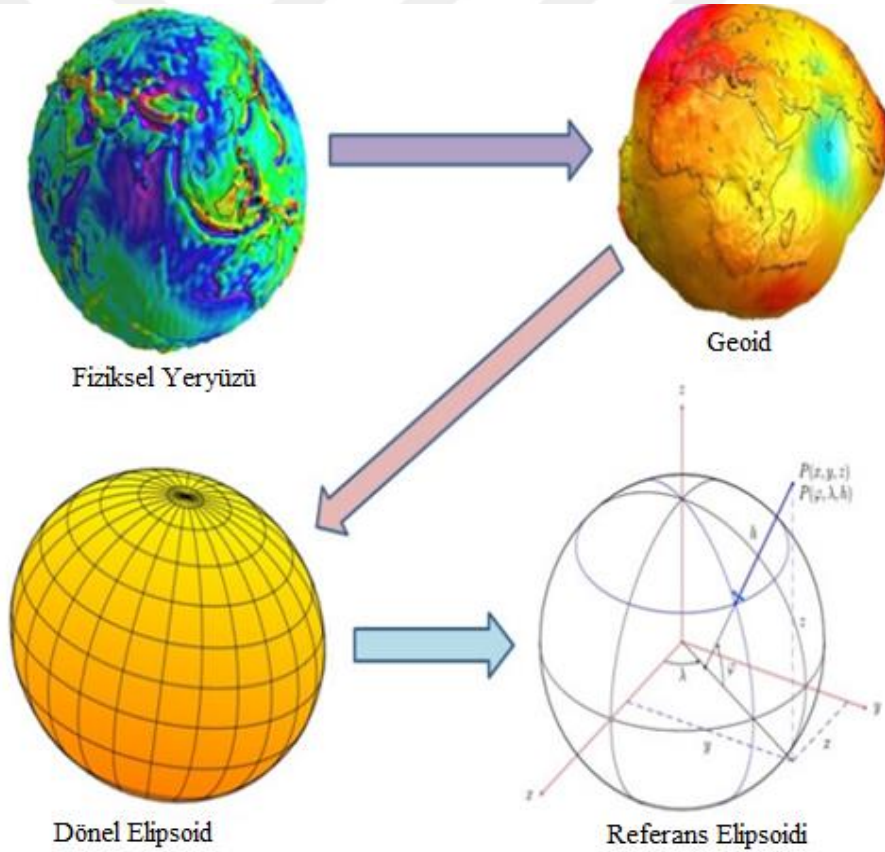
Denklem	Düzlem Parametreleri
$nx - d = 0$	$n = (n_x, n_y, n_z)^T, d$
$x.\cos\vartheta.\cos\varphi + y.\cos\vartheta.\sin\varphi + z.\sin\vartheta - p = 0$	ϑ, φ, p
$Z = a.X + b.Y + d$	a, b, d
$a.x + b.y + c.z + 1 = 0$	a, b, c

Yeryüzünün gerçek şeklini tanımlamak ve bir model oluşturmak jeodezik çalışmalar için oldukça önemlidir. Yeryüzünün fiziksel şekli, çeşitli bilimsel ve pratik amaçlar için değerlendirilmesi gereken birçok faktörü içerir. Ancak, yeryüzünün tamamının fiziksel bir modeli olarak denizlerin ve karaların atmosferle arakesitini kullanmak mümkün değildir, çünkü kara parçaları çok çeşitli engebeler ve topografik özelliklere sahiptir. Gerçek dünya yüzeyi oldukça karmaşıktır ve bu karmaşıklık, yeryüzü jeodezisi ve coğrafi bilimler için birçok zorluk doğurur (Bektaş, 2001). Bu nedenle, yeryüzünün modellenmesi için genellikle elipsoid veya geoid gibi referans yüzeyleri kullanılır. Bu modeller, dünya yüzeyinin belirli bir düzlem üzerinde temsilini tanımlar.

Dünyanın şekli hakkında yapılan varsayımlar ilk çağdan günümüze kadar sırasıyla düzlem, küre, elipsoid ve geoid olarak alınmıştır. MÖ2400 yıllarında Babillilere göre dünyanın şekli düzlem olarak alınmıştı. MÖ600 yıllarında Pisagor kardeşler düzenli yüzeyler arasından en uygun şeklin küre olması sebebiyle yeryüzünün küre biçiminde olduğunu idda etmişlerdir. 17.yüzyılın ortalarına kadar yerin şekli küre olarak kabul edilmiş ve kullanılmıştır. Daha sonra Huygens ve Newton olan Hollandalı iki fizikçi yerin kendi ekseni etrafında dönmesinden dolayı şeklinin dönel elipsoid olabileceğini idda etmişlerdir (Xiong Li & Götze, 2001). 18.yüzyılın ortalarında ise elipsoid üzerinde yapılan hesaplamalarda olan çelişkiler yeryuvarının elipsoid olmasının çekül sapmaları nedeniyle yeterli bir tanım olmadığı sonucuna varılmıştır. Bir yer noktasında elipsoid normali ile çekül doğrultusu arasındaki açı olan çekül sapması için yapılır. Yapılan ölçümler elipsoid normallerinin çekül doğrultusunda olmadığını göstermiştir. Bu amaçla 1873 yılında Listing tarafından yeryüzünün en uygun şekli olarak geoid tanımlanmıştır (Bektaş, 2009).

Geoid; dış bozucu etkilerden arınmış olarak düşünölen ortalama okyanus yüzeyinden ve bunun karaların altından da devam ettiği varsayılmasıyla oluşın kapalı bir denge yüzeyidir (Mörner, 1976). Kısacası yerçekimi alanındaki eşit potansiyel yüzeyi temsil etmektedir (Grafarend, 2020).

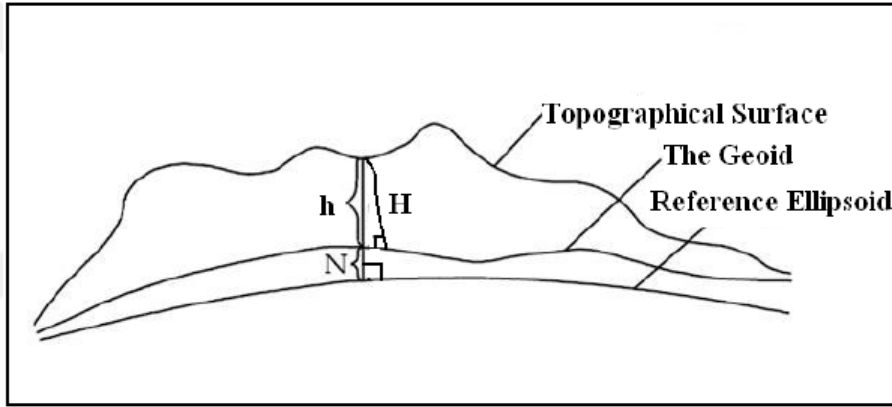
Yeryüzünün şekli olarak alınan geoidin ölçme ve hesaplamalara uygun olmaması nedeniyle bilim adamları yeni bir yüzey arayışına çıkmışlardır (Bektaş, 2009). Geoide en iyi uyum sağlayan geometrik şekil, merkezi ve dönme eksenini yerin dönme eksenine çakışık, kütlesi dünyanın kütlesine eşit olan dönel elipsoide referans elipsoid denir (Bektaş, 2001). Meridyen elipsinin küçük yarı eksen etrafında dönmesi ile oluşın dönel elipsoid kullanılmaya başlanmıştır. Üzerinde jeodezik hesaplamaların yapılacağı dönel elipsoide Helmert ‘Referans Elipsoidi’ adı verilmiştir (Bolat, 2013). (Şekil 2.3)



Şekil 2.3 Fiziksel yeryüzü, geoid, dönel elipsoid, referans elipsoidi (Bolat, 2013)

Geoid matematiksel anlamda karmaşık bir yüzey olduğu için yıllardır geoid belirleme bilimin bir konusu olmaktadır. Geoid belirleme için kullanılabilecek birbirinden farklı birçok yöntem vardır (Okiemute vd., 2019).

Yükseklik, referans alınan datum yüzeyi ile lokal yüzey arasındaki mesafedir. Datum, bir noktanın yatay ve düşey konumunu tanımlamak için başlangıç alınan referans yüzeyidir (Turoğlu, 2016). Referans yüzeyi olarak geoid ve referans elipsoidi alınması durumunda iki farklı yüzeye göre yükseklik ölçüldüğü için iki farklı yükseklik oluşur. Bu yükseklikler geoidin çekül doğrultusu boyunca ölçülen ortometrik yükseklik ve referans elipsoidinin elipsoid normali boyunca ölçülen elipsoidal yüksekliktir. GPS (Küresel Konumlama Sistemi) verilerinin değerlendirilmesiyle oluşan yükseklikler ise elipsoidal yüksekliktir (Denker & Wenzel, 1987). Bunun yanında genellikle pratik uygulamalarda elipsoidal yükseklik kullanılmaz. Bunun yerine ortometrik yükseklik kullanılır. Bu nedenle elipsoidal yükseklik ile ortometrik yükseklik arasında matematiksel ilişki kurulmalıdır (Amalvict & Boavida, 1993).



Şekil 2.4 Elipsoidal ve ortometrik yükseklik (Kenduiwo vd., 2013)

2.3. Yapay Zeka, Makine Öğrenmesi ve Metasezgisel Algoritmalar

Yapay zeka , bilgisayar sistemlerinin insan benzeri zeka gösterme yeteneğini araştıran bir bilim dalıdır. Yapay zeka; düşünme, öğrenme, problem çözme, dil anlama ve konuşma gibi zeka özelliklerini bilgisayar sistemlerine kazandırmayı amaçlar. Yapay zeka, makine öğrenmesi ve metasezgisel algoritmalar gibi alt alanları içerir ve bu alanlarda kullanılan yöntemleri, teknikleri ve stratejileri kapsar (Winston, 1984). Makine öğrenmesi, algoritmaların belirli bir görevi veya problemi performansları zamanla iyileştirebilmeleri için verilerden öğrenmesine odaklanan bir yapay zeka alt dalıdır. Makine öğrenmesi, yapay zekanın bir parçasıdır ve bilgisayar sistemlerine, belirli bir görevde verilerden öğrenme yeteneği kazandıran bir dizi teknik ve algoritma içerir. Makine öğrenmesi; sınıflandırma, regresyon, kümeleme ve desen tanıma gibi görevleri gerçekleştirmek için kullanılır (Zhou, 2021). Metasezgisel algoritmalar,

özellikle belirli bir problemde en iyi çözümü bulmak için kullanılır. Bu algoritmalar, genellikle karmaşık, çok boyutlu ve zorlu optimizasyon problemleriyle başa çıkmak için tercih edilir (Yang, 2010b).

Metasezgisel kavramı literatüre ilk defa 1986 senesinde girmiştir. Glover tarafından kullanılan bu “metasezgisel” terimi Yunanca’da “daha ilerisi, üst derecede olanı, daha modern” anlamına gelen “meta” ile İngilizce’de “sezgisel, buluşsal” anlamına gelen “heuristic” kelimelerinin birleşmeleri ile oluşmuştur. Ayrıca bu “Metasezgisel” kavramı, “Modern Sezgisel” veya “Yapay Zeka Yaklaşımı” olarak da geçmektedir. Metasezgisel algoritmalar genellikle doğadan ilham alır ve genellikle karmaşık en iyileme problemleri için kullanılır (Blum & Roli, 2003). Bu algoritmalar, sürü zekâsına dayanır ve optimizasyon yöntemlerinin başarılı olamadığı durumlarda etkili ve uygun çözümler üretebilirler. Meta düzeyde çalışırlar ve genel sezgisel yaklaşımları kullanarak çeşitli optimizasyon problemlerine uygulanabilirler (De León-Aldaco vd. 2015). Metasezgisel yöntemler, doğadaki olaylardan esinlenerek tasarlanmış kesin çözüm yöntemleri ile makul sürede çözülemeyen karmaşık optimizasyon problemlerinin çözümü için tasarlanmış algoritmalarlardır. Kolay anlaşılır ve uygulanabilir olmasından dolayı farklı tür problemlerin çözümünde günümüzde yaygın olarak kullanılmaktadır (Şahin & Eroğlu, 2014).

Blum ve Roli, metasezgisel yöntemler hakkında aşağıdaki genellemeleri yapmıştır (Blum & Roli, 2003);

- Metasezgisel yöntemler arama prosesi sırasında kılavuzluk yapan stratejilerdir,
- Genel amaç, optimum yada optimuma olabildiğince yakın sonuçlar elde etmektir,
- Bu yöntemler lokal arama tekniklerinden, karmaşık arama tekniklerine kadar yaygınlık gösterir,
- Genellikle yaklaşık yöntemlerdir,
- Metasezgisel yöntemler probleme özel yöntemler değildirler. Genellikle çoğu probleme uygulanabilirler.

Metasezgisel algoritmaların farklı türleri vardır. Bunlar; (Tarantilis vd., 2005);

- Doğadan esinlenerek ve doğadan esinlenmeden geliştirilenler,
- Populasyon tabanlı ve tek nokta algoritmalar,
- Dinamik amaç fonksiyonlu ve statik amaç fonksiyonlu algoritmalar,

- Tek komşu yapılı çok komşu yapılı algoritmalar,
- Hafıza kullanan ve hafıza kullanmayan algoritmalar

olarak verilebilir.

Bu şekilde geliştirilen bazı Metasezgisel Algoritma yöntemleri; Ateşböceği Algoritması, Karınca Kolonisi Optimizasyonu, Parçacık Sürü Optimizasyonu, Yapay Arı Kolonisi, Yarasa Algoritması, Ateş Böceği Algoritması, Köpekbalığı Koku Alma Algoritması, Kurbağa Sıçrama Algoritması ve Gri Kurt Optimizasyonu algoritmalarıdır (Qaraghuli vd., 2022; Askarzadeh, 2016; Banzhaf vd., 1998; Cheng & Prayogo, 2014; Eusuff vd., 2006; Eusuff & Lansey, 2003; Gohil & Patel, 2022; Güven & Yörükeren, 2022; Karaboga & Basturk, 2008; Kaveh & Yousefpoor, 2022; Lazinica, 2009; Maniezzo vd., 2004; Neumann & Witt, 2010; Pattnaik vd., 2021; Saremi vd., 2017; Yang, 2010a, 2010b; Yang & He, 2013a, 2013b). Metasezgisel algoritmalar sürekli yenilenmeye ve gelişmeye devam etmektedir.

2.4. Literatür Taraması

Literatürde geoid belirleme ile ilgili çalışmalar oldukça eskiye dayanmaktadır. Yeryüzünün şekline her zaman merak duyulmuştur. Teknolojinin ilerlemesiyle birlikte, artık yüzeyler, özellikle yeryüzü gibi karmaşık yapılar, 3B nokta bulutları aracılığıyla daha etkili bir şekilde ifade edilebilmektedir.

Bu tez çalışmasının literatür tarama kısmı tezin konusu ve içeriği de dikkate alınarak 3 alt başlık halinde verilmiştir. Birinci başlıkta 3 boyutlu nokta bulutu ile ilgili belli başlı yerli ve yabancı çalışmalara yer verilmiştir. İkinci başlıkta geoid belirleme ile ilgili yapılan bazı yerli ve yabancı çalışmalar özetlenmiştir. Üçüncü başlıkta optimizasyon algoritmalarından metasezgisel algoritmalara değinilmiş genel bir kaynak araştırmasının yanında bu çalışmada yer verilen Kurbağa Sıçrama Algoritması (KSA), Ateşböceği Algoritması (AA), Parçacık Sürü Optimizasyonu (PSO) ve Gri Kurt Optimizasyonuna (GKO) ağırlık verilmiştir.

2.4.1. 3B Nokta Bulutu İle İlgili Literatür Taraması

Wang, Huang, Bian ve Sun (2007); çalışmada 3B lazer tarama teknolojisi ile kolayca elde edilen 3B nokta bulutu verilerinin üçgenlenmesi için 3B Delaunay üçgenlenmesi çözümü açıklanmış ve önerilmiştir.

Schnabel, Wessel, Wahl ve Klein (2008); çalışmasında 3B nokta bulutu verilerindeki daha küçük detayların seçilmesi problemini ele almaktadır. Büyük nokta bulutlarında pencere kapı gibi daha küçük detayların hızlı tespiti bir yaklaşım sunulmaktadır. Mimari alanla ilgili çeşitli senaryolardaki deneysel sonuçlar, yaklaşımımızın uygulanabilirliğini göstermiştir.

Rusu ve Cousins (2011); çalışmasında nokta bulutu algılama alanındaki en son girişimlerden birisi sunulmuştur. Point Cloud Library (PCL); 3B nokta bulutu algılama konusunda gelişmiş ve kapsamlı bir yaklaşımını sunmaktadır. Uygulama kütüphane, filtreleme, özellik tahmini, yüzey yeniden yapılandırma, kayıt, model uydurma ve segmentasyon için algoritmalar içermektedir. PCL, robotik ve algı araştırmacılarından oluşan uluslararası bir topluluk tarafından desteklendiği belirtilmiştir.

Oliveira ve Centeno (2011); çalışmasında bir menzil kamera ile elde edilen 3B verilerin kalitesini incelenmektedir. Elde edilen veri kümesinde nesnenin düz yüzeylerini tanımlamak için veri kümesi gruplandırılmıştır. Bölümlemenin çözümü, sınırların vurgulandığı yeni bir görüntü oluşturmak için küçük bir hareketli pencere kullanarak yerel öz değerlerin hesaplanmasına dayanmaktadır. Nesnenin boyutları referans değerlerle karşılaştırma yapılmış ve 2 cm civarında hatalar elde edildiği açıklanmıştır.

Samtaş ve Gülesin (2012); çalışmasında sayısal görüntülerden 3B nokta bulutlarının elde edilmesi için kullanılan yöntemlerden bahsedilmektedir. Görüntü işleme teknikleri kullanılarak 3B nokta bulutu elde etme yöntemlerinin iş akışı ve programı verilmiştir. Çalışmanın sonunda geliştirilen diğer sistemler ile kullanılan sistem karşılaştırılarak avantajları belirtilmiştir.

Nguyen ve Le (2013); çalışmasında 3B nokta bulutlarının sınıflandırılması için önerilen yöntemler incelenmiştir. Bu yöntemlerin avantajları ve dezavantajları analiz edilmiş ve tartışılmıştır. Son olarak, gelecekteki umut verici araştırma yönleri özetlenmiştir.

Morell, Orts, Cazorla ve Garcia-Rodriguez (2014); çalışmasında 3B nokta bulutlarını seyreltilmesi sistemi önerilmektedir. Seyreltme sisteminin farklı veri yoğunluğu ve doğruluk oranına ulaşmak için özelleştirilebileceği belirtilmiştir.

Fazeli, Samadzadegan ve Dadrasjavan (2016); çalışmasında özelleştirilmiş tek frekanslı RTK modülü ile donatılmış alçak irtifalı küçük otonom bir İHA (İnsansız

Hava Aracı)' dan toplanan görüntüleri kullanarak çeşitli 3B nokta bulutu verisi oluşturulmuş ve değerlendirmektedir. Yapılan deneylerin sonuçları önerilen sistemle 3B nokta bulutu için dm doğruluk seviyesinin elde edileceği ve 3B hızlı haritalama uygulamaları için uygun olduğunu göstermiştir.

Han vd. (2017); çalışmasında 3B nokta bulutu filtrelemeye yönelik son teknoloji yöntemlerin kapsamlı bir analizi sunulmuştur. Uygulamada yaygın olarak kullanılan çeşitli yöntemlerin sağlamlığı, etkinliği ve verimliliği için deneysel çalışmalar yapılmıştır.

Tchapmi, Choy, Armeni, Gwak ve Savarese (2017); çalışmasında 3B nokta bulutu düzeyinde veriyi gruplandırmak için SEGCloud isimli yöntem sunulmaktadır. Önerilen yöntem iki iç mekan ve iki dış mekan 3B nokta bulutu verisi üzerinde denenmiştir. Çalışmanın sonucunda tüm veri kümelerinde en son teknolojiyle karşılaştırılabilir bir performans elde edildiği belirtilmiştir.

Tchapmi vd. (2017); çalışmasında 3B nokta bulutu verilerinin düzensiz ve sınırsız olmasından dolayı PointConv adı verilen bir filtre önerilmektedir. PointConv yönteminin sonuçları ile son teknoloji sonuç verilerine yaklaşıldığı söylenmiştir.

Cao, Preda ve Zaharia (2019); çalışmasında 3B nokta bulutlarının çoğunlukla kalabalık veri gruplarından oluştuğu ve bu veri gruplarının saklanması, depolanması ve iletilmesi için uygun sıkıştırma yöntemlerinin kullanılması gerektiğinden bahsedilmektedir. Bu çalışmada özellikle bu konuyla ilgili son teknolojik yöntemlere genel bir bakış yapılmıştır.

Zegaoui, Chaumont, Subsol, Borianne ve Derras (2019); çalışmasında bir bölgeyi haritalaması yapmak için LİDAR (Light Detection and Ranging- Işın Algılama ve Mesafe Ölçme) kullanılmış ve 3B nokta bulutu verisi elde edilmiştir. Derin öğrenme yöntemleri ile elde edilen veri setindeki kentsel nesnelerin tespiti çalışması yapılmıştır. Bulunan sonuçların umut verici olduğu belirtilmiştir.

Ulvi, Yakar, Yiğit ve Kaya (2020); çalışmasında Aksaray ilindeki Kızıl klisesini belgeleme amaçlı fotogrametrik röleve çalışmasını içermektedir. Klasik ölçme teknikleri ve İHA platformu yardımıyla eserin fotoğrafları çekilmiştir. Yapılan çalışmalar sonucunda Kızıl Kilisenin dış cephesinin ölçekli çizimleri, üç boyutlu modeli ve nokta bulutları elde edilmiştir.

Guo vd. (2020); çalışmasında nokta bulutları için derin öğrenme yöntemlerindeki son gelişmelerin kapsamlı bir incelemesini sunmaktadır. 3B şekil sınıflandırma, 3B nesne algılama ve izleme ve 3B nokta bulutu segmentasyonu dahil olmak üzere üç ana görevi kapsamaktadır.

Kanun, Metin ve Yakar (2021); çalışmasında Türkiye’de yer alan ve Selçuklu döneminde inşa edilmiş tarihi bir kervansaray olan Ağzıkara Han’ın 3B nokta verilerinin oluşturulması maksadıyla yersel lazer tarama yöntemi kullanılmıştır. Lazer tarama işlemi ile nokta bulutu verisi elde edilmiştir.

Şenol, Yiğit, Yunus ve Ali (2021); çalışmasında yakın resim fotogrametri ile İHA fotogrametrisi teknikleri kullanılarak veri füzyonu oluşturulmuş ve Kanlıdivane bazilikasının sayısal platformda fotogerçekçi doku kaplanarak 3B nokta bulutu elde edilmiştir. Çalışma sonunda elde edilen bulgular karşılaştırılmıştır.

Hariz vd. (2021); çalışmasında Eşzamanlı Konum Belirleme ve Haritalama (SLAM) algoritmasına ve Robot İşletim Sistemine (ROS) dayalı olarak gerçek dünya koordinatlarıyla büyük ölçekli 3B nokta bulutu haritalarının toplanması, modellenmesi ve üretilmesi için verimli bir yaklaşım önermektedir. Önerilen yaklaşım, ± 5 cm’ye kadar doğrulukla yüksek çözünürlüklü coğrafi referanslı nokta bulutu haritalarını etkili bir şekilde oluşturabilir.

Demirtas (2022); çalışmasında Lazer tarama sistemleri ile taranan nesneler 3B nokta bulutuna dönüştürülmüş ve bu verilerin sanal ortama aktarılması ile farklı veri setleri elde edilmiştir. 3B noktasal verileri derin ağlar ile başarılı bir şekilde sınıflandırmak için geliştirilen yöntemler detaylı bir şekilde incelenmiştir. Nokta bulutlarına 3B koordinat sistemi ile birlikte farklı bilgiler dâhil ederek farklı boyutlarda veya farklı yoğunlukta nokta bulutları oluşturulmuştur.

Günen (2022); çalışmasında fotogrametrik olarak elde edilen Fuji elma bahçesi 3B nokta bulutu veri seti kullanılarak Fuji elmalarının mekânsal konumlarının belirlenmesi için yeni bir çerçeve önerilmiştir.

Kabadayı ve Erdoğan (2023); çalışmasında Yozgat ilindeki Çilekçi türbesini belgeleme amaçlı fotogrametrik röleve çalışması yapılmıştır. Çalışmanın sonucunda yapının modeli ve 3B nokta bulutu elde edilmiştir.

Akay (2023); çalışmasında İstanbul Teknik Üniversitesi Ayazağa Kampüsü yüksek çözünürlüklü nokta bulutu ve 3B model üretilmesi ile bu verilerin sanal ve

çevrimiçi platformlarda farklı perspektiflerde kullanımının gösterilmesidir. Böylelikle kullanıcılar kampüsü fiziksel temas olmadan gezebilmektedir.

Kaya ve Polat (2023); çalışmasında yersel lazer tarayıcı ile elde edilen 3B nokta bulutu verilerinden düzlem parçalarını doğru bir şekilde ortaya çıkarmayı gösteren iş akışı verilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre, farklı nokta sayısı ve doğrultuya sahip düzlemlerin tespit edilebilmesi, uygulanan metodolojinin geliştirilebilir olmasına rağmen etkili ve başarılı olduğunu göstermektedir.

Stilla ve Xu (2023); çalışmasında 3B nokta bulutu verisi üzerinden kentsel nesnelerin tespiti için kapsamlı bir inceleme sunmaktadır. İncelemenin sonucunda veri kümelerinin güvenilirliği, sonuçlardaki belirsizlik ve değişiklik tespitinde anlambilimin katkısı gibi kalan bazı konular tespit edilmiş ve tartışılmıştır. Sonuç olarak bu inceleme, beklenen uygulamaların acil ihtiyaçlarını karşılamak için ileriye dönük araştırma yönlerine ışık tutmaktadır.

Bu literatür incelemesi sonucunda 3B nokta bulutları kullanılarak yüzey belirleme yaklaşımlarının yapıldığı fakat geoid yüzeyi belirleme çalışmalarının GNSS (Global Navigation Satellite Systems- Küresel Konum Belirleme Sistemi)/nivelman ile polinomsal yöntemlerle çözümle sınırlı kaldığı görülmüştür. GNSS/Nivelman çözümünde farklı optimizasyon yöntemlerinin kullanılmadığı görülmüştür.

2.4.2. Geoid Belirleme İle İlgili Literatür Taraması

Merry ve Vanicek (1974); çalışmasında Astro-gravimetrik yöntemi ile geoid belirlenmesinin ayrıntılı formülleri ve yöntemin kullanılma şekli anlatılmıştır.

Rapp (1974); çalışmasındada bölgesel geoid belirleme çalışmaları astrjeodezik yöntemler ile yapılmıştır. Geoidin belirlenmesi için gravimetrik veriler, dünyanın yerçekimi alanıyla ilgili uydudan elde edilen bilgiler veya iki tekniğin bir kombinasyonu kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

Forsberg vd. (2000); çalışmasında havadan jeoit belirlemenin temel ilkeleri ana hatlarıyla açıklanmış ve Kuzey Denizi ve Grönland'daki son havadan gravite ve jeoit araştırmalarının sonuçlarından örnekler verilmiştir.

Omang ve Forsberg (2000); çalışmasında geoid belirlemede üç farklı yöntem incelenmiştir. Kullanılan üç farklı yöntem, GPS nivelman ağları ile karşılaştırıldığında

5 cm seviyesinde neredeyse aynı sonuçları üretmekte olduğu, fakat küçük sistematik farklılıklarda olduğu belirtilmiştir.

Novák, Vaníček, Véronneau, Holmes ve Featherstone (2001); çalışmasında Kanada'daki son bölgesel yüksek frekanslı geoid hesaplamalarında ayrık sayısal entegrasyon ve hızlı Fourier dönüşümü kullanılmıştır. Bu iki teknik, yapay bir yerçekimi alanı kullanılarak sayısal doğrulukları açısından test edilmiştir.

Novák (2003); çalışmasında önerilen model gözlemlenen gravite değerlerinin uluslararası elipsoid veya geoid ile ilişkili gravite potansiyeline dönüştürülmesine dayanmaktadır. Önerilen bu modelin, birinci ve ikinci/üçüncü sınır-değer problemlerinin çözümünü birleştirmekte ve yerçekimi bozukluklarını veya anomalilerini doğrudan elipsoid veya geoiddeki harmonik olarak aşağı doğru devam eden bozucu potansiyele dönüştürdüğü belirtilmiştir. Ayrıca sayısal testlerin, yeni yaklaşımın yer gravitesi verilerinden geoidin belirlenmesi için verimli ve kararlı bir çözüm sunduğunu söylemiştir.

Featherstone (2003); çalışmasında geoid belirlemede sıklıkla kullanılan beş farklı modifiye Stokes fonksiyonu kendi içinde tutarlı bir çerçevede özetlenmiştir.

Kuhn (2003); çalışmasında Stokes fonksiyonunun teorisi içinde nasıl hareket ettiğine dair genel bir bakış verilmiştir. Güneybatı Almanya'daki bir test alanındaki sayısal sonuçlar, farklı yoğunluk hipotezleri nedeniyle geoid yüksekliğindeki farklılıkların 1 dm'den daha büyük bir büyüklüğe ulaşabileceğini göstermiştir. Bu sonuçla cm hassasiyetinde hassas bir geoid belirlendiğinin elde edildiği belirtilmiştir.

Arslan ve Yılmaz (2005); çalışmasında geoid belirleme yöntemlerinden ve bu yöntemlerin ayrıntılı açıklanmaları yapılmıştır. Çalışmanın sonucunda ise bu yöntemlerden en uygunun, eldeki verilerin çeşitliliğine ve beklentiye göre belirlenmesi olduğu belirtilmiştir.

Akiz ve Yerci (2009); çalışmasında mevcut Türkiye Jeoidi-2003 (TG-03) modeli kullanılarak GPS ile elde edilen elipsoid yüksekliklerinden ortometrik yüksekliklerin hesaplanması açıklanmakta ve çeşitli uygulamalar verilmektedir.

Akyılmaz ve Ayan (2010); “çalışmasında Yapay Sinir Ağları (YSA) ve Bulanık Çıkarım Sistemleri (BÇS) jeodezinin en önemli problemlerinden birisi olan geoid belirleme çalışmalarının çözümü için kullanılmıştır. Çalışmanın sonucunda bu

yöntemlerin jeodezik problemlerin çözümü için uygun yöntemler olduğu sonucuna varılmıştır.

Turen (2010); çalışmasında konusu 40x70 km'lik alanı kapsayan altı noktalı bir GPS ağında gerçekleştirilen astronomik gözlemler ve çekül sapması bileşenlerine dayalı astrojeodezik nivelman uygulaması yapılmıştır. Çalışmanın sonucuna bakıldığında ve çalışma sahasının büyüklüğü göre değerlendirildiğinde, astrojeodezik yöntemin diğer geoid belirleme yöntemlerine göre zaman ve maliyet açısından büyük kazanç sağladığı sonucuna varılmıştır.

Fırat ve Deniz (2011); çalışmasında üç tarafı denizler ile çevrelenmiş olan ülkemizde, yaklaşık onbeş yıllık uydu altimetre verisi kullanılarak, Doğu Akdeniz bölgesinin En Küçük Karelerle Kolokasyon yöntemi ile yüksek doğruluklu gravite alanı ve daha sonra da yüksek doğruluklu geoidin belirlenebilmesi olanakları araştırılmıştır.

Sideris (2012); çalışmasında geoid belirlemede Fourier tabanlı yöntemlerden Hızlı Fourier dönüşümü anlatılmıştır. Yöntemin geoid belirlemede kullanılan özel formüllerine yer verilmiştir.

Tscherning (2012); çalışmasında bölgesel veya yerel geoid belirleme yaklaşımının belirlenmesi için 3B En Küçük Kareler Kollokasyonunun kullanımı açıklanmıştır. New Mexico, ABD'den alınan veriler kullanılarak yapılan örnekler, yöntemin sonuçları verilmiştir.

Sorkhabi (2015); çalışmasında İran'dan seçilen çalışma alanı için 3 farklı yöntemle (Geri Yayılımlı Yapay Sinir Ağı, Kollokasyon, Stokes fonksiyonu) geoid belirleme yapılmıştır. Elde edilen sonuçlar karşılaştırılmış ve en iyi yöntem tanıtılmıştır. Sonuç verilerine göre Geri Yayılımlı Yapay Sinir Ağı yönteminin geoid belirlemede kullanılabilecek mükemmel bir yöntem olduğu sonucuna varılmıştır.

Kahveci, Tuşat, Yıldız, Fatih ve Mikailsoy (2018); çalışmasında geoid belirlemede istenen doğruluk seviyelerine ulaşılabilceğini kanıtlamak için Selçuk Üniversitesi'nin kaynakları kullanılarak yerel bir gravimetrik ve yarı-jeoit belirleme projesidir. Proje alanı Konya dahil olmak üzere Orta Anadolu'nun sınırlı bir bölümünü kapsayacak şekilde planlanmıştır.

Şişman ve Elevli (2018); çalışmasında hesaplanan geoid ondülasyonu değerleri kullanılarak En küçük kareler kollokasyon ve Kriging interpolasyon yöntemlerine göre

lokal geoid yüzeyi belirlenmiştir. Uygulamanın sonunda, her iki yöntemden elde edilen karesel ortalama hatalar karşılaştırılmış ve yöntemlerin avantajları belirlenmiştir.

Yılmaz ve Erdem (2019); çalışmasında bulanık mantık yönteminden birisi olan ve çalışmalarda da sıklıkla kullanılan Sugeno yöntemine göre geoid belirleme işlemi yapılmıştır. Toplam 262 nokta ile en uygun bulanık modeli bulmak için Tekirdağ'da dört farklı alt bölgede uygulama yapılmış. Sonuçlar değerlendirilmiş ve bölge için bulanık mantık yönteminin geoid hesabı için kullanılabileceği gösterilmiştir.

Jalal vd. (2019); çalışmasında yerel geoid modelinin doğruluğu üzerinde etkili faktörlerin yanı sıra her bir faktörün etki miktarını nicel olarak bulma çabalarını sunmaktadır. Metodoloji, farklı ülkelerin yerel jeoit modellerine ilişkin 16 makalenin nicel özelliklerinin çıkarılmasını kapsamaktadır. Bu çalışmanın sonuçları daha doğru yerel geoid modellerinin geliştirilmesine yardımcı olacağı belirtilmiştir.

Oluyori ve Okiemute (2020); çalışmasında Abuja bölgesinin geoid modelinin doğruluğunu daha yüksek dereceli polinom kullanarak yüzeyi iyileştirmeyi denemektedir. Çalışma alanının geometrik geoid modelinin doğruluğunu artırmak için daha önce kullanılan 24 noktadan oluşan mevcut geoid yüksekliklerine beşinci dereceden bir polinom yüzeyi En Küçük Kareler yöntemine göre oluşturulmuştur. Karşılaştırma sonucu, beşinci derece polinom yüzeyin çalışma alanına en iyi uyumu sağladığı sonucuna varılmıştır.

Alper ve Konakoglu (2020); çalışmasında genelleştirilmiş regresyon sinir ağı (GRNN), ağırlıklı ortalama (WA), multiquadric (MQ), ters multiquadric (IMQ) fonksiyonu ve yerel polinom (LP) yöntemi kullanılarak Türkiye'nin doğusunda yer alan Kars ili sınırları içerisindeki 641 GNSS/nivelman noktasına dayalı en uygun yerel geoid modelinin belirlenmesi amaçlanmıştır. Analiz, GRNN'nin diğer enterpolasyon yöntemlerinden daha iyi sonuçlar verdiğini göstermiştir.

Jalal, Musa, Din, Wan Aris ve Pa'suya (2022); çalışmasında yapay yersel gravite verilerini kullanarak geoid modeli geliştirmiştir. Ortometrik yüksekliği belirlemek için GNSS kullanımı, bölgedeki hassas geoid modellerinin eksikliği nedeniyle kısıtlanmıştır. Sonuç olarak, bu yeni sistem, gravite verilerini enterpole etmek yerine matematiksel olarak yapay yerel geoid modellerinin doğruluğunu artırdığı görülmüştür.

Deng, Chang, Huang, Zeng ve Chen (2022); çalışmasında havadan alınan vektör gravimetrik veriler kullanılmıştır. Bu vektör gravimetrik verilerin yatay bileşenlerini kullanan genel bir bant sınırlı yatay sınır değer problemi formüle edilmiş ve bölgesel geoidi hesaplamak için çözülmüştür. Daha sonra jeoidal dalgalanmaların Bruns formülüne göre kolayca elde edilebildiği belirtilmiştir.

Merve ve Çakır (2023); çalışmasında Trabzon ilinde ITRF96 (International Terrestrial Reference Frame 1996 - Uluslararası Yersel Referans Sistemi 1996) koordinat sistemindeki 455 adet GNSS/Nivelman noktası kullanılarak en uygun yerel geoidin belirlenmesi amaçlanmıştır. Ayrıca uygulamada çalışma bölgesi için nokta yoğunlukları farklı iki durum oluşturulmuş ve nokta sayısının geoid modelleme üzerindeki etkisi incelenmiştir. İstatistiksel sonuçlar ve grafikler incelendiğinde geoid belirlemede polinomlarla enterpolasyon yöntemiyle kıyaslandığında en küçük kareler destek vektör makineleri yönteminin daha iyi duyarlılığa sahip olduğu sonucuna varılmıştır.

Soycan, Yılmaz ve Soycan (2023); çalışmasında küresel, bölgesel ve yerel geoid modelleri için kalite testleri sunulmaktadır. Bu amaçla mevcut geoid modelleri Türkiye'deki üç farklı coğrafi konumda yükseklik dönüşümü değerlendirilmiştir. 3 test alanı içinde geoid modellerinin karşılaştırma sonuçları sunulmuştur.

Udama vd. (2023); çalışmasında uydu, hava ve yersel gravite verileri birleştirilerek Bali Adası üzerindeki geoid modellenmiştir. Hesaplamalar En Küçük Kareler Kollokasyonu ve Kaldır-Hesapla-Geri Yükle (RCR) teknikleri kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Çalışmanın sonucunda Bali üzerindeki GNSS verilerinin önemli hatalar içerdiği ve bu hataların geometrik düşey sapmaların analizine dayalı olarak azaltıldığı gösterilmiştir. Gravimetrik geoid modellerinin doğruluğunu daha güvenilir bir şekilde test etmek için daha yüksek doğruluğa sahip bir veri seti gerektiği belirtilmiştir.

Şişman, Banasik ve Maciuk (2023); çalışmasında Türkiye'nin Samsun ili için uygun polinom derecesini belirlemek amacıyla geoid yüzeyi olarak 1,2 ve 3.dereceden polinom yüzeyleri alınmış ve En Küçük Kareler modelleri kullanılarak çözümü yapılmıştır. Uygulama sonucunda elde edilen sonuçlar karşılaştırılmış ve gelecekteki uygulamalar için bazı önerilerde bulunulmuştur.

Grebenitcharsky vd. (2023); çalışmasında hibrit KSA-Geoid21 modelinin tahminleri açıklanmaktadır. Çeşitli testlerden sonra, gravimetrik KSA-Geoid21 geoid modeli ile GNSS/Nivelman geoid yükseklikleri arasındaki düzeltilmiş artıkların 10,3 cm mutlak farkıyla sonuçlanan ikinci dereceden bir polinom modeli seçilmiştir. Bir önceki geoid modeli olan KSA-Geoid2017 ile karşılaştırıldığında, ortalama 1,1 cm'lik bir iyileşme ile kriterlerin %75,2'sinde iyileşmiş kalıntılar bulunurken, geri kalan %24,8 için ortalama 0,7 cm'lik bir bozulma bulunmuştur.

Lestari vd. (2023); çalışmasında Endonezya'nın Java bölgesinin orta kesimindeki yerel geoid modelini yersel tabanlı yerçekimi gözlemlerini kullanarak modellenmiştir. Geoidi modellemek için Kaldır-Hesapla-Geri Yükle yaklaşımı altında ikinci Helmert yoğunlaştırma yöntemi ile Stokes formülü uygulanmıştır. Bu geoid sonucu, geoid ondülasyonu farklarının tahmini standart sapması 10.7 cm olan EGM2008'in yaygın olarak benimsenen küresel modelinden daha iyi performans göstermiştir.

Bu inceleme sonucunda geoid belirlemede son yıllarda farklı optimizasyon çözümleri sağlayan makine öğrenmesi konularına doğru geçiş olduğu fakat metasezgisel algoritmaların kullanılmadığı görülmüştür.

2.4.3. Metasezgisel Algoritmalar İle İlgili Literatür Taraması

Kennedy ve Eberhart (1995); çalışmasında PSO kullanılarak doğrusal olmayan fonksiyonların optimizasyonu için bir kavram tanıtılmıştır. Çalışmada PSO ile hem yapay yaşam hem de genetik algoritma arasındaki ilişkiler açıklanmaktadır.

Coello, Pulido ve Lechuga (2004); çalışmasında Pareto baskınlığının PSO'na dahil edildiği ve bu metasezgisel yöntemin çeşitli amaç fonksiyonlarına sahip problemleri ele almasını sağlayan bir yaklaşım sunulmaktadır. Önerilen yaklaşım evrimsel çok amaçlı optimizasyon üzerine standart literatürden alınan çeşitli test fonksiyonları kullanılarak doğrulanmıştır.

Eusuff vd. (2006); çalışmasında farklı memleketslere bölünmüş bir dizi etkileşimli sanal kurbağanın hareketleri ile oluşturulmuş KSA'sı geliştirilmiştir. Çalışmanın sonucunda KSA'nın optimizasyon problemlerini çözmek için etkili bir araç olabileceği sonucuna varılmıştır.

Amiri, Fathian ve Maroosi (2009); "çalışmasında kümelemede KSA'nın (SFLK-means) bir uygulaması önerilmiştir. Bu algoritma kümelemede kullanılan birçok farklı

metasezgisel algoritma ile gerçek veri seti üzerinde denenmiştir. Çıkan bulgularla önerilen algoritmanın diğerlerinden daha iyi çalıştığı söylenmiştir.

Pan, Wang, Gao ve Li (2011); çalışmasında Etkili KSA'sı önerilmektedir. Orijinal KSA'nın aksine önerilen algoritma bireyi veya kurbağayı bir iş permütasyonu olarak temsil eder ve yeni aday çözümşer üretmek için bir çarpazlama işlemi kullanır. Çalışmanın sonucunda önerilen algoritmanın iyi performans gösteren algoritmalara karşı etkinliği denenmiştir.

Xue, Zhang ve Browne (2012); çalışmasında özellik seçimi için PSO'nu kullanılarak. İki geleneksel özellik seçim yöntemi, iyi bilinen üç evrimsel çok amaçlı algoritma ile oniki kıyaslama veri seti üzerinde deneme yapılmıştır.

Ölüç (2013); çalışmasında metasezgisel algoritmalarından olan KSA Gezgin Satıcı Probleminde kullanılmıştır. Çalışmanın sonucunda birtakım testler yürütülmüş ve test sonuçları ile birlikte çeşitli çıkarımlara varılmıştır.

Gandomi, Yang, Talatahari ve Alavi (2013); çalışmasında AA'na kaos eklenerek farklı katolik durumlar ile kıyaslama problemi üzerinde detaylı incelemeler yapılmıştır. Burada AA'nın çekici hareketini ayarlamak için oniki farklı durum kullanılmıştır. Çalışmanın sonucunda bazı durumlarda kaotik ateşböceği bazı çalışmalarda standart ateşböceğinin daha doğru sonuç verdiği görülmüştür.

Fister, Fister Jr, Yang ve Brest (2013); çalışmasında AA'nın pratikte ortaya çıkan her probleme uygulanabileceğini göstermek amacıyla algoritmanın kapsamlı bir incelemesi yapılmış, yeni araştırmacılara bu verimli algoritmanın kullanımı önerilmiştir.

Emary, Zawbaa, Grosan ve Hassenian (2015); çalışmasında en uygun alt kümeyi bulma çalışmalarında GKO'nu tarafından sınıflandırma doğruluğuna dayalı bir uygunluk işlevi önerilmiştir. Önerilen algortima PSO ve Genetik Algoritmalar (GA) ile karşılaştırıldığında, önerilen yaklaşım hem sınıflandırma doğruluğu hem de özellik boyutu azaltmada daha iyi performans gösterdiği sonucuna varılmıştır.

Hasanien (2015); çalışmasında tek diyotlu güç elektroniği dönüştürücülü fotovoltaiik (PV) bilinmeyen parametrelerini belirlemek için KSA kullanılmaktadır. Çalışmanın sonucunda yöntemin kullanılabilir olduğuna karar verilmiştir.

Yetkin (2016); çalışmasında jeodezik ağ optimizasyonunun önemli optimizasyon problemlerinden biri olduğu ve bu problemin metasezgisel algoritmalarından birisi olan KSA ile çözülebileceğinden bahsedilmektedir.

Gupta ve Padhy (2016); çalışmasında yenilenmiş AA ile önerilen standart AA'nın konum formülünü değiştirmektedir. Yapılan uygulamanın sonuçlarına bakıldığında yakınsama oranı açısından geleneksel ateşböceği algoritması ile kıyaslandığında yenilenmiş ateşböceği algoritmasının daha yüksek performans gösterdiği görülmüştür.

Karaarslan ve Zengin (2016); çalışmasında .Net yazılım geliştirme ortamında haftalık ders programını hazırlamak için Ateşböceği Algoritması kullanılmıştır. Geliştirilen yazılım ders ve öğretmen verileri ile ders programlarını otomatik olarak oluşturulduğu ve öğretmenlerin ders dağılımlarını en iyi hale getirdiği belirtilmiştir.

Medjahed, Saadi, Benyettou ve Ouali (2016); çalışmasında hiperspektral görüntülerin boyutluluğunu azaltmak için optimizasyon tabanlı bir çerçeve önerilmektedir ve yeni bir metasezgisel algoritma olan GKO kullanılmıştır. Deneyler yaygın olarak kullanılan üç hiperspektral veri kümesi üzerinde denenmiştir. Sonuçlar önerilen yaklaşımın spektral bat seçimi probleminde kullanımının yüksek doğruluk sağladığı belirtilmiştir.

Kumar vd. (2017); çalışmasında GKO adı verilen çok yeni ve doğadan ilham alan metasezgisel algoritma çözülmüştür. Bu algoritma doğadaki gri kurtların kovalama, avlanma ve hiyerarşi davranışlarını taklit etmektedir. GKO tarafından elde edilen sonuçlar, guguk kuşu arama algoritması, parçacık sürüsü optimizasyonu, karınca kolonisi optimizasyonu ve benzetilmiş tavlama gibi bazı yeni ve popüler metasezgisellerin sonuçları ile karşılaştırılmıştır. Bu karşılaştırmalı çalışma, GKO tarafından elde edilen sonuçların, daha önce bahsedilen bu iyi bilinen metasezgiseller tarafından elde edilen sonuçlardan daha üstün veya rekabetçi olduğu sonucuna varılmıştır..

Qi, Zhu ve Zhang (2017); çalışmasında orijinal AA tüm ateşböcekleri cinsiyetsizdir ve birbirlerini etkileyebilirlerken bu çalışmada çiftleşme davranışı ekleyen yeni bir hibrit ateşböceği algortması önerilmektedir. Yeni algoritma onbeş kıyaslama fonksiyonu üzerinde denenmiştir. Deneysel sonuçlar hibrit ateşböceği

algortimasının çoğu kıyaslama fonksiyonundan iyi bir optimizasyon yeteneğine sahip olduğunu göstermiştir.

Wang, Tan ve Liu (2018); çalışmasında PSO'nun kökeni ve arka planı tanıtılmakta ve teorik analizi yapılmıştır. Daha sonra mühendislik uygulamalarında mevcut araştırma ve uygulama durumu analiz edilmiş ve gelecekteki araştırma yönleri sunulmuştur.

Abualigah, Khader ve Hanandeh (2018); çalışmasında özellik çözme problemini çözmek için PSO algoritmasını kullanan yeni bir özellik seçimi yöntemi önermektedir. Bu yeni özellik algoritmadaki alt kümeleme tekniğinin performansını artırabilir ve hesaplama süresini azaltabilir. Algoritma altı tane standart veri seti üzerinde denenmiştir ve sonuçlar önerilen yöntemin alt kümeleme işleminde başarılı sonuç verdiği söylenmiştir.

Wang, Deb ve Cui (2019); çalışmasında doğada Kuzey Amerika'nın doğusundan yaz sonunda Kanada'nın güneyine Meksika'ya doğru binlerce yol giderek göç eden Kral kelebeğinin göçü basitleştirip idealize edilerek Kral Kelebeği Optimizasyonu adı verilen yeni metasezgisel algoritma önerilmektedir. Kral Kelebeği Optimizasyonunun performansını göstermek için otuz sekiz kıyaslama problemi üzerinden beş metasezgisel algoritma ile karşılaştırılmıştır.

Cao, Huang, Xu, Lü ve Chen (2019); çalışmasında kentsel büyümenin simülasyonu ve mekansal optimizasyonu için GKO'nun Hücreli Otomata entegre bir modelini önermektedir. Bu modele GWO-CA ismi verilmiştir. GWO-CA modelinin doğrulanması, kentsel büyümenin simülasyonu ve mekansal optimizasyonu açısından iyi performans gösterdiğini ve kentsel planlama ve yönetime daha fazla katkıda bulunabileceği sonucuna varılmıştır.

Huang ve Song (2019); çalışmasında arazi kullanımı planlama bilgisi içeren Çoklu Ajan Sistemi ile KSA'nı birleştirerek Çok Ajanlı Karma Kurbağa Sıçrama Algortması isimli yeni bir tür optimum arazi kullanımı tahsis modeli geliştirilmiştir.

Ergun (2019); çalışmasında GKO ile eğitilmiş bir Yapay Sinir Ağı modeli kullanılmaktadır. Sunulan modelin doğruluğunu ve uygulanabilirliğini test etmek için iyi bilinen başka metasezgisel algoritmalar ile karşılaştırılmıştır. Sonuçlar önerilen algoritmanın üstünlüğünü ortaya koymaktadır. Sonuçlar YSA-GKO modelinin enerji tüketimi tahmininde kullanılabileceğini göstermiştir.

Lei ve Wang (2020); çalışmasında mempleks gruplama ile birleştirilmiş KSA önerilmektedir. Bu metasezgisel yöntemde başlangıç popülasyonu oluşturulduktan sonra, yeni bir popülasyon bölünmesiyle sırayla iki aşama yürütülmektedir. İkinci aşamada tüm mempleksler üç gruba ayrılır ve en iyi mempleks popülasyon bölünmesinden çıkarılır. Çalışmanın sonucunda birçok dizi üzerinde denenmiş algoritmanın umut verici avantajlarının olduğu sonucuna varılmıştır.

Zervoudakis ve Tsafarakis (2020); çalışmasında mayıs sineklerinin uçuş davranışları ve çiftleşme süreçlerinden esinlenerek yeni bir Mayıs Sineklerin Algoritması isimli algoritma geliştirilmiştir. Önerilen algoritmanın performansını değerlendirmek için otuz sekiz matematiksel kıyaslama prolemi ile bilinen yedi metasezgisel optimizasyon yönteminin sonuçları ile karşılaştırılmıştır. Karşılaştırma sonuçları önerilen yöntemin yakınsama hızı ve yakınsama açısından üstün olduğu görülmüştür.

Yang ve Slowik (2020); çalışmasında sürü zekası tabanlı bir algoritma olan Ateşböceği Algoritmasının ana adımları gösterilmektedir. Algoritmanın temel kodlarından C++ ve Matlab programlarında bir demo sunulmuştur.

Doğru ve Tolga (2020); çalışmasında PSO, Yarasa Algoritması, Diferansiyel Gelişim Algoritması ve AA yöntemleri Kablosuz Sensör Ağlarında konum belirleme sorununun çözebilme yeteneği kıyaslanmıştır. Uygulamada yöntemlerin Matlab ortamında bir örnek düğüm dağılımına uygulanmış ve sonuçlar gözlemlenmiştir.

Karakoyun, Ozkis ve Kodaz (2020); çalışmasında optimizasyon problemlerini çözmek için KSA'nın mempleks yapısına sahip GKO'na dayalı yeni bir algoritma önerilmiştir. Önerilen algoritmanın performansını denemek için otuz altı problemten oluşan kıyaslama kümesinin üzerinden altı çok amaçlı algoritmanın performansı ile karşılaştırılmıştır. Sonuçlara göre, önerilen algoritmanın çok amaçlı problemleri çözmede genel olarak başarılı olduğu ve daha iyi veya rekabetçi sonuçlara sahip olduğu sonucuna varılmıştır.

Li, Lin ve Liu (2021); çalışmasında mühendislik tasarım problemlerini optimize etmek için GKO'na önerilmektedir. Önerilen bu algortima birbirinden farklı tipik karmaşıklığa sahip dört mühendislik optimizasyon problemine uygulanmıştır. Sonuçlar önerilen algoritmanın diğer algoritmalarla kıyasla daha yüksek yakınsama hızına, yakınsama hassasiyetine ve sağlamlığa sahip olduğu belirtilmiştir.

Arora ve Banyal (2021); çalışmasında PSO ve GKO'nun bir melezi olan yeni bir algortima önerilmektedir. Önerilen algoritma, bulut bilişim ortamında bağımlı görevlerin toplam yürütme maliyetini ve toplam yürütme süresini azaltmak için test edilmiştir. Deney sonuçları yeni algoritmanın orijinal algoritmaya kıyasla daha iyi performans gösterdiği belirtilmiştir.

Liu vd. (2021); çalışmasında öncelikle heyelan afeti için on değerlendirme faktörü (yükseklik, yağış, kaya grubu, eğim, eğim yönü, bitki örtüsü, yeryüzü şekli,, yerleşim alanına uzaklık, yola uzaklık, nehre uzaklık) ele alınarak örnek veri seti oluşturulmuştur. Daha sonra örnek veri kümesi eğitim ve tahmini için AA ile optimize edilen Destek Vektör Makinesine yerleştirilmiştir. Sonuç olarak heyelan duyarlılık haritası elde edilmiştir ve AA ile optimize edilen modelin daha yüksek doğruluğa sahip olduğu ve sonuçların afet noktalarının gerçek dağılımı ile daha tutarlı olduğu sonucuna varılmıştır.

Liu vd. (2022); çalışmasında KSA ve PSO birleştiren KSA'nın yeni bir versiyonu önerilmektedir. Algoritmanın performansını test etmek için otuz bir test fonksiyonu ve yirmi üç temel kıyaslama fonksiyonu seçilmiştir. Altısı çok iyi bilinen dokuz algoritma ile otuz ve yüzlük boyutta karşılaştırma deneyler gerçekleştirilmiştir. Sonuçlar bu geliştirilmiş yöntemin daha az özellik ile daha yüksek sınıflandırma doğruluğu elde edebileceğini gösterilmiştir.

Özyalın (2022); çalışmasında Çanakkale- Ayvacık depreminin dış merkezinin belirlenmesinde PSO kullanılmıştır. Bu çalışma sonucunda, Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı (AFAD) tarafından yayınlanan 06.02.2017 depreminin dış merkezi (26.1351, 39.5303) ile PSO çözümü (26.03,39.50) bulunmuştur. Boylam ve enlem için yüzde bağıl hatalar sırasıyla % 0.402 ve %0.077 bulunmuş ve ortalama yüzde bağıl hata %0.239 olarak hesaplanmıştır.

Shafapourtehrany vd. (2023); çalışması iki aşamadan oluşmaktadır. İlk olarak deprem kaynaklı heyelanların tespiti için eğimli bölgeler tespit edilmiş ve veriler derin öğrenme metodları ile heyelan duyarlılık haritaları oluşturmak için kullanılmıştır. İkinci aşamada heyelan duyarlılık haritası oluşturulmuştur. Çalışmada toplam heyelan konumlarının %70'i derin öğrenme modelinin eğitimi için kullanılmış. Geriye kalan %30'u içinde metasezgisel algoritmalarından GKO'nun da olduğu algoritmalar ile doğrulama amacıyla kullanılmıştır.

Huang ve Xu (2023); çalışmasında PSO ve Çok Amaçlı PSO algoritmalarının temel yapıları ve ana özellikleri açıklanmıştır. Standart bir veri seti üzerinde iki yöntem denenmiş ve sonuçlar karşılaştırılmıştır.

Toren ve Mollahasanoğlu (2023); çalışmasında elektrik enerjisinin iletimi ve dağıtım aşamalarında aktif kullanılan ve farklı güç seviyelerine sahip transformatörlerin tasarımlarındaki ağırlık değerleri, metasezgisel yöntemlerden birisi olan GKO ile gerçekleştirilmiştir. Çalışma sonucunda dağıtım ve güç transformatörü türünde transformatör ağırlıklarının optimum değerlerle elde edilmesine yeni bir yaklaşım katılabileceği ve ağırlıktan kaynaklı transformatör maliyetleri azaltılabileceği belirtilmiştir.

Piotrowski, Napiorkowski ve Piotrowska (2023); çalışmasında PSO Diferansiyel Evrim algoritmalarının ilk önerilmesinden bu yana oluşturulmuş versiyonlarından on'ar tanesinin seçilerek yirmi iki tane problem üzerindeki denemeleri yapılmıştır. Yapılan uygulamanın sonucunda Diferansiyel Evrim algoritmasının daha doğru sonuçlar verdiği görülmüştür.

Acar, Karabey ve Bayram (2023); çalışmasında kargo alanlarında kullanılmak üzere gezgin satıcı problemi Genetik Algoritma ve PSO ile denenmiştir. Çalışmanın sonucunda Genetik Algoritmanın süre olarak daha uzun sürdüğü ancak yine de PSO'na göre daha optimize edilmiş bir rota sağladığı belirtilmiştir.

Du, Yu ve Chen (2023); çalışmasında OPP-IGWO olarak isimlendirilen GKO algoritmasına dayalı yenilikçi bir ortodontik yol planlama yöntemi önerilmektedir. Deneysel sonuçlar OPP-IGWO yöntemimizin son teknoloji yöntemlerden daha iyi performans gösterdiğini ortaya koymaktadır. Yöntem aynı zamanda iyi bilinen metasezgisel algoritmalarla da kıyaslandığında OPP-IGWO yönteminin performansta iyileşme gösterdiği görülmektedir.

Kolaei, Jabbarzadeh ve Al-e (2024); çalışmasında ekonomik, çevresel ve sosyal boyutları aynı anda dikkate alan çok amaçlı bir grup turist planlama problemi sunmaktadır. Çok amaçlı grup turist planlama problemini çözmek için metasezgisel algoritmalarla olan Uyarlanabilir Geniş Komşuluk Arama Algoritması denenmiştir. Önerilen algoritmanın büyük ölçekli çözümlerdeki performansı irdelenmiştir.

Bu literatür taramasının sonucunda metasezgisel algoritmaların birçok alanda kullanıldığı, hibrit modeller geliştirildiği ancak harita mühendisliği uygulama alanının

oldukça sınırlı hatta yok seviyesinde olduğu görülmüştür. Son yıllarda harita mühendisliğinde veri temininde oldukça sıklıkla kullanılan 3B nokta bulutu verilerinden yüzey belirleme çalışmalarında metasezgisel algoritmaların kullanımı konusunda boşluk olduğu tespit edilmiştir. Bu çalışmada literatürdeki bu boşluğun doldurulması amacıyla 3B nokta bulutları ile yüzey belirleme işleminde metasezgisel algoritmaların kullanılabilirliği araştırılmıştır.



3. MATERYAL VE METOT

3.1. Materyal

3.1.1. 3B Nokta Bulutu ve Elde Etme Yöntemleri

Nokta bulutu, 3B nesnelerin yüzeylerini veya yapılarını temsil etmek için kullanılan bir veri tipidir. Nokta bulutları, bir nesnenin yüzeyini oluşturan milyonlarca noktanın koordinatlarını içerir. Her bir nokta, 3B uzayda belirli bir konumu temsil eder. Nokta bulutları, 3B modelleme, haritalama, endüstriyel tasarım, inşaat, arkeoloji, jeodezi ve birçok başka alanda kullanılır (Huang vd., 2021).

3B ölçme teknikleri, nesnelerin 3B yapılarını ölçmek ve modellemek için kullanılan çeşitli yöntemleri içerir. Bu teknikler, endüstri, mühendislik, inşaat, tasarım ve birçok diğer alan için önemlidir. Literatürümüzde farklı farklı 3B ölçme teknikleri mevcuttur (Warchoş vd., 2023). 3B ölçme tekniklerini fotogrametri, lazer tarayıcılar ve insansız hava araçları olmak üzere 3 başlık altında inceleyebiliriz.

20. yüzyılın başlarına kadar, hava haritalama ve hava fotogrametrisi, genellikle fotoğraf çekmek için makinenin entegre edildiği özel araçlar ile yapılmaktadır. İlk hava fotoğrafı 1858 yılında Paris'teki insanlı bir balondan alınmıştır (Eisenbeiss, 2009; Newhall, 1969). Daha sonra sırasıyla zeplinler, sabit kanatlı uçaklar, uçurtmalar ve model helikopterler kullanılmıştır. Bu süreçte, çekilen fotoğraflar kullanılarak 3B haritalar oluşturulmuştur (Colomina & Molina, 2014). 1960, 1970 yıllarında ise lazer tarama teknolojisinin gelişimi hız kazanmıştır. İlk lazer tarayıcılar, yüzeyleri lazer ışınlarıyla tarayarak uzaklıkları ölçebiliyor ve bu bilgileri 3B nokta bulutlarına dönüştürülmektedir. Bu, özellikle topoğrafik haritalama için önemli bir adımdır (Edl vd., 2018). 1980'lerde, analog kameralar yerine dijital kameraların kullanılmasıyla birlikte fotogrametri süreçleri dijitalleşmeye başlamıştır. Dijital fotoğrafların kullanımı, bilgisayar tabanlı yazılımların daha etkili bir şekilde kullanılmasına olanak tanımıştır. 2000'lerde Küresel Navigasyon Uydu Sistemleri (GNSS) ve İnsansız Hava Araçları (İHA'lar) gibi yeni teknolojilerin kullanımı ile 3B nokta bulutu elde etme süreçleri daha da gelişmiştir. İHA'lar ile düşük maliyetli ve hızlı veri toplama imkanı sunulmuştur (Newcome, 2004). Son yıllarda, yapay zeka ve makine öğrenimi gibi teknolojilerin kullanımıyla 3B nokta bulutlarının elde edilme süreçleri daha da otomatikleşmiştir.

3.1.1.1. Fotogrametri

Fotogrametri resimlere dayalı konum, yön, şekil ve boyutları hakkında güvenilir bilgi edinme sanatı, bilimi ve teknolojisidir (Wolf & Dewitt, 2000). Resim çekim yerinin konumuna göre fotogrametri ikiye ayrılır. Bunlar Yersel Fotogrametri ve Hava Fotogrametrisidir. Fotogrametrinin ilk uygulamaları yersel fotogrametri alanında olmuştur. Fotoğrafın bulunuşundan kısa bir süre sonra 1858 yılında Alman Meydenbauer, yıkılan bir kilisenin eldeki mevcut fotoğraflar ile onarımını gerçekleştirmiştir (Yılmaz vd., 2000). Yersel fotogrametri, nesnelerin ve arazinin ölçümünü ve haritalanmasını gerçekleştirmek için yerden elde edilen fotoğrafları ve görüntüleri kullanarak yapılan bir ölçüm ve haritalama tekniğidir (Nocerino vd., 2013).

Hava fotogrametrisi, havadan elde edilen fotoğraf veya görüntü verileri kullanılarak nesnelerin ve arazinin ölçülmesi, haritalanması ve 3B modellemesinin yapıldığı bir ölçüm ve haritalama tekniğidir (Colomina & Molina, 2014).

3.1.1.2. Lazer Tarayıcılar

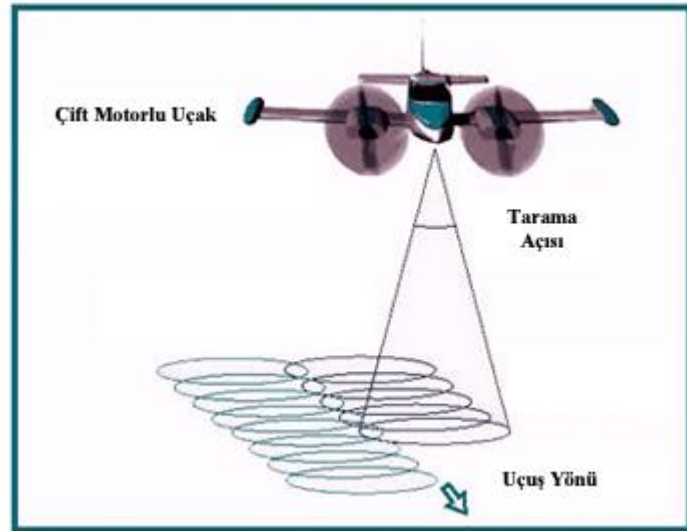
Lazer; Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation (LASER) cümlesindeki kelimelerin baş harflerinden oluşmuş bir kelimedir (Lemmens & Lemmens, 2011). Lazer ışını ise 1960 senesinde ABD (Amerika Birleşik Devletleri)'nde Theodore H.Maiman tarafından keşfedilmiştir. Bu teknoloji üzerindeki araştırmalar 1960 yılından bu yana süregelmektedir. Lazer tarayıcılar, hızlı bir şekilde bir objenin 3B olarak eksiksiz geometrik ve görsel bilgiyi elde etmemizi sağlar (Gümüş & Erkaya, 2007). Yerel lazer tarayıcılar, genellikle taşınabilir bir cihaz veya bir aracın üzerine monte edilmiş bir sistem olarak kullanılan, lazer teknolojisi ile nesnelerin yüzeylerini hızlı ve hassas bir şekilde tarayan cihazlardır ve birçok alanda kullanım kullanılabilirler (Aryan vd., 2021).

Bir lazer tarayıcı sistemi tarama ünitesi, kontrol ünitesi, güç kaynağı, tripod ve sehpa olmak üzere 4 bileşenden oluşmaktadır.



Şekil 3.1 Bir lazer tarayıcı bileşenleri (Barber vd., 2002)

Havadan lazer tarama sistemi olarak bilinen LİDAR genellikle harita üretmek yada bir arazinin 3B verisini elde etmek amacıyla uçak, helikopter ve benzeri düzlemlere monte edilmektedir. Havadan bir yüzeyin ya da nesnenin lazer ışını yardımıyla 3B koordinat bilgisinin hesaplanması için ışının gidiş ve dönüşü arasındaki zaman farkı ile nesne ve sistem arasındaki mesafe belirlenir. Sistemin konumu entegre GPS sistemleriyle uydulardan alınır (Bosche vd., 2015). (Şekil 3.2)



Şekil 3.2 Havadan lazer tarama sistemi (Abdullah & Erdaş, 2007)

3.1.1.3. İnsansız Hava Araçları (İHA)

İnsansız Hava Aracı (İHA), içinde bir pilot veya yolcu bulunmayan, uzaktan kumandalı veya otomatik olarak görevlerini yerine getirebilen, amacına uygun ekipman taşıyan (GNSS, fotoğraf makinesi, video kamera, Lazer tarama cihazı vb) bir tür hava taşıtıdır (Kahveci & Nazlı, 2017). İHA'lar 1916'da Wright kardeşlerin

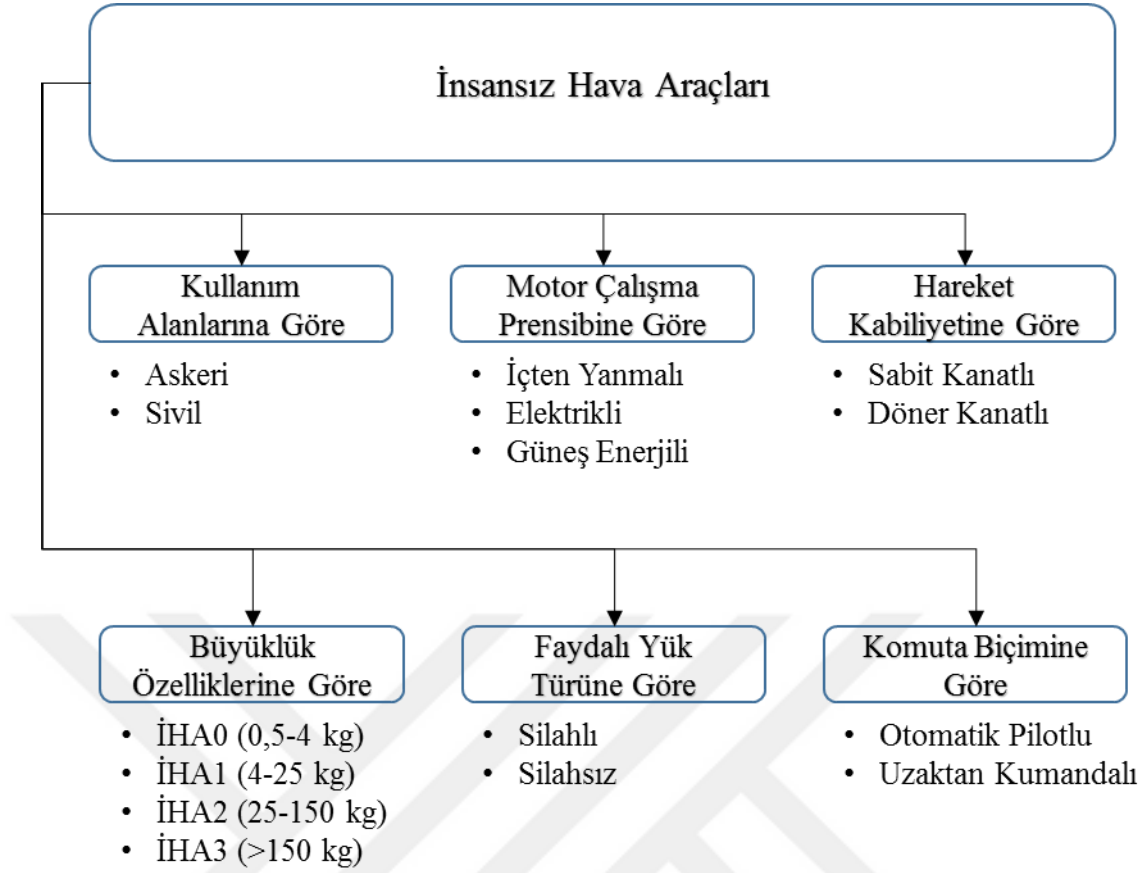
Hewitt-Sperry Automatic hava aracı ile doğmuştur ve kraliyet donanmasının 1933’de drone’u kullanmasıyla ve 1973’de Kuzey Vietnam ve İsrail’in savaşta Mısır hedeflerine karşı kullanılmasıyla yükselmiştir. Fakat insansız olarak haritalama işlemi 1930’ların sonlarında araştırma grupları tarafından bulunmuştur. Navigasyon ve haritalama sensörleri alçak irtifada yüksek çözünürlüklü görüntüler elde edebilmek için araçlara entegre edilmiştir. Bu fikir çok dikkat çekmeyince teknoloji ve hizmet çalışanları İHA’ların sosyal ve ticari faydalarını öngören uygulamalar düzenlemeye başlamıştır (Colomina & Molina, 2014). Tarih içinde çeşitli İHA’lar geliştirilmiştir (Özbek, 2010; Yüksek, 2013).

İHA Yapısı Şekil 3.3’de verilmiştir.



Şekil 3.3 İnsansız hava aracı yapısı (Gençerk, 2016)

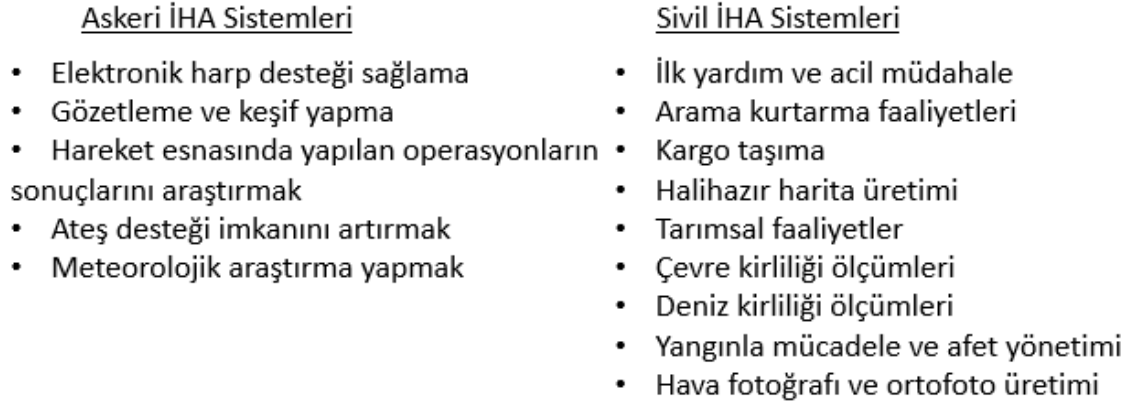
İHA’lar altı kategoride sınıflandırılmaktadır (Şekil 3.4). Bunlar; kullanım alanlarına göre, motor çalışma prensibine göre, hareket kabiliyetine göre, büyüklü özelliklerine göre, faydalı yük türüne göre ve komuta biçimine göre.



Şekil 3.4 İHA'ların sınıflandırılması

Kullanım alanlarına göre İHA sistemleri Askeri İHA sistemleri ve Sivil İHA sistemleri olarak iki grup altında incelenmektedir (Şekil 3.5). Askeri İHA sistemleri ilk olarak insan hayatını ikinci olarak maddi kayıpların önlenmesini amaçlamaktadır. Sivil İHA sistemleri ise genellikle ticari, endüstriyel, arazi izleme, haritalama, fotoğrafçılık, güvenlik, tarım ve çeşitli diğer uygulamalar için tasarlanmıştır (Yaşar, 2018).

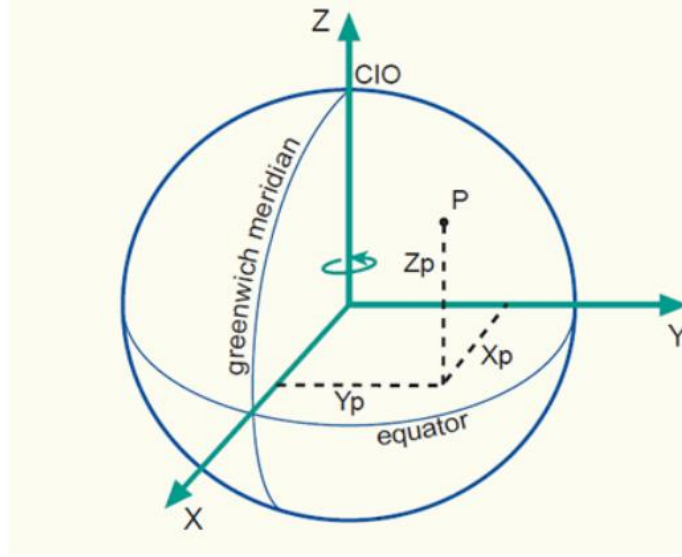
Kullanım Alanlarına Göre İHA Sistemleri



Şekil 3.5 Kullanım alanlarına göre İHA sistemleri

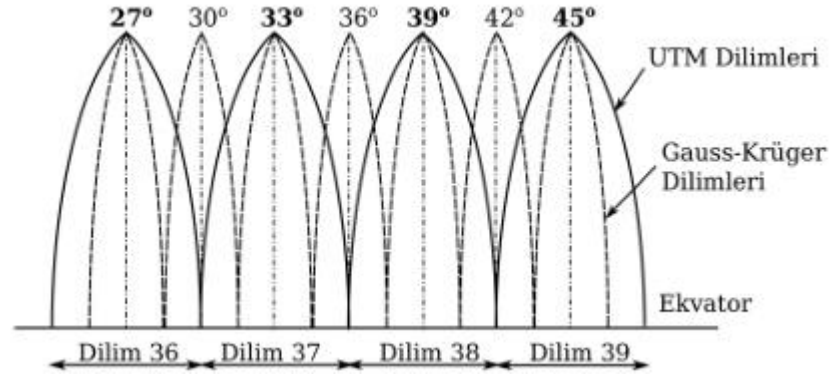
3.1.2. 3B Nokta Bulutu

3B nokta bulutu, bir nesnenin veya bir ortamın yüzeyini temsil eden ve 3B uzayda belirli noktaların koordinatlarını içeren bir veri kümesidir. 3B nokta bulutları, gerçek dünya nesnelerinin veya ortamlarının dijital bir temsilini sağlamaktadır (Cao vd., 2019). Dünya yüzeyindeki noktalarının konumlarının uydu sistemleriyle elde edilmesi ve ayrıca teknolojinin de son yıllarda çok hızlı ilerlemesi ile birlikte yüksek doğrulukla elde edilme olasılığı artmıştır. Konumlandırma teknolojileri noktaların koordinatlarını 3B global kartezyen koordinat (X,Y,Z) olarak sunmaktadır (Konakoglu, 2020). (Şekil 3.6) Kartezyen koordinat sistemi filozof ve matematikçi olan Descartes tarafından bulunmuş uzaydaki noktaların cebirsel olarak ifade edilmesini ve geometrik şekillerle gösterilmesini sağlamıştır (Descartes & Frenzel, 1960).



Şekil 3.6 3B global kartezyen koordinat (X,Y,Z) sistemi (W. Heiskanen & Moritz, 1984)

Dünya üzerindeki yüzeyin belirli bir düzlem üzerine yansıtılması için projeksiyonu gereklidir. Projeksiyon koordinat sistemi, dünya üzerindeki yüzeyin eğriliğini temsil etmek ve harita projeksiyonları aracılığıyla düz bir düzleme aktarmak için kullanılan bir koordinat sistemidir. Farklı farklı projeksiyon koordinat sistemleri vardır. Bunların arasından en çok geçerli olan ve uluslararası ölçekte kullanılır hale gelen Gauss-Krüger projeksiyonuna dayalı olarak üretilen UTM (Universal Transvers Mercator) projeksiyonudur. Bu projeksiyonun referans yüzeyi elipsoittir. Bu sistemde, dünya yüzeyi 6° 'lık boylam aralıkları ile 60 dilime bölünmüştür ve referans enlemi olarak ekvator kabul edilmiştir. Her dilim, bir projeksiyon sistemine denk gelir, yani her dilimin kendi koordinat sistemi vardır. Dilimler, meridyenin sağ ve solu 3° olacak şekilde ayrılmıştır. Her dilimin orta meridyeni X eksenini olarak, ekvator ise Y eksenini olarak kabul edilir ve bu koordinat sistemi içinde kalan noktaların koordinatları buna göre belirlenir. Türkiye'nin yaklaşık olarak $26^\circ - 45^\circ$ doğu meridyenleri arasında yer alması nedeniyle dört dilime sahiptir ve bu da dört koordinat sistemine karşılık gelir. Şekil 3.7'de, Türkiye için UTM sisteminde yer alan dilimler ve özellikleri gösterilmiştir.



Şekil 3.7 Türkiye için UTM projeksiyon dilimleri (Bildirici, 2017)

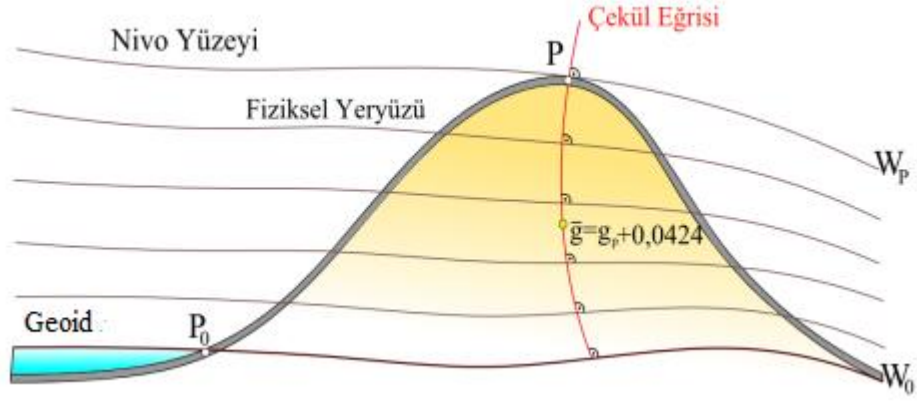
Dilim numarası (DN) biliniyorken o dilimin orta meridyeninin boylamı

$$\lambda_0 = [(DN).6^\circ - 3^\circ] - 180^\circ \quad (3.1)$$

eşitliği ile hesaplanır.

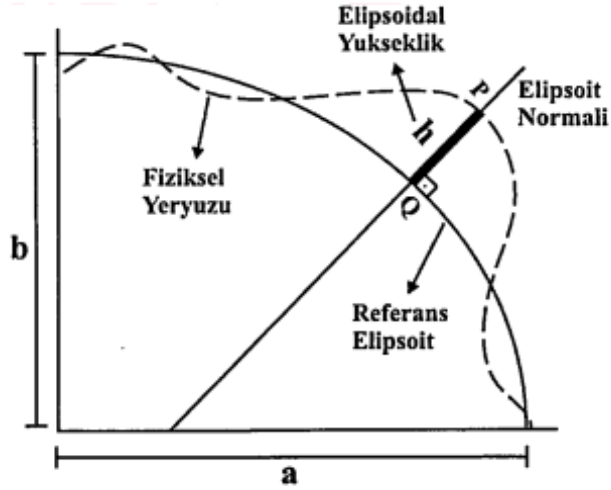
X değerleri dünyadaki uzunluklarla aynı, Y değerleri ise dünyadakinden biraz büyüktür. Bu farkı azaltmak için X, Y değerleri $m_0 = 0,9996$ ile çarpılır (3° 'lik dilimde $m_0 = 1$ alınır). Y değeri başlangıç meridyeninin solunda negatif olur. Bundan kurtulmak için Y değerine 500000 eklenir. Bu durumda koordinatlara *Sağa* ve *Yukarı* değer denir. Uzunluk birimi metredir. *Sağa* ve *Yukarı* koordinat değerleri, UTM projeksiyonunun dik koordinat sistemindeki değerleridir (Konakoğlu, 2014).

Fiziksel bir uygulama noktasının ortometrik yüksekliği terimi, çekül eğrisi boyunca geoidin başlangıç yüzeyinden o nokta arasındaki düşey uzaklığı ifade eder. Ortometrik yükseklik, matematiksel bir kavram olmanın ötesinde, fiziksel bir anlam taşır ve büyük öneme sahiptir. Çünkü bu yükseklikler, nivo yüzeyinden geçen bir noktanın potansiyelini ve o noktanın bulunduğu enleme ait gravite değerini kullanarak belirlenir. Geoidin karaların altında nasıl bir davranış sergilediği belirsiz olduğu için, ortometrik yükseklikler doğrudan ölçülememektedir. Aynı nivo yüzeyinde bulunan farklı noktaların ortometrik yükseklikleri farklılık gösterir (Şekil 3.8) (Sansò & Vaníček, 2006). Ortometrik yükseklik H simgesi ile gösterilir.



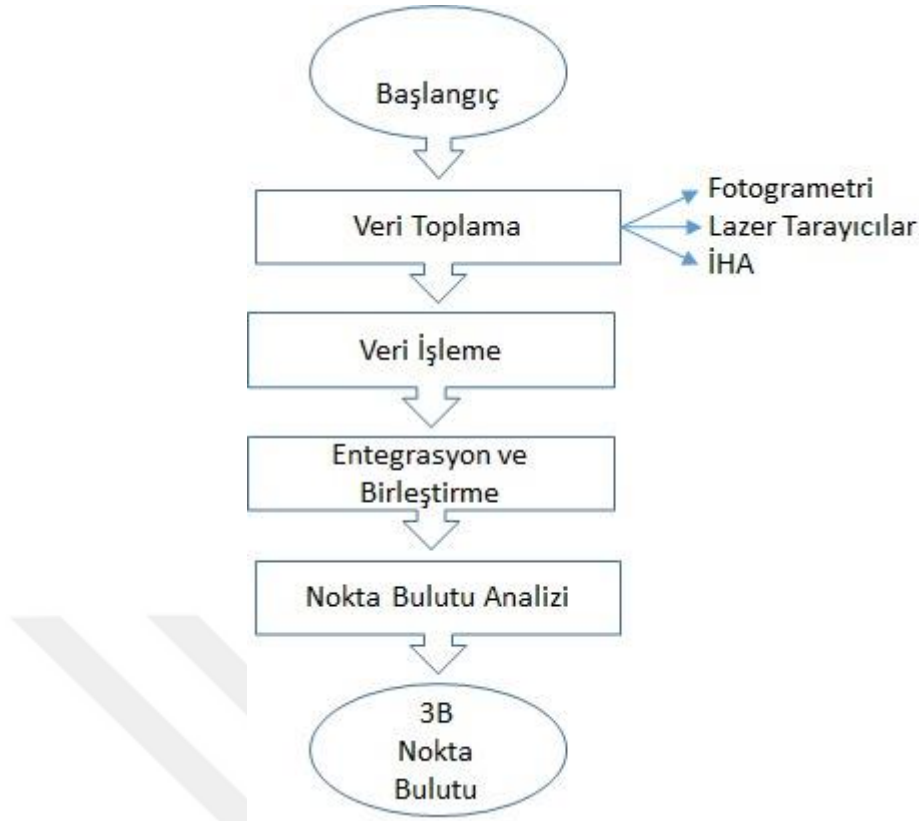
Şekil 3.8 Ortometrik yükseklik (Gürses, 2011)

Yeryüzündeki bir P noktasının elipsoid normali boyunca seçilen bir referans elipsoidine göre elipsoid üzerindeki izdüşümü arasındaki uzaklığa elipsoidal yükseklik denir (Şekil 3.9). Elipsoidal yükseklik kullanılan parametreler ve koordinat sistemi ile ilişkilidir. Dünyanın gravite alanı ile ilişkisi bulunmamaktadır (Yanar, 1999). Elipsoidal yükseklik h simgesi ile gösterilmektedir.



Şekil 3.9 Elipsoidal yükseklik (Yigit, 2003)

3B nokta bulutlarının elde edilmesinde kullanılan iş akışı Şekil 3.10'da verilmektedir.



Şekil 3.10 3B nokta bulutu elde etme iş akışı

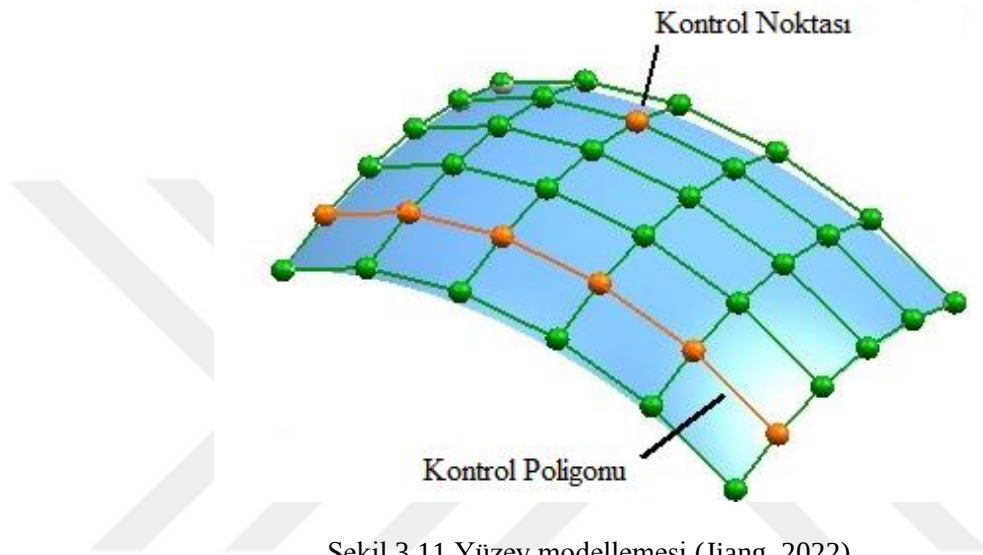
3.2. Metot

3.2.1. 3B Yüzey Belirleme

Teknolojinin gelişmesiyle beraber nesnelerin 3B olarak görüntülenmesine olan ihtiyaç artmıştır. Nesnelerin 2B görsellerinin yerine 3B görsellerinin tercih edilmesi fotogrametri ve bilgisayarla görme biliminin önemli araştırma konularındandır. 3B yüzey modelleri daha anlamlı ve ayrıntılı oldukları için özellikle tercih edilmektedirler (Grum & Bors, 2008).

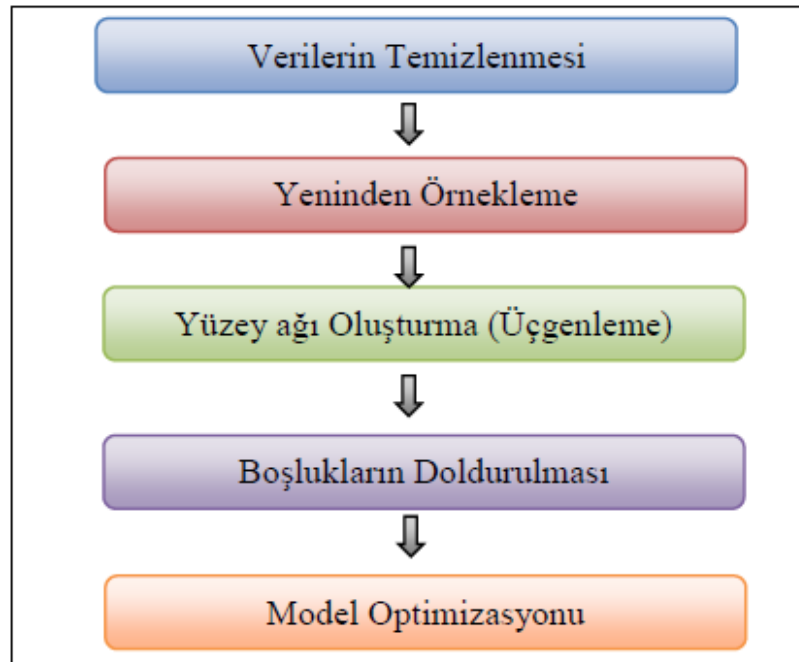
3B yüzey modellerinin oluşturulma süreci, aktif modelleme yöntemleri ve pasif modelleme yöntemleri olarak iki ana kategoriye ayrılır. Aktif modelleme yöntemleri, yapılandırılmış ışık sistemleri, derinlik kameraları ve lazer tarayıcı cihazları gibi araçlar kullanarak daha güvenilir derinlik bilgisi sağlar. Öte yandan, pasif modelleme yöntemleri, üç boyutlu görüntülerin kameralar aracılığıyla elde edilen iki boyutlu fotoğraflar üzerinden oluşturulmasına dayanır. Aktif modelleme yöntemleri genellikle maliyetli ve uzmanlık gerektiren bir yapısalıdır, bu nedenle pasif yöntemlere kıyasla daha karmaşıktır (Jang & Ho, 2010).

Aktif modelleme yöntemi olarak sınıflandırdığımız yüzey ağı modelleme, karmaşık yüzeylerin geometrik tanımlamalarını elde etmek amacıyla yaygın olarak kullanılan standart bir yöntemdir. Bu yöntem, genellikle fotogrametri ve ölçme bilimi alanında uzmanlaşmış kişiler tarafından topografik uygulamalarda sıkça tercih edilmektedir. Yükseklik verileri iki boyutlu bir düzlem üzerine eklenir ve 3B bir yüzey elde edilmiş olur. Yüzey ağı modelleme işlemi bir yazılım tarafından yapılabildiği gibi elle manuel olarak da yapılabilmektedir (Şekil 3.11) (Boehler & Marbs, 2002).



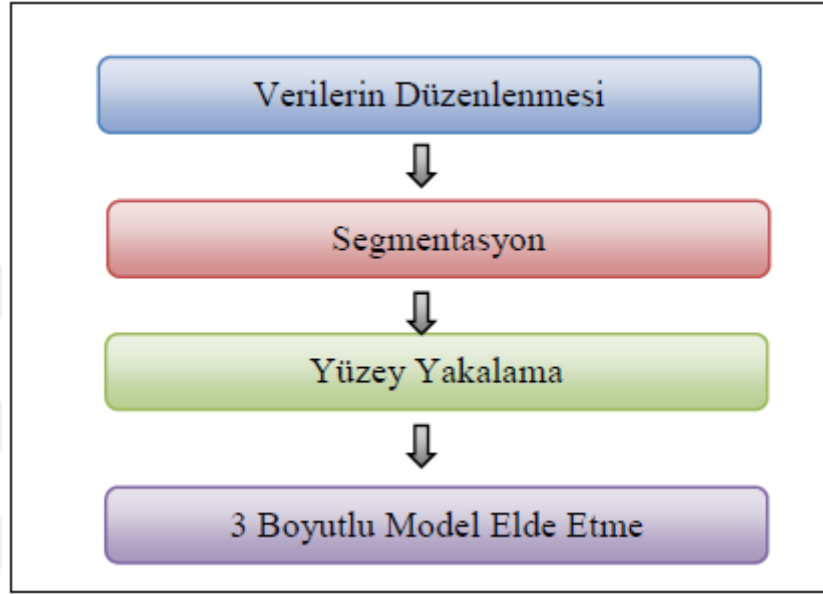
Şekil 3.11 Yüzey modellemesi (Jiang, 2022)

Genel olarak yüzey ağı modelleme işlemi iş akışı Şekil 3.12'deki gibidir.



Şekil 3.12 Yüzey ağı modelleme tekniği işlem adımları (Çömert, 2015)

Pasif modelleme yöntemi ise geometrik temelli modelleme yönteminde yersel lazer tarayıcı ile taranan nesnelerin özellikle de basit geometrik yüzeye sahip ise bu nesnelerin modellenmesinde kullanılan yöntemdir. Bu yöntem genellikle kentsel alanlarda düzlem yüzeye sahip binaların otomatik modellenmesi üzerine kullanım alanı bulmuştur. Geometrik temelli modellemenin iş akışı Şekil 3.13’de verilmektedir (Woo vd., 2002).

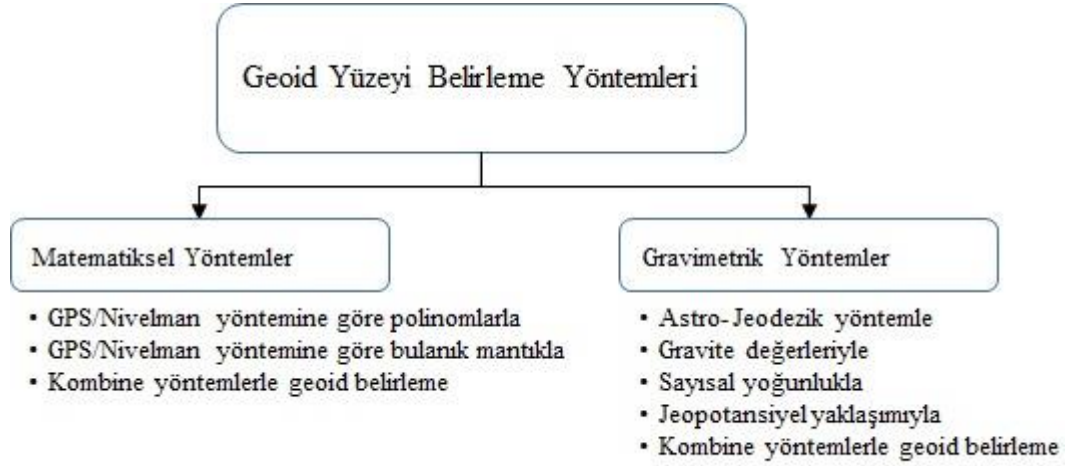


Şekil 3.13 Geometrik temelli modelleme iş akışı (Çömert, 2015)

3B yüzey belirleme birçok çalışma alanının ortak konusudur ve yıllar içerisinde gelişme ve değişme göstermektedir. 3B yüzey belirleme işleminin Harita mühendisliği mesleğindeki uygulamasından biri olarak geoid yüzeyi belirleme karşımıza çıkmaktadır. Geoid belirleme, yeryüzündeki yerçekimi alanındaki düzensizlikleri anlamak ve bu düzensizlikleri bir referans yüzey üzerinde modellemek için yapılan işlemdir.

3.2.2. Geoid Yüzeyi Belirleme Yöntemleri

Geoid karaların altından da devam ettiği düşünülürse kapalı bir yüzeydir ve düzgün bir şekil olmadığı için matematiksel olarak da ifade etmek güçtür (Ellmann, 2005). Geoid aynı zamanda durgun haldeki ortalama deniz seviyesine en yakın eşpotansiyel bir yüzeydir. Doğru geoid belirleme, ölçme, navigasyon ve jeofizik çalışmaları dahil olmak üzere çeşitli uygulamalar için çok önemlidir (Sideris, 2020a). Geoid yüzeyi belirleme yöntemlerini matematiksel yöntemler ve gravimetrik yöntemler olarak iki sınıfa ayırarak inceleyebiliriz (Şekil 3.14).



Şekil 3.14 Geoid yüzeyi belirleme yöntemleri (Şişman vd., 2023)

Geoid belirlerken kullanılan birçok farklı yöntem vardır. Bunlar:

1. Astro-jeodezik yöntemle geoid belirleme (Heiskanen, 1967)
2. Gravite değerine göre geoid belirleme (Sideris, 2013)
 - a. Stokes fonksiyonu ile
 - b. Hızlı fourier transformasyonu ile
 - I. Bir boyutlu hızlı fourier transformasyonu ile
 - II. İki boyutlu hızlı fourier transformasyonu ile
3. Sayısal yoğunluk yöntemine göre geoid belirleme (Heiskanen, 1967)
4. Jeopotansiyel yaklaşımı ile geoid belirleme (Sevilla, 1995)
5. Kombine yöntemle geoid belirleme (Arslan & Yılmaz, 2005)
6. GNSS/nivelman yöntemine göre polinomlarla geoid belirleme (Turk & Ambrozic, 2001)
7. GNSS/nivelman yöntemine göre bulanık mantık ile geoid belirleme (Yılmaz, 2013)

Bu yöntemler kısaca ayrı başlıklar altında açıklanacaktır.

3.2.2.1. Astro-Jeodezik Yöntemle Geoid Yüzeyi Belirleme

Bu yöntemde geoid yüksekliği çekül sapması bileşenleri sayesinde hesaplanmaktadır. Astronomik gözlemler ile doğal koordinatlar, GPS gözlemleri ile jeodezik koordinatlar elde edilmektedir. Bu iki koordinat bilgisi arasındaki fark çekül sapmasını vermektedir. Çekül sapması kuzey-güney ve doğu-batı olmak üzere iki bileşen ile formulüze edilmektedir.

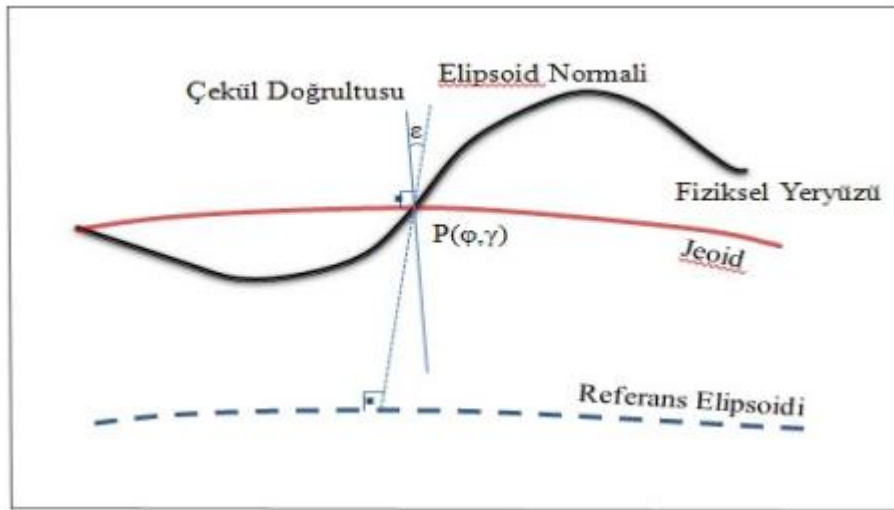
Kuzey-güney ve doğu-batı bileşeni;

$$\xi = \phi - \varphi \quad ; \quad \eta = (\Lambda - \lambda) \cos \varphi \quad (3.2)$$

eşitliğiyle elde edilir. Bu eşitliklerde (ϕ, Λ) astronomik enlem ve boylamı, (φ, λ) coğrafi enlem ve boylamı ifade etmektedir. ε herhangi bir azimut doğrultusundaki çekül sapmasıdır ve

$$\varepsilon = \frac{dN}{ds} \quad (3.3)$$

eşitliği ile hesaplanmaktadır. Eşitlikte dN noktalar arasında geoid yüksekliği değişimini, ds ise noktalar arasındaki atay uzunluğu temsil etmektedir (Şekil 3.15) (Abbak, 2020).



Şekil 3.15 Astro-jeodezik yöntem (Bolat, 2013)

Uygulamalardan noktalar arasındaki uzaklıkların kısa olmasından dolayı dünyanın şekli küre olarak kabul edilir. Eğer A başlangıç noktasındaki jeoid yüksekliği biliniyorsa, bir AB kenarı boyunca N değeri aşağıdaki integrale hesaplanabilir.

$$N_B = N_A + \int_A^B \varepsilon \cdot ds \quad (3.4)$$

eşitlikte çekül sapmasının büyüklüğü;

$$\varepsilon = \xi \cdot \cos \alpha + \eta \cdot \sin \alpha \quad (3.5)$$

ile hesaplanır.

Astronomik koordinat belirleme işleminin zorluğu ve karalarda kesit şeklinde uygulanması gerekliliği nedeniyle bu yöntem çoğunlukla geoidin ölçeklendirilmesi amacıyla kullanılır (Abbak, 2020).

3.2.2.2. Gravite Değerine Göre Geoid Yüzeyi Belirleme

Bu yöntem gravite anomalilerinden yola çıkarak geoid yüksekliğinin hesaplanmasına dayanır. (Stokes, 1849) bozucu gravite potansiyelini;

$$T = \frac{R}{4\pi} \iint_{\text{yeryuvarı}} S(\psi) \Delta g d\sigma \quad (3.6)$$

ile hesaplanabilirliğini ispat etmiştir. Bu eşitlikte; R : yeryuvarının ortalama yarıçapı,

Δg : gravite anomalisi, ψ : integrasyon ve hesap noktası arasındaki merkezi açı,

$S(\psi)$: Stokes fonksiyonudur.

Stokes fonksiyonunun kapalı eşitliği;

$$S(\psi) = \frac{1}{\sin(\psi/2)} + 1 - 5\cos(\psi) - 6\sin(\psi/2) - 3\cos(\psi) \ln(\sin(\psi/2) + \sin^2(\psi/2)) \quad (3.7)$$

ile verilir. İntegral noktası hesap noktasına yaklaştıkça Stokes fonksiyonunun sayısal değeri artar.

Stokes integralinin pratikte kullanımı güçtür. Bunun nedeni tüm yeryuvarına ait gravite verilerini biraraya getirmek ve bu kadar fazla veriyi hep birlikte değerlendirmek güçtür. Bu nedenle de Stokes eşitliği sınırlı bölgeler için uygulamalarda kullanılmaktadır (Abbak, 2020).

3.2.2.3. Sayısal Yoğunluk Yöntemine Göre Geoid Yüzeyi Belirleme

Bu yöntem temelde oldukça basittir. İlk olarak, Dünya'nın yerçekimi alanının ve geometrisinin ölçümleri yapılır. Bu ölçümleri kullanarak, Dünya'nın şekli belirlenebilir. Bu yöntem, bilgisayar kullanılarak, verilen gözlemlere tam olarak uyan bir Dünya kütle modeli oluşturur. Başka bir deyişle, model, belirli bir noktada verilen potansiyel sayı, enlem ve boylam için gözlenen yerçekimi değerini üretebilir. Bu model, uydu altimetrisi ve deniz seviyesi ölçümleri ile mükemmel bir uyum içerisindedir (Heikkinen, 1981).

3.2.2.4. Jeopotansiyel Yaklaşımı İle Geoid Yüzeyi Belirleme

Yöntem yeryuvarının gravite alanının küresel harmonik katsayılarla göre hesaplanması ile uygulanır (Arslan & Yılmaz, 2005).

Yeryuvarının gravite alanının (W) küresel harmonik gösterimi;

$$W(r, \vartheta, \lambda) = \frac{GM}{r} \left\{ 1 + \sum_{n=1}^{\infty} \left(\frac{a}{r} \right)^n \sum_{m=0}^n (C_{nm} \cos_{m\lambda} + S_{nm} \sin_{m\lambda}) P_{nm}(\cos \vartheta) \right\} + \phi \quad (3.8)$$

eşitliğiyle verilir (Heiskanen & Moritz, 1984). Burada; r, ϑ, λ : W 'nin kutupsal polar koordinatları, GM : Gravitasyonel sabit, a : Referans elipsoidinin büyük yarıçapı, $P_{nm}(\cos \vartheta)$: 1.çeşit Lejandre fonksiyonu, C_{nm}, S_{nm} : Yeryuvarının gravitasyonel alanının tam olarak normalize edilmiş küresel harmonik katsayıları, ϕ

: Merkezci kuvvetin potansiyeli ve $\phi = \frac{1}{2} \omega^2 r^2 \sin^2 \varphi$, ω yeryuvarının açısal dönme hızıdır.

3.2.2.5. Kombine Yöntemle Geoid Yüzeyi Belirleme

Bu yöntemde geoid yüksekliği (Arslan & Yılmaz, 2005);

$$N = N_{\text{model}} + N_R + \delta N_R \quad (3.9)$$

ile hesaplanmaktadır.

Burada; N_{model} : Jeopotansiyel modelden hesaplanan geoid yükseklikleri,

$$N_R = \frac{R}{4\pi\gamma} \int_{\sigma} \Delta g_{RFA} S(\psi) d\sigma : \text{Stokes'un integral formülünü kullanarak, istenen grid}$$

ve noktalar üzerindeki co-geoidin hesaplanan artık geoid yükseklikleri,

$$\delta N_R = \frac{1}{\gamma} \delta W_{RT} : \text{Geoiddeki hesaplanan dolaylı arazi etkisidir.}$$

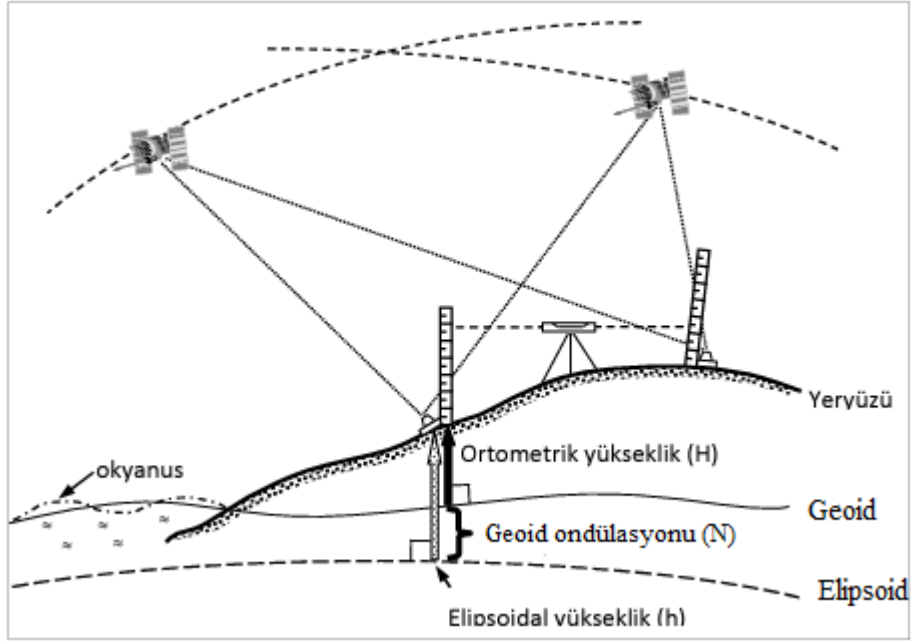
3.3. GNSS/Nivelman Yöntemine Göre Polinomlarla Geoid Yüzeyi Belirleme

GNSS, jeodezi alanında büyük bir etki yaratmıştır. Geçmişte, koordinatları elde etmek için noktalar arasında gözlem yapma, açı ve kenar ölçmeleri gibi klasik yöntemler kullanılırdı, ancak bu yöntemler çok zaman alıcı ve zahmetliydi. GNSS kullanılarak, noktalar arasında görüş gerekliliği ortadan kalktı ve nirengi ağları kurmak daha kolay ve esnek hale geldi. Ancak, GNSS ile elde edilen yükseklik verileri, geleneksel yükseklik ölçme yöntemleriyle (nivelman) elde edilen yüksekliklerden farklı bir yükseklik sistemindedir (Arslan & Yılmaz, 2005). Yükseklik, belirli bir noktanın yeryüzü ile seçilen referans yüzey arasındaki en kısa mesafedir. Bu nedenle, ilk olarak başlangıç yüzeyini ve en kısa mesafeyi sağlayan dik doğrultuyu belirlemek önemlidir. Dik doğrultunun belirlenmesinde, deniz yüzeyine her noktada dik olan çekül doğrultuları kullanılır. Bu çekül doğrultuları, denge halindeki deniz yüzeyine devam ettiği düşünülen bir referans yüzeyi olan geoid üzerinde tanımlanır. Geoid, sıfır yükseltili başlangıç yüzeyi olarak kabul edilir. Sonuç olarak, yükseklik; yeryüzündeki bir noktanın çekül eğrisi boyunca geoid referans yüzeyine olan dikey mesafesidir. Yükseklik, referans koordinat sisteminde üçüncü boyutu oluşturur ve konum bilgilerinden ayrı bir değerlendirmeye tabi tutulur (Fotopoulos, 2003).

Nokta yükseklikleri belirlenirken geometrik ve fiziksel ilkeler göz önüne alınır. Geometrik ilkelerle yüksekliği tanımlamak, bir noktanın düzlem, küre veya elipsoidal bir yüzey üzerindeki yüksekliğini belirlemek anlamına gelir. Yani, geometrik ilkeler temel alınarak düzlem, küre veya elipsoid referans yüzeyini veya başka bir deyişle matematik modeli seçeriz. GNSS ile elde edilen yükseklik değeri, geometrik ilkeler temel alınarak elde edilir ve fiziksel bir değeri içermez. Belirli bir referans elipsoidine göre enlem, boylam ve elipsoidal yükseklikler elde edilir. Ancak pratikte, geometrik yükseklikler yerine, fiziksel yasalara dayanan fiziksel yükseklikler tercih edilir.

GPS verilerinden elipsoidal yükseklik (h) kolayca elde edilebilirken, nivelman ile ortometrik yükseklikler (H) belirlenir ve bu yükseklikler geoide göre ayarlanır. İki yükseklik sistemi arasındaki ilişki aşağıdaki eşitlikle ifade edilir (Şekil 3.16).

$$N = H - h \quad (3.10)$$



Şekil 3.16 Geoid ondülasyonu (N) (Yılmaz & Erdem, 2019)

Burada N , geoid ondülasyonunu temsil eder. Bu eşitlik, GNSS/nivelman yöntemiyle geoid yüksekliğini belirlemenin temel eşitliğidir. Bir noktada ortometrik yükseklik (H) ve elipsoidal yükseklik (h) biliniyorsa, geoid yüksekliği (N) kolayca hesaplanabilir (Arslan & Yılmaz, 2005). Geoid ondülasyonları hesaplanırken yeryuvarının üzerinde yeryuvarı dışında kitle olmadığı varsayımı kabul edilir. Bu nedenle geoid ondülasyonlarının kesin sonuçlarını bulmak için geoid ondülasyon iyileştirmesi yapılır. Bu iyileştirmeler diğer bir deyişle düzeltmeler hesabın daha kolay olması için geoid ondülasyonlarının yaklaşık değerlerine yapılır (Demir vd., 2018).

Son yıllarda, GNSS/nivelman yöntemine göre polinomlarla geoid belirlerken elde edilen geoid yükseklik değerlerini kullanarak, polinomlar ve bulanık mantık prensiplerine dayalı yöntemlerle geoid yüksekliğini belirleme çalışmaları önemli bir popülerlik kazanmıştır. Her iki hesaplama yöntemi de bölgeyi temsil edecek kadar yeterli sayıda nokta gerektirir. Polinomlarla hesaplama yaparken, en az 5. dereceye kadar katsayıları belirlemek gerekirken, bulanık mantık prensipleri kullanılırken alt küme sayısının hassas sonuçlar vermesi için dikkatlice seçilmesi gerekmektedir.

GNSS/Nivelman yöntemine göre polinomlarla geoid belirlenirken kullanılan yüzey genellikle iki değişkenli yüksek dereceden polinomlarla ifade edilir. Ortogonal polinomun temel tanımı;

$$N_{(x,y)} = \sum_{i=0}^m \sum_{\substack{j=k-i \\ i=0}}^k a_{ij} x^i y^j \quad (3.11)$$

şeklindedir.

Burada; a_{ij} polinomun katsayıları, m polinomun derecesi, (x, y) ise noktaların düzlem koordinatlarını göstermektedir. Genel denklemi verilen ortogonal polinom çözümü için öncelikle polinomun derecesi seçilir ve seçilen polinomun derecesine göre uygun denklem oluşturulur. Daha sonra dayanak noktalarının her biri için bilinen değerler yerine konur. 2. Derece polinom için yazılabilecek polinom eşitliği;

$$N_{(x,y)} = a_{00} + a_{10}x + a_{01}y + a_{20}x^2 + a_{11}xy + a_{02}y^2 \quad (3.12)$$

şeklinde yazılabilir.

Burada x ve y koordinatları, $a_{00}, a_{01}, a_{10}, a_{02}, a_{11}, a_{20}$ ise polinom katsayılarını ifade eder. Polinomun derecesi mevcut yükseklik kontrol noktalarının sayısına bağlıdır. Nokta sayısı fazlaysa polinomun derecesi de artırılabilir (Turk & Ambrozic, 2001). Buradan n adet ölçü (dayanak noktası) ve u adet bilinmeyen için $n > u$ olması durumunda n adet dayanak noktasında ölçülen geoid ondülasyonları ile geoidi temsil eden 2. Derece polinomun katsayılarının EKK ilkesiyle dengelemeye belirlenmesi için; dayanak noktalarındaki geoid ondülasyonları için yazılacak düzeltme denklemleri $N_i(x, y) + V_i = a_{00} + a_{10}x_i + a_{01}y_i + a_{20}x_i^2 + a_{11}x_iy_i + a_{02}y_i^2$ şeklindedir.

Buna göre dengeleme modelinin düzeltme denklemleri

$$\begin{aligned} V_1 &= a_{00} + a_{10}x_1 + a_{01}y_1 + a_{20}x_1^2 + a_{11}x_1y_1 + a_{02}y_1^2 - N_1(x, y) \\ V_2 &= a_{00} + a_{10}x_2 + a_{01}y_2 + a_{20}x_2^2 + a_{11}x_2y_2 + a_{02}y_2^2 - N_2(x, y) \\ V_n &= a_{00} + a_{10}x_n + a_{01}y_n + a_{20}x_n^2 + a_{11}x_ny_n + a_{02}y_n^2 - N_n(x, y) \end{aligned} \quad (3.13)$$

olarak elde edilir. Burada durumda V ($nx1$) boyutlu düzeltme vektörü, X ($nx1$) boyutlu bilinmeyenler vektörü, A (nxu) bilinmeyenlerin katsayılar matrisi, I ($nx1$) sabit terimler vektörü olmak üzere; (3.13) düzeltme denklem sisteminden oluşan dengelemenin Fonksiyonel Modeli matris gösterimi ile $V = Ax - I$ olarak elde

edilir. Dengelemenin Stokastik Modeli ise $P_{\ell\ell} = Q_{\ell\ell}^{-1}$ olarak oluşturulur. Fonksiyonel ve stokastik modeldeki matris ve vektörler,

$$V = \begin{bmatrix} V_1 \\ V_2 \\ \dots \\ V_n \end{bmatrix}, \quad X = \begin{bmatrix} a_{00} \\ a_{01} \\ a_{10} \\ a_{02} \\ a_{11} \\ a_{20} \end{bmatrix}, \quad A = \begin{bmatrix} 1 & y_1 & x_1 & y_1^2 & x_1 y_1 & x_1^2 \\ 1 & y_2 & x_2 & y_2^2 & x_2 y_2 & x_2^2 \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ 1 & y_n & x_n & y_n^2 & x_n y_n & x_n^2 \end{bmatrix}, \quad \ell = \begin{bmatrix} N_1 \\ N_2 \\ \cdot \\ N_n \end{bmatrix} \quad (3.14)$$

şeklindedir. Bu modelin EKK yöntemi ile $\|P_{VV}\| = [P_{VV}] = \min$ amaç fonksiyonuna göre çözümünden;

$$X = (A^T P A)^{-1} A^T P \ell \quad (3.15)$$

bilinmeyenleri elde edilir. Dengelemede birim ağırlıklı ortalama hata

$$m_0 = \sqrt{\frac{V^T P V}{n - u}} \quad (3.16)$$

eşitliği elde edilir (Johnson & Faunt, 1992). X bilinmeyenler vektöründeki polinom katsayıları ve (x, y) düzlem koordinatları ile (3.12) eşitliğinden yeni noktalar için geoid ondülasyonları kolaylıkla hesaplanabilir (Kırıcı & Şişman, 2014).

3.3.1. GNSS/Nivelman Yöntemine göre Bulanık Mantık ile Geoid Belirleme

Bulanık mantık kontrolörleri, birçok uygulamanın tasarımında ve geliştirilmesinde önemli bir rol oynamıştır. Veri miktarının pek çok durumda belirlenmesi zor olduğundan, bulanık mantıkta kullanılan yöntem, bulanık üyelik fonksiyonlarının çeşidi, bu fonksiyonlara ait parametreler ve kurallar kümesinin uyumlu bir şekilde belirlenmesi, istenilen sonuçların elde edilmesi için kritik ve zorlu bir görevi temsil eder (Yılmaz, 2013). Kısacası, bulanık (fuzzy) kaynaklar, genellikle kesin olmayan ve farklı biçimlerde ortaya çıkan karmaşıklık ve belirsizlik içeren bilgi kaynaklarıdır. GNSS/nivelman yöntemiyle belirlenen jeoid yükseklikleri, bulanık mantık ilkelerine dayalı modeller kullanılarak yeniden oluşturulabilir. Bulanık mantık yöntemi kullanılırken dikkat edilmesi gereken önemli konular vardır. Veriler, bulanık mantık prensiplerine göre uygun alt kümeler halinde ayrılmalıdır.

Örneğin, enlem ve boylam değerleri, jeoid yüksekliğinin değişimini temsil edebilecek şekilde büyük, küçük ve orta olarak adlandırılabilen alt kümeler halinde ayrılabilir.

Veriler alt kümeler halinde ayrıldıktan sonra, bu alt kümelerin üyelik fonksiyonları belirlenmelidir. Bu üyelik fonksiyonları, genellikle üçgen, yamuk veya Gauss dağılım eğrileri gibi yaygın şekillerde tanımlanır. Son olarak, verilerle ilgili kurallar kümesi oluşturulmalıdır. Bu kurallar, bulanık mantık prensiplerine dayalı olarak verilerin nasıl işleneceğini belirler.

Bulanık mantık, karmaşıklığı ve belirsizliği ele almak için güçlü bir araçtır ve özellikle jeodezi alanında GNSS verileri gibi kesin olmayan bilgilerle çalışırken çok faydalı olabilir (Yaprak, 2007).

3.4. Optimizasyon ve Optimizasyonda Çözüm Yöntemleri

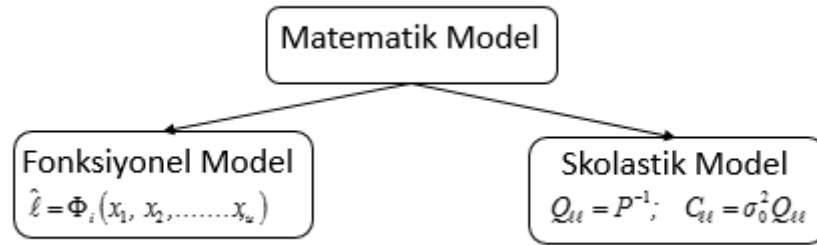
Optimizasyon problemlerinde temel amaç, bu fonksiyonun maksimum veya minimum değerini bulmaktır, bu da genellikle sistemdeki en iyi veya en uygun durumu temsil eder. Optimizasyonda amaç fonksiyonu, genellikle optimize edilmek istenen sistemin performansını, maliyetini, verimliliğini veya başka bir kriteri temsil eder. Bu algoritmalar, amaç fonksiyonunu optimize ederken belirtilen kısıtları da dikkate alarak çözüm alanını araştırırlar. Bu kısıtlar, optimize edilen sistem veya problemin belirli sınırlamalara tabi olduğunu gösterir (Hillier, 1967).

Optimizasyon, bir sistemin veya sürecin en iyi duruma getirilmesi veya en iyi sonuca ulaştırılması amacıyla kullanılan matematiksel ve bilgisayar tabanlı bir disiplindir. Bu, bir problemin belirli kısıtlar altında en uygun çözümü bulmayı veya bir hedef fonksiyonu minimize etmeyi veya maksimize etmeyi içerir. Optimizasyon, bir dizi değişken ve kısıtlama altında bir hedefi optimize etmek için çeşitli algoritmalar ve yöntemler kullanır. Bu değişkenler ve kısıtlamalar genellikle gerçek dünya problemlerini veya mühendislik sorunlarını temsil eder. Örnekler arasında maliyet minimizasyonu, enerji verimliliği artırma, zamanı minimize etme veya karı maksimize etme gibi çeşitli uygulamalar bulunabilir.

Optimizasyon problemleri genellikle matematiksel modellerle ifade edilir ve çözümü, çeşitli algoritmalar, matematiksel programlama teknikleri veya yapay zeka tabanlı yöntemler kullanılarak elde edilebilir (Adby, 2013).

Harita mühendisliğinde ölçü sayısının bilinmeyen sayısından fazla olması uygulamanın doğruluğunu artırmaktadır. Ölçü sayısı (n), bilinmeyen sayısından (u) fazla olduğu durumda çözüm için bir amaç fonksiyonuna göre optimizasyon çözümü yapılır. Dengeleme hesabının amacı bilinmeyenlerin, ölçülerin ve bilinmeyenlerin fonksiyonlarının en yüksek olasılıklı değerini elde etmektir (Dielman, 1986). Dengeleme hesabı kaba, sistematik ve uyuşumsuz ölçü içermeyen normal dağılıma sahip ölçü grubundan herhangi bir ölçüyü çıkarmadan bilinmeyenlerin ve bilinmeyenlerin fonksiyonlarının en uygun ve en yüksek olasılıklı değerleri belirlenmektedir (Wang, 1992).

Dengeleme hesabıyla optimum çözüm için u tane X bilinmeyeninin, n tane l ölçü grubundan belirlenmesi için ölçülerle bilinmeyenler arasındaki fonksiyonel ve stokastik ilişkileri gösteren matematik model yazılır (Şekil 3.17).



Şekil 3.17 Matematik model

Doğrusal matematik model olarak da bilinen Gauss-Morkoff modeli yukarıdaki eşitlik doğrusallaştırılarak elde edilmektedir (Vanicek & Wells, 1972). Dengeleme hesabı için literatürde kullanılan birçok farklı yöntem vardır. Bunlardan sıklıkla kullanılanlar; En Küçük Kareler Yöntemi (EKK), En Küçük Mutlak Toplam Yöntemi (EKMT) ve Toplam En Küçük Kareler Yöntemleridir (TEKK) (Dielman, 1986; Gong, 2008; Li vd., 2013).

3.4.1. En Küçük Kareler Yöntemi (EKK)

EKK yöntemi 1795’de Carl Friedrich Gauss, 1805’de Legendre tarafından açıklanmış birçok bilim dalında kullanılan bir yöntemdir (Şişman, 2014). EKK yöntemi belirlenecek parametreler için yansız tahminler veren hassas bir yöntemdir. Aslında bu yöntem matematiksel olarak iyi tanımlanmış kurallara göre gereğinden

fazla ölçüm kümesini de işleyerek ölçümlerin objektif kalite kontrolünü gerçekleştirmek için kullanılan istatistiksel bir yöntemdir (Hart L., 2021).

EKK Yönteminin; amaç fonksiyonu $V^T P V = \min$ olmasına kısıt fonksiyonu ölçülerin normal dağılımda olmasına dayanır.

Bu amaç fonksiyonu hatalarının ağırlıklı kareleri toplamını minimum olmasına göre optimum çözüm arar. Ancak bu yöntemin uygulanabilir olması için bazı varsayımların gerçekleştirilmiş olması gerekmektedir. Bu varsayımların eksik gerçekleştirilmesi durumunda sonuçların yanlı çıkması kaçınılmazdır. Bu varsayımsal ölçü hatalarının varyansın sabit ve birbirlerinden bağımsız olması ölçü hatalarının beklenen değerinin ortalamasının “0” olması ve bağımsız değişkenler arasında bir ilişki olmamasıdır. Bu varsayımlarının gerçekleştirilmesi EKK yöntemi ile parametre kestirimlerinin yansız ve doğru bir şekilde elde edilmesini sağlar (Büyükuysal & Öz, 2016).

Dengeleme hesabı yöntemi ile 2.derece geoid yüzeyi belirleme işlemleri şu şekildedir.

$$N(x, y) = a_{00} + a_{10}x + a_{01}y + a_{20}x^2 + a_{11}xy + a_{02}y^2 \quad (3.17)$$

$$N(x, y) + V_i = a_{00} + a_{10}x_i + a_{01}y_i + a_{20}x_i^2 + a_{11}x_iy_i + a_{02}y_i^2 \quad (3.18)$$

Fonksiyonel model;

$$\begin{bmatrix} V_1 \\ V_2 \\ \dots \\ \dots \\ \dots \\ V_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & x_1 & y_1 & x_1^2 & x_1y_1 & y_1^2 \\ 1 & x_2 & y_2 & x_2^2 & x_2y_2 & y_2^2 \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ 1 & x_n & y_n & x_n^2 & x_ny_n & y_n^2 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} a_{00} \\ a_{10} \\ a_{01} \\ a_{20} \\ a_{11} \\ a_{02} \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} N_1 \\ N_2 \\ \dots \\ \dots \\ N_{n-1} \\ N_n \end{bmatrix} \quad (3.19)$$

$$V = AX - \ell \quad (3.20)$$

eşitliğiyle bulunur.

Skolastik model;

$$\frac{1}{s_0^2} K_{ll} = Q_{ll} = P_{ll}^{-1} \quad (3.21)$$

eşitliğiyle elde edilir. Burada K_{ll} : Ölçülerin varyans kovaryans matrisi; Q_{ll} : Ölçülerin ters ağırlık matrisi; s_0^2 : Öncül varyansı gösterir.

Optimizasyonla çözüm için amaç fonksiyonu $V^T P V = \min$ yazılırsa;

$$\begin{aligned} V^T P V &= (A x - l)^T P (A x - l) \\ V^T P V &= (x^T A^T - l^T) P (A x - l) \\ V^T P V &= x^T A^T P A x - x^T A^T P l - l^T P A x + l^T P l \end{aligned} \quad (3.22)$$

elde edilir. Min olması için bilinmeyenlere göre türevi alınarak sıfıra eşitlenirse

$$\frac{\partial V^T P V}{\partial x} = A^T P A x + x^T A^T P A - A^T P l - l^T P A = 0 \quad (3.23)$$

ve

$$(x^T A^T P A)^T = A^T P A x, \quad (l^T P A)^T = A^T P l \quad (3.24)$$

olduğundan bu ifadeler birbirlerine eşittir. Bu durumda

$$2(A^T P A)^{-1} x - 2(A^T P l) = 0 \quad (3.25)$$

normal denklemler elde edilir. Buradan x bilinmeyenleri

$$x = (A^T P_{\ell\ell} A)^{-1} A^T P_{\ell\ell} \ell \quad (3.26)$$

eşitliği ile hesaplanır.

Burada; A : Katsayılar matrisi; P : Ağırlık matrisi ; l : Ölçüler vektörü; x : Bilinmeyenler vektörü; V : Düzeltme vektörüdür.

Karesel Ortalama Hata (KOH) ,(m_0) ;

$$m_0 = \pm \sqrt{\frac{V^T P V}{f}} ; f = n - u \quad (3.27)$$

eşitliğiyle hesaplanır. (Ding, 2023; Johnson & Faunt, 1992; Vanicek & Wells, 1972);

EKK yöntemine göre yapılan dengeleme hesabının sonuçları ölçülerin normal dağılımında olduğu yani sadece rastgele ölçü hataları içerdiği durumda gerçekçidir.

Uyuşumsuz ölçü, bir ölçümün veya değerlendirmenin, bir başka ölçüm veya değerlendirme ile karşılaştırıldığında farklı sonuçlar verdiği durumu ifade eder. Bu durum, iki ölçümün veya değerlendirmenin birbiriyle tutarsız, çelişen veya uyumsuz olduğu anlamına gelir. Uyuşumsuzluk, özellikle veri toplama, analiz veya değerlendirme süreçlerinde ortaya çıkabilir. Farklı ölçüm araçlarının kullanılması, farklı ölçüm metotları veya ölçüm hataları gibi çeşitli nedenlerle uyuşumsuzluklar ortaya çıkabilir. Uyuşumsuz ölçü durumu genellikle istenmeyen bir durumdur çünkü bilimsel veya mühendislik çalışmalarında, güvenilir ve tutarlı sonuçlar elde etmek önemlidir (Třasák & Štroner, 2014). Mühendislik uygulamalarında ölçülerde çeşitli hatalar sonucunda uyuşumsuz ölçüler oluşabilmektedir. Özellikle jeodezik çalışmalar için yapılan ölçümlerin değerlendirilmesinde, uyuşumsuz ölçülerin belirlenmesinde güvenilirlik ve kalite açısından önemlidir (Şişman, 2010). Veri grubu uyumlu ve uyuşumsuz ölçüler olarak 2 gruba ayrılmaktadır. Uyuşumsuz ölçülerin hızlı ve güvenilir olarak belirlenmesi gerekmektedir. Bunun için uyuşumsuz ölçü testi yapılır. Uyuşumsuz ölçüler testi için dengeleme hesabı sonrasında bulunan ve hesaplanmasında uyuşumsuz ölçülerinde kullanıldığı m_0^2 soncul varyans kullanılır. İteratif olarak belirlenen uyuşumsuz ölçülerde her iterasyonda uyuşumsuz bulunan nokta kümeden çıkartılır ve kalan noktalar ile uyuşumsuz ölçü testi tekrarlanır. Uygulamalarda uyuşumsuz noktaların belirlenmesi için kullanılan birkaç yaklaşım bulunmaktadır. Bunlardan bir tanesi ve uzun yıllardır çalışmalarda sıklıkla kullanılan geleneksel çözüm yöntemidir. Geleneksel çözüm yöntemlerinde 3 farklı yaklaşım kullanılmaktadır. Bunlar; data-snooping yöntemi, Tau testi ve t testidir (Tablo 3.1).

- **Data-Snooping Yöntemi (W-Testi)**

Uyuşumsuz ölçülerin belirlenmesi için n sayıda ölçü için sıfır hipotezi ölçülerde en az bir uyuşumsuz ölçü varlığı düşünülerek

$$H_0 : E\{\Delta_i = 0\} \quad (3.28)$$

şeklinde kurulur.

Seçenek hipotezi ise tüm ölçülerin uyumlu olduğu düşünülerek

$$H_s : E\{\Delta_i \neq 0\} \quad (3.29)$$

eşitliğiyle kurulur.

n sayıda hipotezin her biri için ölçülerin korelasyonsuz olduğu varsayımı ile test büyüklüğü

$$W_i = \frac{|V_i|}{\sigma_{v_i}} = \frac{|V_i|}{\sigma_0 \sqrt{q_{v_i v_i}}} \quad (3.30)$$

hesaplanır. W_i değeri tablo değeri ile karşılaştırılır ve $W_i > q$ olması durumunda en büyük test büyüklüğü değerine sahip nokta kümeden çıkartılarak uyumsuz ölçü testi tekrarlanır (Tanir, 2000).

- **Tau Testi**

(3.28) ve (3.29) eşitlikleri ile hipotez testleri kurulur. Dengeleme öncesi varyansın tam olarak bilinmemesi durumunda σ_0^2 öncül varyansın yerine dengeleme sonrası elde edilen m_0^2 soncul varyansın kullanılması durumunda ortaya çıkar. Test büyüklüğü

$$T_i = \frac{|V_i|}{m_{v_i}} = \frac{|V_i|}{m_0 \sqrt{Q_{v_i v_i}}} \quad (3.31)$$

ile hesaplanır. T_i test büyüklüğü, $\tau(\text{tau})$ dağılımı için tablodan alınan q sınır değeri ile karşılaştırılır. $T_i > q$ olması durumunda en büyük T_i değerine sahip olan nokta kümeden çıkartılır ve kalan noktalar ile uyumsuz ölçü testi tekrarlanır.

- **t-testi**

Herhangibir l_i ölçüsü kaba hata içeriyorsa bu ölçünün kullanılmasıyla hesaplanan soncul varyans m_0^2 'de bu hatayı içermektedir. Bu nedenle hatalardan arındırılmış m_{01}^2 soncul varyans değeri ile test büyüklüğü t_i hesaplanmaktadır.

$$m_{01} = \frac{1}{(f-1)} \left(f \cdot m_0^2 - \frac{V_i^2}{Q_{v_i v_i}} \right) \quad (3.32)$$

Test büyüklüğü;

$$t_i = \frac{|V_i|}{m_{v_i}} = \frac{|V_i|}{m_{01} \sqrt{Q_{v_i v_i}}} \quad (3.33)$$

ile hesaplanmaktadır. t_i değeri q sınır değeri ile karşılaştırılmaktadır. $t_i > q$ olduğu en büyük t_i değerine sahip noktayı kümeden çıkartarak kalan noktalar ile uyumsuz ölçü testi tekrarlanmaktadır (Şişman & Dilaver, 2005). Bu işleme ölçülerde uyumsuz ölçü kalmayıncaya kadar devam edilir. Uyumsuz ölçü kalmadığında uyumlu ölçü kümesi elde edilmiş olur (Bektaş, 2005; Kırıcı & Şişman, 2015).

Tablo 3.1 Geleneksel çözüm yöntemleri (Konakoğlu, 2014)

Yöntem	Test Değeri	Test Dağılımı	Sınır Değer
Data-Snooping	$W_i = \frac{ V_i }{\sigma_{v_i}} = \frac{ V_i }{\sigma_0 \sqrt{q_{v_i v_i}}}$	$\approx N(0,1)$	$N_{1-\alpha_0/2}$
Tau Testi	$T_i = \frac{ V_i }{m_{v_i}} = \frac{ V_i }{m_0 \sqrt{Q_{v_i v_i}}}$	$\approx \tau_{f,1-\alpha_0/2}$	$\tau_{f,1-\alpha_0/2}$
t testi	$t_i = \frac{ V_i }{m_{v_i}} = \frac{ V_i }{m_{01} \sqrt{Q_{v_i v_i}}}$	$\approx t_{f-1,1-\alpha_0/2}$	$t_{f-1,1-\alpha_0/2}$

Geoid yüzeyi belirleme işleminde ilk bakışta çalışma alanı için kaçınıcı dereceden bir polinomsal yüzey kullanılacağına karar verilemez. En uygun polinomun derecesinin belirlenmesi için kullanılabilecek yöntem parametrelerin anlamlılık testidir. Normal dağılımda olduğu varsayılan bir ölçü kümesinde, kestirilen bir parametre x_i ve standart sapması m_{xi} olsun. Parametrelerin beklenen değerinin sıfır kabul edilip edilemeyeceğine karar vermek için hipotez testi ile çözüm yapılır. Sıfır ve seçenek hipotezi oluşturulur, test edilir.

$H_0 : E\{x_i\} = 0$ sıfır hipotezi

$H_s : E\{x_i\} \neq 0$ seçenek hipotezi

Test büyüklüğü $T_i = \frac{|x_i|}{m_{xi}}$ ile tablo değeri $q = t_{f,1-\alpha_0/2}$ arasında karşılaştırma

yapılır. $T_i > q$ olması durumunda sıfır hipotezi kabul edilir ve ilgili terim polinomdan silinir. Seçenek hipotezin geçerli olması durumunda değerin anlamlı olduğu kararına varılır (Teke & Yalçinkaya).

3.4.2. Sezgisel ve Metasezgisel Algoritmalar ile Optimizasyon

Yapay zeka ve makine öğrenimi, optimizasyon yöntemlerini içeren geniş bir alandır. Optimizasyon, bu alanlarda yaygın olarak kullanılan bir araçtır ve bir dizi uygulama için temel bir bileşen sağlar. Optimizasyon, sezgisel ve metasezgisel algoritmaların ortak bir temelini oluşturur. Optimizasyon ile çözülmek istenen probleme özgü oluşturulan algoritmalarla sezgisel algoritmalar, probleminden bağımsız olarak kullanılan genel yöntemlere ise metasezgisel algoritmalar denir. Metasezgisel yöntemler genellikle doğadaki biyolojik durumlardan etkilenecek oluşturulmuş algoritmalar (Breedam, 2001).

Sezgisel algoritmalar, bir problemi çözmek veya bir hedefe ulaşmak için çeşitli alternatif adımları kullanarak karar veren ve genellikle bilgisayar metodlarına dayanan algoritmaları ifade eder. Bu tür algoritmalar, belirli bir problemi çözmek veya bir hedefi başarmak için kullanılan kriterlerle çalışırlar. Bu algoritmaların en büyük özelliği, yakınsama yetenekleridir. Yani, zamanla daha iyi ve daha iyi çözümlere yaklaşırlar. Ancak, her zaman en iyi çözümü garanti etmezler. Bu nedenle, sezgisel algoritmalar "kesin çözüm yakınındaki bir çözümü garanti edebilirler" şeklinde tanımlanırlar.

Sezgisel algoritmalar, genellikle karmaşık ve büyük veri setleri üzerinde çalışırken, optimizasyon problemlerini çözmek için tercih edilirler. Bu algoritmalar, birçok farklı endüstri ve uygulama alanında örneğin lojistik, üretim, finans, ve yapay zeka gibi birçok alanda kullanılır. Sezgisel algoritmalarla ihtiyaç duyulma sebepleri;

- Optimizasyon probleminin kesin çözümünü bulmak işleminin tanımlanamadığı bir yapıda olabilirler
- Sezgisel algoritmalar anlaşılabilirlik ve karar vericilik açısından çok daha basit olabilirler
- Sezgisel algoritmalar, kesin çözümü bulmak ayrıca öğrenme amaçlı işlemlerin bir parçası olarak kullanılabilir (Karaboğa, 2014).

Metasezgisel algoritmalar doğa gözlemleri sonucu elde edilen sonuçların matematiksel olarak geliştirilmiş algoritmalarlardır. Metasezgisel algoritmaların optimizasyon süreci, aday çözümlerin üretilmesi ve optimizasyon amacına bağlı olarak bu aday çözümlerin iyileştirilerek en iyi çözümün bulunması mantığına dayanır

(Blum & Roli, 2003). Metasezgisel Algoritmalar bazı örnekler Tablo 3.2’de verilmiştir.

Tablo 3.2 Metasezgisel algoritmalar bazı örnekler

Algoritmanın Adı	Geliştiren Kişi	Yıl
Genetik Algoritma	Holland	1975
Tavlama Benzeşimi	Kirkpatrick, Gelatt ve Vecchi	1983
Parçacık Sürü Optimizasyonu	Kennedy ve Eberhart	1995
Karınca Kolonisi Optimizasyonu	Dorigo, Maniezzo ve Coloni	1996
Diferansiyel Evrim	Storn ve Price	1997
Armoni Arama	Geem, Kim ve Loganathan	2001
Bakteri Yiyecek Arama Optimi	Passino	2002
Kurbağa Sıçrama Algoritması	M.Eusuff	2003
Yapay Arı Kolonisi	Karaboga ve Basturk	2007
Guguk Kuşu Arama	Yang ve Deb	2009
Ateş Böceği Algoritması	Yang	2009
Yarasa Algoritması	Yang	2010
Öğretme-Öğrenme Tabanlı Optimizasyon	Rao , Savsani ve Vakharia	2011
Çiçek Tozlaşma Algoritması	Yang	2012
Işın Optimizasyonu	Kaveh ve Khayatad	2012
Kril Sürüsü	Gandomi ve Alavi	2012
Gri Kurt Optimizasyonu	Mirjalili, Mirjalili ve Lewis	2014
Sosyal Örümcek Algoritması	James ve Li	2015
Cırcır Böceği Algoritması	Canayaz	2015
Jaya Algoritması	Rao	2016

Tablo 3.2 (Devamı)

Balina Optimizasyon Algoritması	Mirjalili ve Lewis	2016
Afrika Akbabaları Optimizasyon Algoritması	El-Sawy ve Khoriba	2017
Deniz Avcıları Algoritması	Kattan ve Mansour	2017
Harris Şahin Optimizasyonu	Heidari, Mirjalili, Farih, Aljarah ve Mafarja	2019
Cıvık Mantar Optimizasyon Algoritması	Chen , Wang, Heidari ,Mirjalili	2020
Yapay Deniz Anası Arama Algoritması	Basset	2021
Karadul Örümcek Algoritması	Hu, Du, Wang ve Wei	2022
At Sürüsü Optimizasyonu	Awadallah, Hammouri, Al-Betar, Braik ve Abd-Elaziz	2022

Metasezgisel algoritmalar, sınıflandırma problemleri gibi veri gruplarının işlendiği birçok alanda önemli bir kullanım alanı bulmuştur. Metasezgisel algoritmalar, özellikle makine öğrenimi ve veri madenciliği alanlarında sınıflandırma problemleri için yaygın olarak kullanılır. Örneğin, bir veri setindeki örnekleri farklı sınıflara atama görevi olan sınıflandırma problemlerinde, metasezgisel algoritmalar öğrenme ve tahmin yeteneklerini kullanarak başarılı sonuçlar elde edebilir. Sınıflandırma yanında, metasezgisel algoritmalar kümeleme problemlerinde de kullanılabilir. Veri setini farklı gruplara bölen ve benzer örnekleri bir araya getiren bu algoritmalar, veri analizi ve segmentasyon görevlerinde etkili olabilir (Askarzadeh, 2016). Metasezgisel algoritmalar gelecek tahminleri yada sınıflandırma gibi çeşitli alanlarda kullanılabilir. Bu algoritmaların sınıflandırma problemlerinde kullanımı oldukça yaygındır. Bu çalışmada bu algoritmalarından geoid yüzeyi belirlemek için veri setini uyumsuz ve uyumsuz olarak sınıflandırma probleminde KSA, AA, PSO ve GKO yöntemleri seçilmiş ve uygulanmıştır.

3.4.2.1. Kurbağa Sıçrama Algoritması

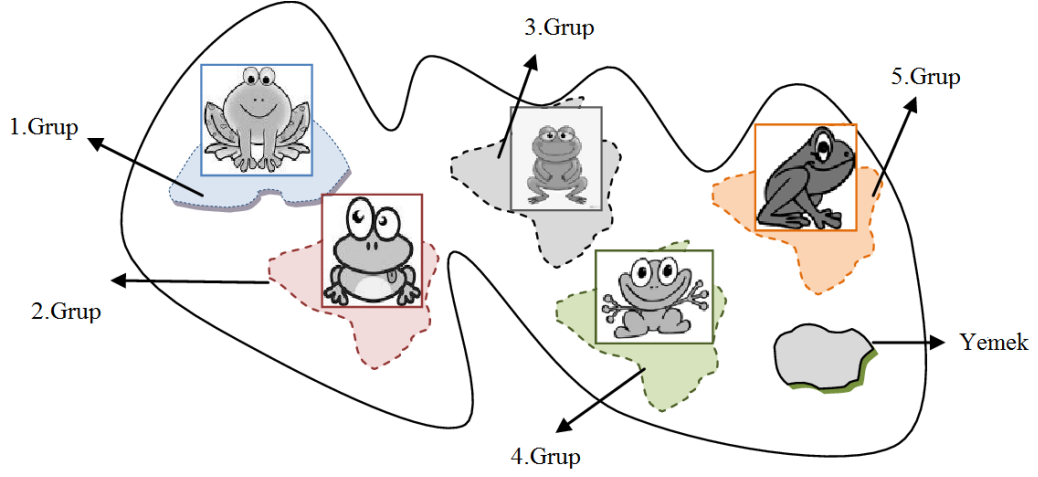
Kurbağa Sıçrama Algoritması (KSA), doğadan esinlenerek tasarlanmış bir optimizasyon algoritmasıdır. Bu algoritma, kurbağaların beslenmek amacıyla sıçramalarını taklit eden bir optimizasyon stratejisini kullanır. Kurbağa sıçraması, popülasyonun belirli bir bölgede daha iyi çözümleri aramak için bir arama stratejisi olarak modellenir. KSA'da teorik olarak sürünün bireysel üyeleri yiyecek arayışı sırasında sürünün diğer üyelerinin önceki keşiflerinden ve deneyimlerinden

yararlanmaktadır (Eusuff vd., 2006). KSA, ilk olarak 2003 yılında su dağıtım şebekesi probleminin optimizasyonu için kullanılmıştır (Eusuff & Lansey, 2003).

Genetik bilimindeki gen kavramı, kültürel ve sosyal anlamda mem kavramına benzetilebilir. Kalıtsal özelliklerin genler aracılığıyla aktarıldığı gibi, sosyal yaşamda sahip olunan deneyimler ve davranışlar da memler vasıtasıyla başkalarına aktarılabilmektedir. Memler, taklit süreçleriyle bireyler arasında iletilir ve yayılır. Nesiller arasında iyi genlerin aktarıldığı genetik biliminde olduğu gibi, mem düzeyinde de iyi fikirlerin bireyler arasında daha fazla yayılması mümkündür. Kurbağa sıçrama algoritması, memetik bir optimizasyon algoritması olarak kullanılır. Bu algoritma, bir kurbağa topluluğunun maksimum miktarda besine minimum hareketle ulaşmak için yaptıkları hareketleri model alır. Popülasyon içinde her kurbağa bir çözümü temsil ederken, her bir kurbağa belirlenen kısıtlara göre bir uygunluk değerine sahiptir, bu değer kurbağanın besine olan yakınlığını temsil eder. Rastgele bir kurbağa popülasyonu oluşturulduktan sonra, popülasyon uygunluk değerlerine göre sıralanır ve gruplara (mempleks) ayrılır. Mempleks içindeki her kurbağa grubu belirli bir iterasyon sayısınca memetik evrime tabi tutulur. Memetik evrim aşaması, popülasyondaki her kurbağanın sahip olduğu mem kalitesini artırarak hedefe gidilmesini amaçlar. Memetik evrim adımlarında, iyi değerlere sahip bireylerin, algoritmanın devamında uygulanacak adımlar için, nispeten daha kötü sonuçlara sahip bireylerden etkisinin daha fazla olması amaçlanmaktadır. Bu nedenle memetik evrim aşamasında seçim işlemi yapılmadan önce her bir kurbağaya, sahip olduğu mem kalitesi ile orantılı olarak bir seçilme katsayısı verilir. Gruplar kendi içlerinde buldukları sonuçları popülasyon bazında bir araya getirerek, bu sonuçlara göre popülasyonun yeni ve farklı gruplara ayrılması sağlarlar. Böylece kurbağaların sahip olduğu memetik bilgi, farklı konumlardaki kurbağaların da katkısıyla global düzeyde paylaşıp, en iyi çözüme doğru iteratif olarak gidilmektedir. Mempleksler içinde yapılan bu evrimsel işlemler diğer gruplardan bağımsız olduğu için değişiklikler hızlı bir şekilde grup içine uygulanıp güncellemeler yapılmaktadır. Grupların kendi içinde yaptıkları bu güncelleme popülasyonun diğer gruplarında bulunan kurbağalar tarafından da görülebilmektedir.

KSA, kombinatoriyal optimizasyon problemlerine yönelik olarak geliştirilmiş bir algoritmadır. Bu algoritma, genellikle kurbağaların yaşam alanlarının göller veya daha küçük su birikintileri olduğu bir ortamda uygulanır. Şekil 3.18’de gösterilen temsili

bir kurbağa sürüsü, kurbağaların yaşam alanlarında farklı konumlarda bulunduğunu göstermektedir. Bu kurbağalar birbiriyle iletişim halinde ve etkileşim içindedir; her bir kurbağanın kendine özgü bir memetik bilgisi bulunmaktadır. Memetik bilgi, bir kurbağanın besine olan uzaklığını ifade eder. Her kurbağa, kendi memetik bilgisini diğer kurbağalarla paylaşarak konumunu besine daha yakın bir hale getirebilir. Bu şekilde memetik bilgi paylaşımı, popülasyondaki kurbağaların besine doğru konumlarını sürekli olarak güncellemelerini sağlar. (Karakoyun & Babalik, 2015).



Şekil 3.18 Kurbağa Sığrama Algoritması (Singh, 2015)

KSA'nın;

Amaç Fonksiyonu:

Kısıt Fonksiyonu:

$$\sum \text{besin} = \max$$

min hareket

KSA'nın genel adımları aşağıdaki şekilde açıklanmıştır;

Adım 0: Başlama

m ; mempleks sayısını, n ise hep mempleksde ki kurbağa sayısını göstermektedir. Bu nedenle toplam örneklem $F = mn$ olarak söylenebilir.

Adım 1: Rastgele çözüm ve kurbağaların uygunluk değeri hesabı

Problemin çözümü için her biri olası çözümü temsil eden, popülasyondaki her bir kurbağa için belirlenen sınırlar içerisinde rastgele bir çözüm üretilir. i problemin boyutu olmak üzere her bir kurbağa çözüm uzayında $U(i)$ şeklinde temsil edilir.

Burada $U(i)$, i . kurbağanın vektörel gösterimidir. Sonuçta kurbağaların fitness değeri hesaplanır (Elbeltagi vd., 2005).

Adım 2: Uygunluk değerine göre sıralama

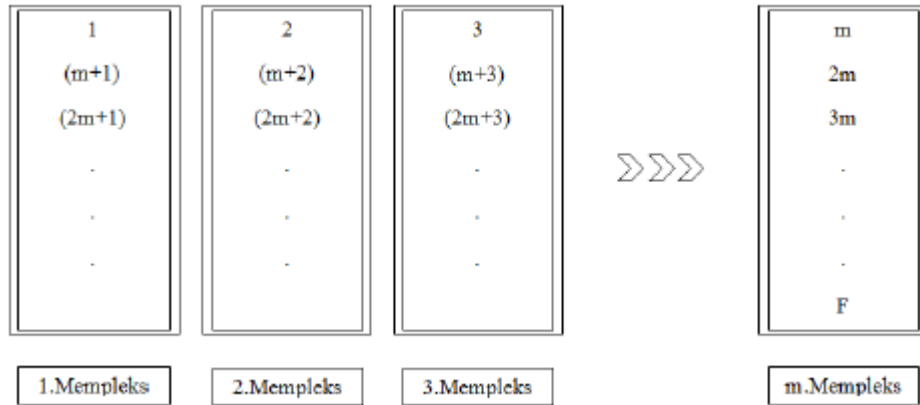
Uygunluk değerleri hesaplanmış olan kurbağalar uygunluk değerlerine göre büyükten küçüğe doğru sıralanır. Kısacası bu kurbağalar en iyi değerden en kötü değere doğru sıralanır. $X = \{U(i), F(i), i = 1, \dots, F\}$ popülasyonda $i=1$ en iyi uygunluk değerine sahip kurbağa olacaktır. Böylelikle P_x en iyi kurbağayı temsil etmektedir. Bu durumda $P_x = U(1)$ olmaktadır.

Adım 3: Kurbağaların memplekse ayrılması

Bu adımda X dizisi m tane memplekse ayrılır. n adet kurbağa için m tane mempleks oluşur $Y_i = Y_1, Y_2, \dots, Y_m$. Popülasyondaki kurbağaların memplekslere ayrılmasında eşitlik (3.34) kullanılmaktadır.

$$Y^k = \left[U(j)^k, f(j)^k \mid U(j)^k = U(k + m(j-1)), f(j)^k = f(k + m(j-1)), j = 1, \dots, n \right], k = 1, \dots, m \quad (3.34)$$

Örneğin $m=3$ için, en iyi kurbağa olan 1. Kurbağa 1.memplekse, 2.kurbağa 2.memplekse, 3.kurbağa 3.memplekse, 4.kurbağa tekrar 1.memplekse 5.kurbağa 2.memplekse ve 6.kurbağa 3.memplekse girecek şekilde dağıtım yapılır. Böylelikle her bir mempleks de n tane kurbağa olmuş olur (Şekil 3.19).



Şekil 3.19 Kurbağaların Memplekse Ayrılma Durumu (Karakoyun & Babalik, 2015)

Adım 4: Memetik evrim

Bu adımda her bir mempleks için memetik evrim döngüsü başlar. Bu adım genel adımların anlatımı tamamlandıktan sonra daha geniş olarak ele alınacaktır.

Adım 5: Kurbağaların yeni konumlarının hesabı ve sıralama

Belirlenen memetik döngü sayısının her memplekse uygulanması sonucunda, Y mempleks dizisindeki tüm mempleksleri oluşturan kurbağalar karıştırılarak X dizisine atanır. X dizisi kurbağaların yeni konumlarına göre hesaplanan uygunluk değerlerine göre en iyi kurbağadan en kötü kurbağaya doğru olacak şekilde sıralanır. X dizisinin ilk elemanı olan kurbağanın konumu P_x (global en iyi) olarak işaretlenir.

Adım 6: İterasyona göre çözüm

Eğer maksimum iterasyonu tamamlamışsa ve kriteri yerine getirmişse algoritma durdurulur. Aksi halde adım 3'e geri dönlür. 3.Adım belirlenen iterasyon sayısı kadar devam eder. Adım 3'ün detayları aşağıdaki gibidir;

Adım 3.0: $im = 0$ ayarlanır. Burada im mempleks sayısını sayar ve mempleks toplamı ile karşılaştırır. $iN = 0$ olarak ayarlanır. Burada iN evrimsel döngü sayısını sayar ve maksimum N ile karşılaştırır.

Adım 3.1: im değeri bir artırılır. $im = im + 1$

Adım 3.2: iN değeri bir artırılır. $iN = iN + 1$

Adım 3.3: Kurbağaların amacı en iyi çözüme doğru yaklaşmaktır. Bu amacı gerçekleştirmek için de global en iyi (P_x) ya da yerel en iyi (P_b) kurbağanın konumundan faydalanılır. Mempleksin alt kümesi alt-mempleks olarak isimlendirilir. Mempleks içindeki aktif evrimin başlaması için söz konusu mempleksden bir alt mempleks üretilmesi gerekir. Alt-mempleks oluşturulurken, mempleksteki uygunluk değeri açısından daha iyi kurbağalara daha yüksek seçilme oranları verilerek, alt memplekse girme şansları artırılır. Düşük uygunluk değerine sahip kurbağalara ise uygunluk değerine göre seçim olasılığı verilmektedir. Mempleksdeki kurbağaların alt-memplekse seçilme olasılığı aşağıdaki formül ile belirlenmektedir (Şekil 3.20).

$$P_j = \frac{2(n+1-j)}{n(n+1)} \quad j = 1, 2, \dots, n \quad (3.35)$$

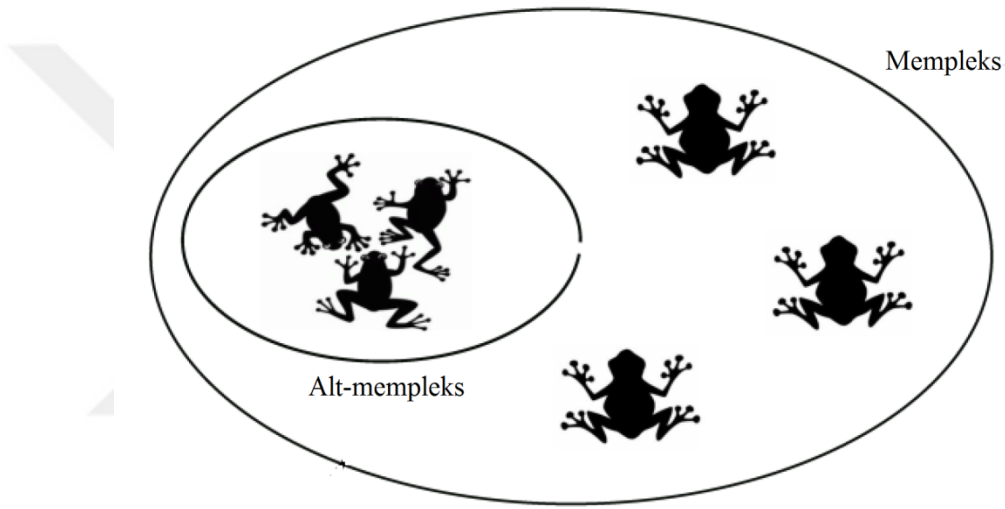
Bu durumda mempleks içindeki birinci kurbağanın olasılığı en yüksek olacaktır;

$$P_1 = \frac{2}{(n+1)} \quad (3.36)$$

Mempleksdeki en kötü uygunluk değerine sahip kurbağanın seçilme olasılığı en düşük olacaktır.

$$P_n = \frac{2}{n(n+1)} \quad (3.37)$$

Bu şekilde olasılıkları belirlenen kurbağalar en iyi uygunluk değerine sahip olandan en kötüye doğru sıralanır. Sıralama sonucunda alt-mempleksdeki ilk kurbağa yerel en iyi (P_b) ve en son sıradaki kurbağa da yerel en kötü (P_w) kurbağa olarak belirlenir.



Şekil 3.20 Alt-memplex örneği (Mora-Melia vd., 2016)

Adım 3.4: Alt-memplexdeki en kötü performansa sahip kurbağa için adım ve yeni konum hesaplanır.

$$StepSizeS = \min\{\text{int}[rand(P_b - P_w), S_{\max}]\} \quad \text{İleriye adım miktarı} \quad (3.38)$$

$$StepSizeS = \max\{\text{int}[rand(P_b - P_w), -S_{\max}]\} \quad \text{Geriye adım miktarı}$$

Burada $rand$ değeri $[0,1]$ aralığında rastgele üretilen bir sayıdır. $S_{\max}$ algoritmanın başında izin verilen maksimum adım büyüklüğüdür. En kötü kurbağa için adım büyüklüğü hesaplandıktan sonra yeni konumu bulunur.

$$U(q) = P_w + S \quad (3.39)$$

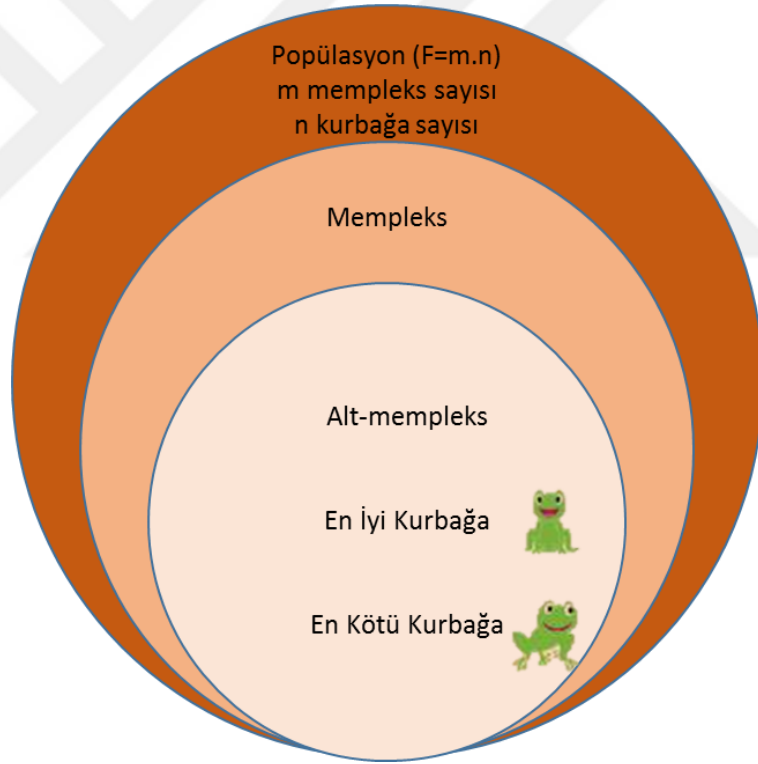
$U(q)$ çözüm kümesi için belirlenen sınırlar içerisinde olup olmadığına bakılarak

uygunluk değeri $f(q)$ hesaplanır. En kötü kurbağa dediğimiz en alt sıradaki kurbağanın eski uygunluk değeri ile yeni hesaplanan uygunluk değeri kıyaslanır. Yeni uygunluk değeri daha iyi ise en kötü konumdaki kurbağanın (P_w) konumu ve uygunluk değeri yeni olan değerler ile güncellenir. Bu durumda Adım 3.6'ya gidilerek oradan işleme devam edilir. Aksi halde ise, yani bulunan yeni konum çözüm sınırları dışında kalıyor ise ya da sınırlar içerisinde olmasına rağmen eski uygunluk değerinden daha kötü bir değere sahip ise bu durumda bir sonraki aşama olan Adım 3.5' e geçilir.

Adım 3.5: Eğer Adım 3.4'ü daha iyi bir sonuç veremiyorsa, o zaman o kurbağa için adım ve yeni konum hesaplanır.

$$StepSizeS = \min\{\text{int}[rand(P_x - P_w)], S_{\max}\} \quad \text{İleriye adım miktarı}$$

$$StepSizeS = \max\{\text{int}[rand(P_x - P_w)] - S_{\max}\} \quad \text{Geriye adım miktarı}$$



Şekil 3.21 Alt-mempleksdeki en iyi ve en kötü kurbağa gösterimi (Maarroof vd., 2022)

Yeni kurbağa için $U(q)$ yeni uygunluk değeri hesaplanır. Yeni uygunluk değeri, $f(q)$ eski uygunluk değerinden daha iyi ise eski uygunluk değeri ile yeni uygunluk değeri değiştirilir. Böylelikle Adım 3.7'ye gidilir. Aksi halde Adım 3.6'ya gidilir.

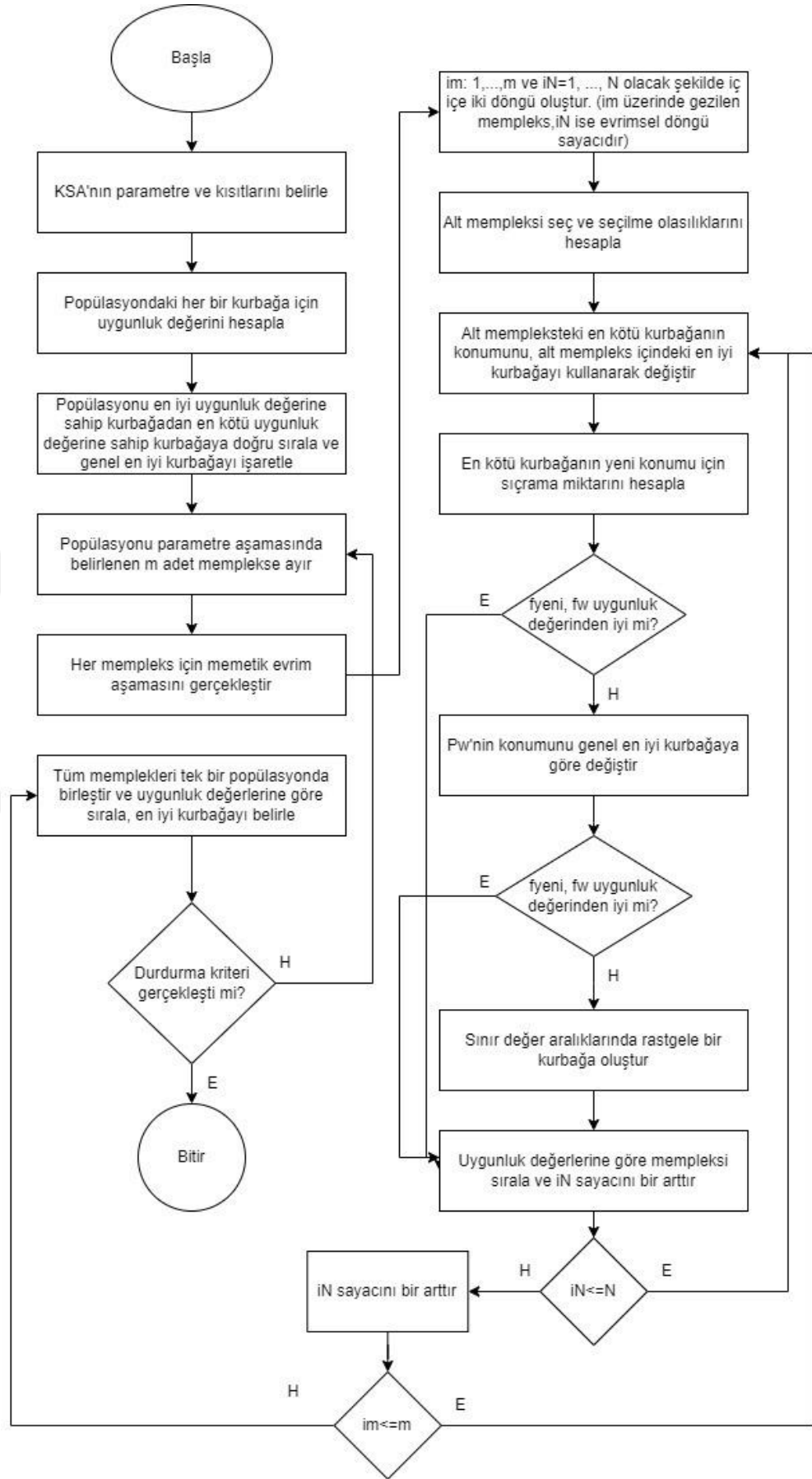
Adım 3.6: Yeni pozisyon eski pozisyondan daha iyi değil ise kötü kurbağanın yerine rastgele yeni bir kurbağa üretilir.

Adım 3.7: Alt-mempleksdeki en kötü kurbağanın konumu belirlenen aşamalardan geçirilip güncellendikten sonra kurbağa yeni konuma taşınır ve kurbağalar tekrar uygunluk değerlerine göre iyiden kötüye doğru sıralanır.

Adım 3.8: Evrimsel döngü sayacı 1 artırılır $iN = iN + 1$. Eğer $iN < N$ ise Adım 3.2'ye gidilir.

Adım 3.9: Söz konusu mempleks için evrimsel döngü sayısı tamamlandıktan sonra varsa yeni mempleks için memetik evrimin başlaması için mempleks sayacı 1 artırılır $im = im + 1$. Eğer $im < m$ ise Adım 3.1'e gidilir.

KSO'nunun akış diyagramı Şekil 3.22'de verilmektedir.



Şekil 3.22 KSO akış diyagramı

Bu şekilde yapılan çözümlerle verilerin sınıflandırması yapılabilir. Ayrıca bu nedenle 3B nokta bulutundan yüzey belirleme için uyumlu veri grubu oluşturmada da kullanılabilir.

3.4.2.2. Ateşböceği algoritması

Ateş böceği Algoritması (AA) (Firefly Algorithm) Xin-She Yang tarafından 2008 yılında ateş böceklerinin davranışlarını gözlemleyerek geliştirmiştir. AA, doğadan ilham alan bir optimizasyon algoritmasıdır. Bu algoritma, ateşböceklerinin davranışlarını modelleyerek, özellikle karmaşık optimizasyon problemlerinde kullanılmak üzere geliştirilmiştir. Ateşböceği sürüsü içerisindeki bireyler arasındaki etkileşim ve ışık yayma özelliklerinden ilham alınarak tasarlanmıştır.

Bu algoritma aşağıdaki ilkelere bağlı olarak uygulanmaktadır;

- Ateş böceklerinin cinsiyetleri unisex kabul edilir ve cinsiyet ayrımları olmadan birbirlerini etkileyebilirler.
 - Ateş böceklerinin çekicilikleri parlaklıkları ile doğru orantılıdır. En parlak olan ateş böceği en çekicidir.
 - Ateş böceklerinin parlaklıkları azaldıkça çekicilikleri de azalmaktadır.
- (Şekil 3.23)

Bir ateşböceğinin önemi parlaklığı eniyileyecek fonksiyonlardan ürettiği değer ile belirlenir (Yang, 2010a; Yang & He, 2013b).



Şekil 3.23 Ateş Böceği (Karaarslan & Zengin, 2016)

Ateş böcekleri, karın kısımlarında bulunan lüsiferin maddesi sayesinde kısa ve ritmik ışıklar üretebilirler. Bu üretilen ışık, doğada avlanma, karşı cinsi etkileme ve avı ürettiği ışığa doğru çekmek amacıyla kullanılır. Ateş böceklerinin yönelimleri, üretilen ışığın parlaklığına bağlıdır. Bu durum şu şekilde açıklanabilir: Eğer bir ateş böceği, görüş alanı içinde kendinden daha parlak bir ateş böceği görürse, parlak olan

ateş böceğine doğru hareket eder; fakat kendinden daha parlak bir ateş böceği bulamazsa, kendi çevresinde rastgele hareket eder. Ateş böceğinin fark edeceği parlaklık değeri, ateş böcekleri arasındaki uzaklığa ve ışık yoğunluğuna bağlı olarak belirlenir (Farahani vd., 2011).

AA'nın avantajları şu şekilde sıralanabilir;

- AA, basit bir yapıya sahip olup karmaşık bir yapıya ihtiyaç duymaz. Oluşturulan parametre değeri ile algoritmada döngü oluşturularak problem çözümüne ulaşmak mümkündür.
- AA, problemleri çoklu mod ile çözebilme yeteneğine sahiptir ve çözümleri alt bölümlerde inceleme kapasitesine sahiptir, bu özellik ateş böceği algoritmasını diğer algoritmalar karşısında üstün kılar.
- AA, yerel ve global en iyi sonuca odaklanırken, diğer algoritmalar sadece en iyi yerel sonuca odaklanır (Yang, 2010a).

AA'nın;

Amaç Fonksiyonu;

max parlaklık ve çekicilik

Kısıt Fonksiyonu;

min hareket

AA'nda etkili optimum çözümler elde etmek amacıyla verilen bir optimizasyon problemi için amaç fonksiyonu, ateş böceği sürüsünün parlak ve çekici yerlere yönlendirilmesine yardımcı olan yanıp sönen ışık veya ışık şiddeti ile ilişkilidir. AA'nın genel adımları açıklanmıştır;

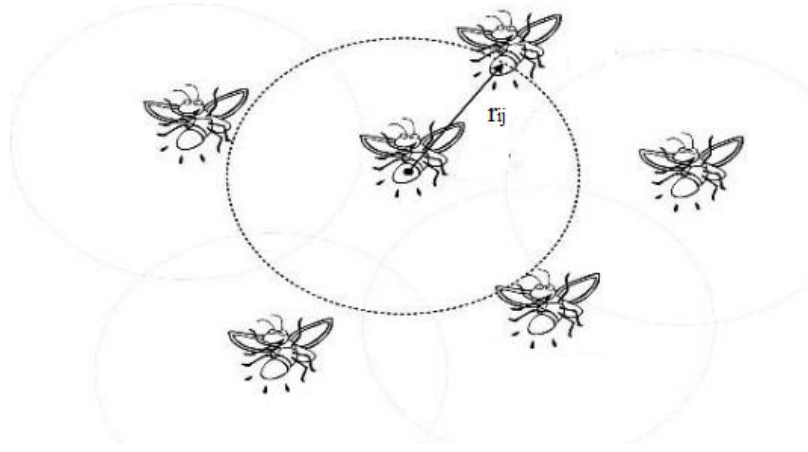
Adım 0: Başlangıç

n sürüdeki ateş böceği sayısını vermektedir. X_i , i .ateş böceğinin çözümüdür. $f(X_i)$; çözümün en iyiye olan uzaklığını söylemektedir. Tüm ateş böcekleri için X_i problem boyutu kadar elemana sahiptir ve rastgele değerlerle ilklenmektedir.

Adım 1: Ateşböceklerinin arasındaki mesafe hesabı

i ve j noktalarındaki her iki ateşböceği arasındaki mesafeler hesaplanır. İki ateş böceği arasındaki uzaklık kartezyen uzaklık formülü ile belirlenir Bu işlem (3.40) numaralı formül kullanılarak yapılır.

$$r_{ij} = \sqrt{(x_j - x_i)^2 + (y_j - y_i)^2} \quad (3.40)$$



Şekil 3.24 Ateşböcekleri arasındaki mesafe (Ali vd., 2019)

Adım 2: Ateş böceklerinin parlaklık ve çekicilik hesabı

Her bir çözümün X_i en iyileyecek problemde döndürdüğü değer ilgili ateş böceğinin parlaklığını (3.41) ifade etmektedir. Algoritmanın genel mantığı göz önünde bulundurulduğunda en parlak ateşböceğine yönelim vardır. Parlaklık mesafe ile ters orantılıdır.

$$I_r = \frac{I_{(s)}}{r^2} \quad (3.41)$$

Işık bir ortamda yayılırken belli bir oranda emilime uğrar.

$$I_r = I_0 e^{-\gamma r^2} \quad (3.42)$$

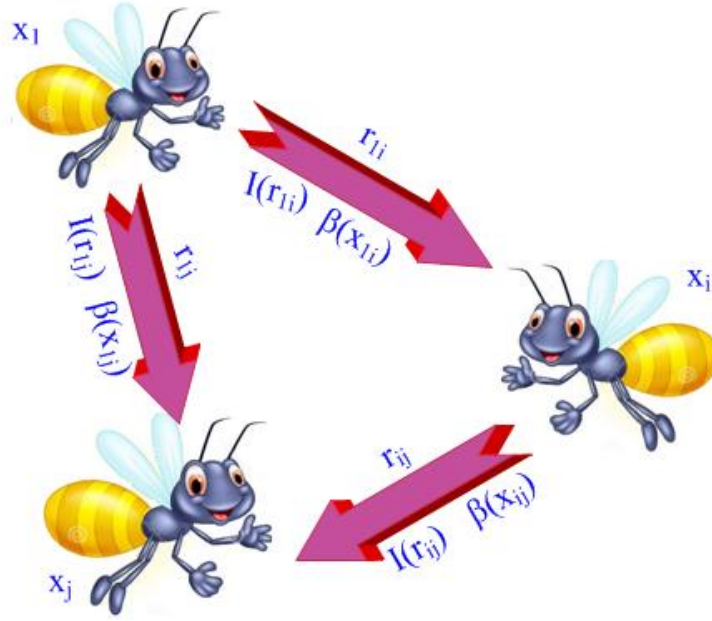
Burada I_r : Işık şiddeti, $I_{(s)}$: Kaynak ışık şiddeti, I_0 : Başlangıç ışık yoğunluğu, γ : Işık soğurma katsayısı, r : İki ateş böceği arasındaki uzaklıktır.

Ateş böceklerinin çekicilikleri ise ışık yoğunlukları ile doğru orantılıdır. Ateş böceklerinin çekicilikleri eşitlik (3.43) ile hesaplanır.

$$\beta = \beta_0 e^{-\gamma r^2} \quad (3.43)$$

β : Ateş böceğinin çekiciliği; Bu çekicilik parlaklığa ve uzaklığa bağlıdır.

β_0 : İki ateş böceği arasındaki uzaklığı gösteren r 'nin 0 olduğundaki çekicilik değeri β_0 0 ile 1 arasında değerler alabilmektedir.



Şekil 3.25 Ateşböceği algoritması (Louzazni vd., 2018)

Adım 3: Ateşböcekleri birbirlerine doğru hareket hesabı

Daha az çekici olan ateş böceği daha çekici olan ateş böceğine doğru hareket eder (Şekil 3.25). Bu hareket

$$x_i^{t+1} = x_i + \beta_0 e^{(-\gamma_{ij}^2)} (x_j - x_i) + \alpha (rand - \frac{1}{2}) \quad (3.44)$$

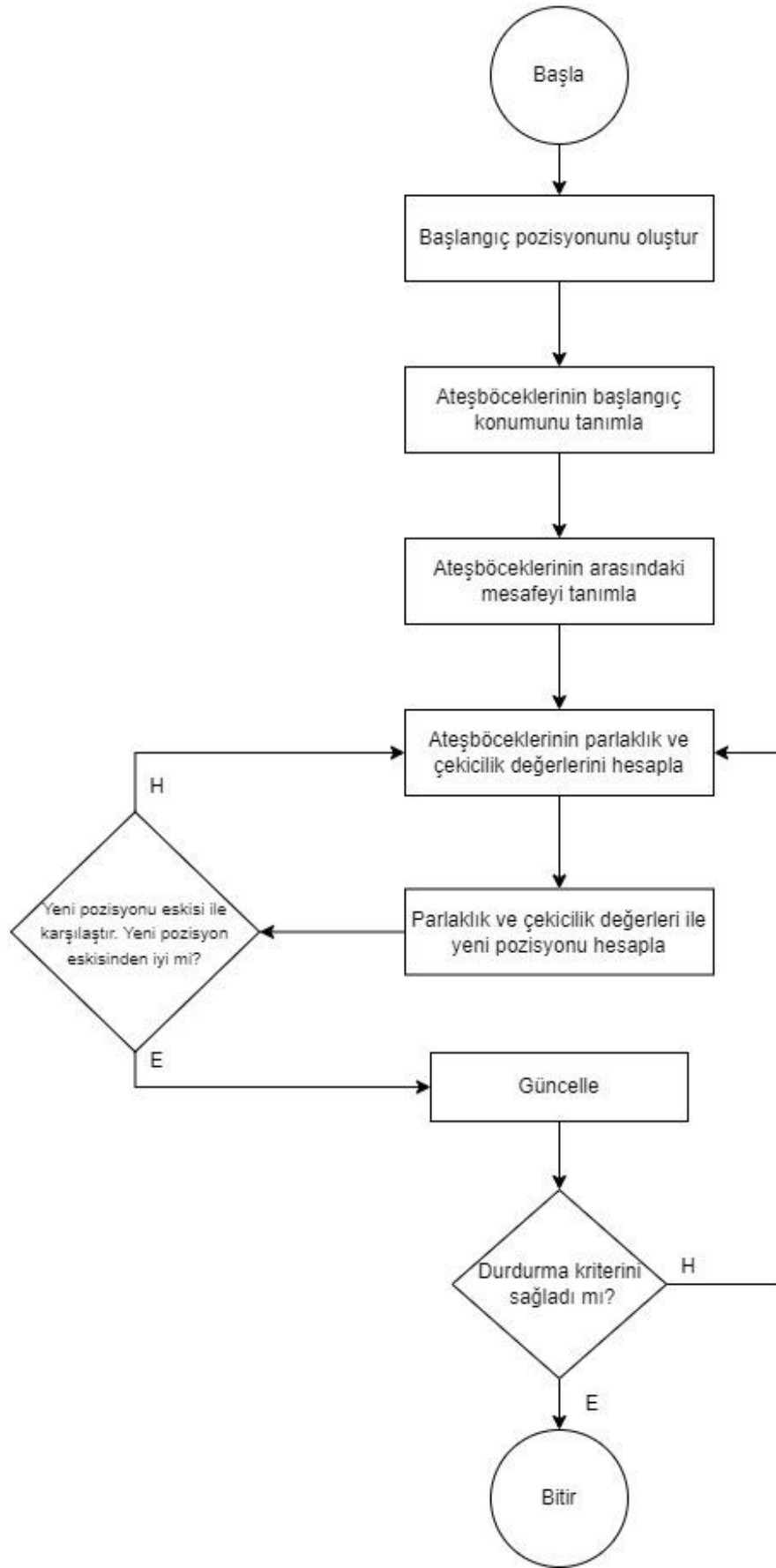
ile hesaplanmaktadır (Karaarslan & Zengin, 2016).

Burada x_i : i . Ateş böceği aday çözümü, x_j : j . Ateş böceği aday çözümü, $rand$: 0 ile 1 arasında rastgele üretilen sayıdır, α : parametresi rastgeleliği temsil etmektedir.

Adım 4: İteratif çözüm

x_i^{t+1} ateş böceğinin yeni konumu olup ilk konumu ile kıyaslanır. Durdurma kriteri sağlandığında algoritma durdurulur.

AA'nın akış diyagramı Şekil 3.26'da verilmektedir.



Şekil 3.26 AA akış diyagramı

AA'nın çözümünde de anlatılmış olduğu verilerin sınıflandırması işleminde kullanılabilir. Bu nedenle 3B nokta bulutundan yüzey belirleme için uyumlu ve uyumsuz veri gruplarının birbirlerinden ayrılmasında da kullanılabilir.

3.4.2.3. Parçacık Sürü Optimizasyonu

Parçacık Sürü Optimizasyonu (PSO: Particle Swarm Optimization) ilk kez 1995 yılında Kennedy ve Eberhart tarafından önerilmiştir (Eberhart & Kennedy, 1995). Bu algoritma kuşların, böceklerin ve balıkların göç hareketi esnasında yaptıklarından esinlenerek geliştirilmiştir. Temel olarak sürü zekâsına dayanan bir algoritmadır. Sürü halinde hareket eden hayvanların yiyecek ve güvenlik gibi durumlarda, çoğu zaman rastgele sergiledikleri hareketlerin, amaçlarına daha kolay ulaşmalarını sağladığı görülmüştür (Koç vd., 2019). Öncelikle PSO'da problem çözümü için parametreler belirlenir ve popülasyon sayısı atanır. PSO'da yiyecek arayan bir kuş sürüsü olarak düşündüğümüzde kuşlar parçacık olarak etrafa saçılır. Popülasyondaki her değişken parçacık olarak isimlendirilir. Parçacıklar kendi konumları, deneyimleri ve komşularının deneyimlerine göre kendi konumlarını güncellemeye çalışırlar. Sürüdeki her bir parçacığın amacı optimum çözüme ulaşmaktır. Değişken vektörü sınırları belirlenerek popülasyon içerisindeki her bir parçacık için rastgele bir hız ve konum vektörü atanır. Bu aşamada her bir parçacık olası çözüm kümesini taşır. Konum vektörü ve hız vektörü n-boyutlu uzayda, sırasıyla $x_i^k = \{x_1^k, x_2^k, \dots, x_n^k\}$ ve $v_i^k = \{v_1^k, v_2^k, \dots, v_n^k\}$ şeklinde ifade edilir. Eğer bir parçacık en iyi konuma sahipse, bu konum uygun değer ile tespit edilir, bu parçacık bir sonraki pozisyon için kullanılır ve en iyi üye $pbest = (p_{i1}, p_{i2}, \dots, p_{id})$ olarak ifade edilir. En iyi konumlar arasında en fazla uygunluğu olan parçacık küresel en iyi $gbest = (p_{g1}, p_{g2}, \dots, p_{gd})$ olarak seçilir (Chaturvedi vd., 2009).

PSO'nun;

Amaç Fonksiyonu:

En iyi konum

Kısıt Fonksiyonu:

min hareket

PSO temel olarak aşağıdaki basamaklardan oluşur;

Adım 0: Rastgele seçilen ve n tane parçacık içeren başlangıç sürüsü oluşturulur.

Sürüdeki her veri parçacık olarak isimlendirilir. Başlangıç hızları ve pozisyonları ile sürü oluşturulur.

X_i : Parçacığın mevcut konumu

V_i : Parçacığın mevcut hızı

Y_i : Parçacığın şahsi en iyi pozisyonu

$$X = \begin{bmatrix} X_{11} & X_{12} & \dots & X_{1D} \\ X_{21} & X_{22} & \dots & X_{2D} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ X_{M1} & X_{M2} & \dots & X_{MD} \end{bmatrix} \quad (3.45)$$

$$V = \begin{bmatrix} V_{11} & V_{12} & \dots & V_{1D} \\ V_{21} & V_{22} & \dots & V_{2D} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ V_{M1} & V_{M2} & \dots & V_{MD} \end{bmatrix} \quad (3.46)$$

Sırasıyla $P_m = \{p_{m,1}, \dots, p_{m,k}, \dots, p_{m,d}\}$ ve $V_m = \{v_{m,1}, \dots, v_{m,k}, \dots, v_{m,d}\}$ vektörleri saklanır. $m = 1, \dots, ps$ ve $k = 1, \dots, d$ için $P_{m,k}$ m -inci parçacığın k -ıncı pozisyonunu göstermektedir. ps ise sürüdeki toplam parçacık sayısıdır.

Adım 1: Uygunluk değeri hesabı

Sürü içerisindeki tüm parçacıklar için uygunluk değeri hesaplanır. Parçacığın en iyi pozisyonu, o parçacığın şimdiye kadar ziyaret ettiği en yüksek uygunluk değerini vermiş olan pozisyonudur.

Adım 2: $pbest$ ve $gbest$ değerleri güncellenmesi

Her bir parçacık için mevcut jenerasyondan yerel en iyi $pbest$ ve $gbest$ bulunur. Sürü içerisindeki en iyilerin sayısı parçacık sayısı kadardır. Eğer $gbest$ 'in uygunluk değeri belirli bir ϵ değerinin altındaysa ya da maksimum iterasyon sayısına ulaşılmışsa işlemler durdurulur.

$pbest$ m -inci parçacığın en iyi pozisyonunu gösteren vektördür. $gbest$ ise tüm parçacıklar arasında en iyi amaç fonksiyonu değerini üreten parçacıktır. Sırasıyla aşağıdaki gibi hesaplanırlar (Şekil 3.27).

$$pbest_m = \{p_{m,1}^{best}, \dots, p_{m,k}^{best}, \dots, p_{m,d}^{best}\} \quad (3.47)$$

$$gbest = \{p_{g,1}^{gbest}, \dots, p_{g,k}^{gbest}, \dots, p_{g,d}^{gbest}\} \quad (3.48)$$



Şekil 3.27 Parçacık sürü optimizasyonu analizi (C. Li, 2011)

Adım 3: Parçacıkların hız ve pozisyon değerleri güncellenmesi

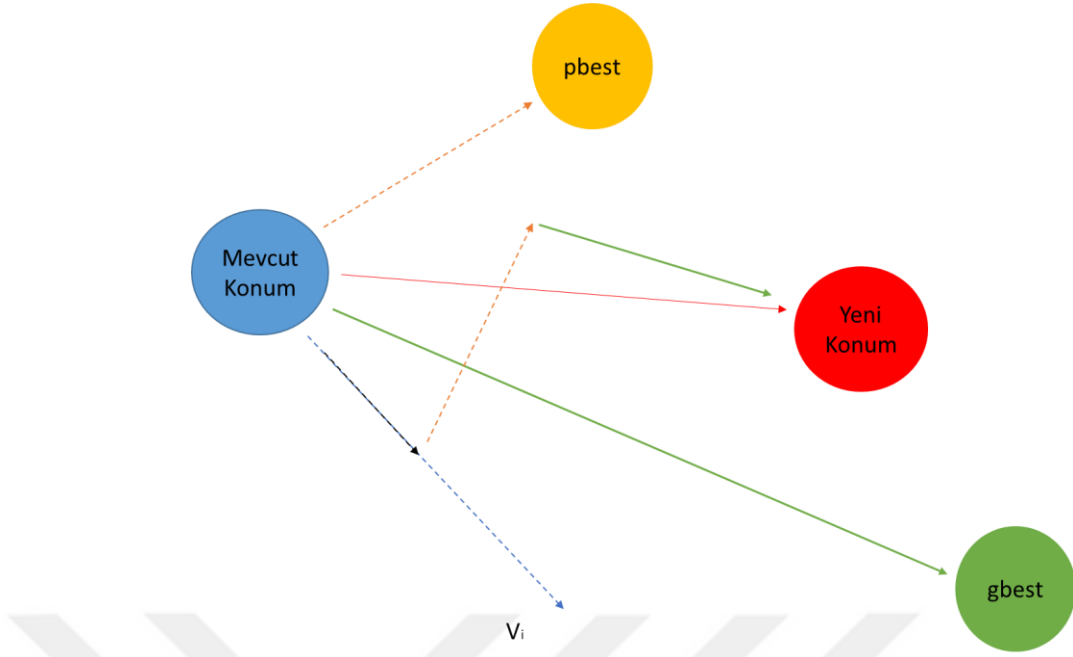
Her parçacığın özelliklerine bağlı olarak hız ve konum vektörleri eşitlik (3.49) ve (3.50)'e göre güncellenir. Sonrasında eski ve yeni konumlar karşılaştırılır ve yeni konumlar oluşturulur (Şekil 3.28).

$$v_{ij}^{k+1} = w.v_{ij}^k + c_1 r_1 (pbest_{ij} - x_{ij}) + c_2 r_2 (gbest_j - x_{ij}) \quad (3.49)$$

$$x_{ij}^{k+1} = x_{ij}^k + v_{ij}^{k+1} \quad (3.50)$$

Burada t : İterasyon sayısı, c_1, c_2 : Hızlandırma katsayıları, r_1, r_2 : $[0-1]$ aralığındaki rastgele üretilen sayılar, w : Atalet ağırlığı (başlangıç parametresi, eylemsizlik ağırlığı), P_{ij} : Parçacığın yerel en iyi değerini vermektedir (Ortakçı & Göloğlu, 2012).

c_1 bilişsel katsayıyı, c_2 ise sosyal katsayıyı ifade etmektedir. Genel olarak çalışmalarda (c_1, c_2) ikilisinin değeri 2 olarak alınır. w eylemsizlik ağırlığını ifade etmektedir. $w = 0,5 + rand/2$ formülü ile değeri her iterasyonda değişir.

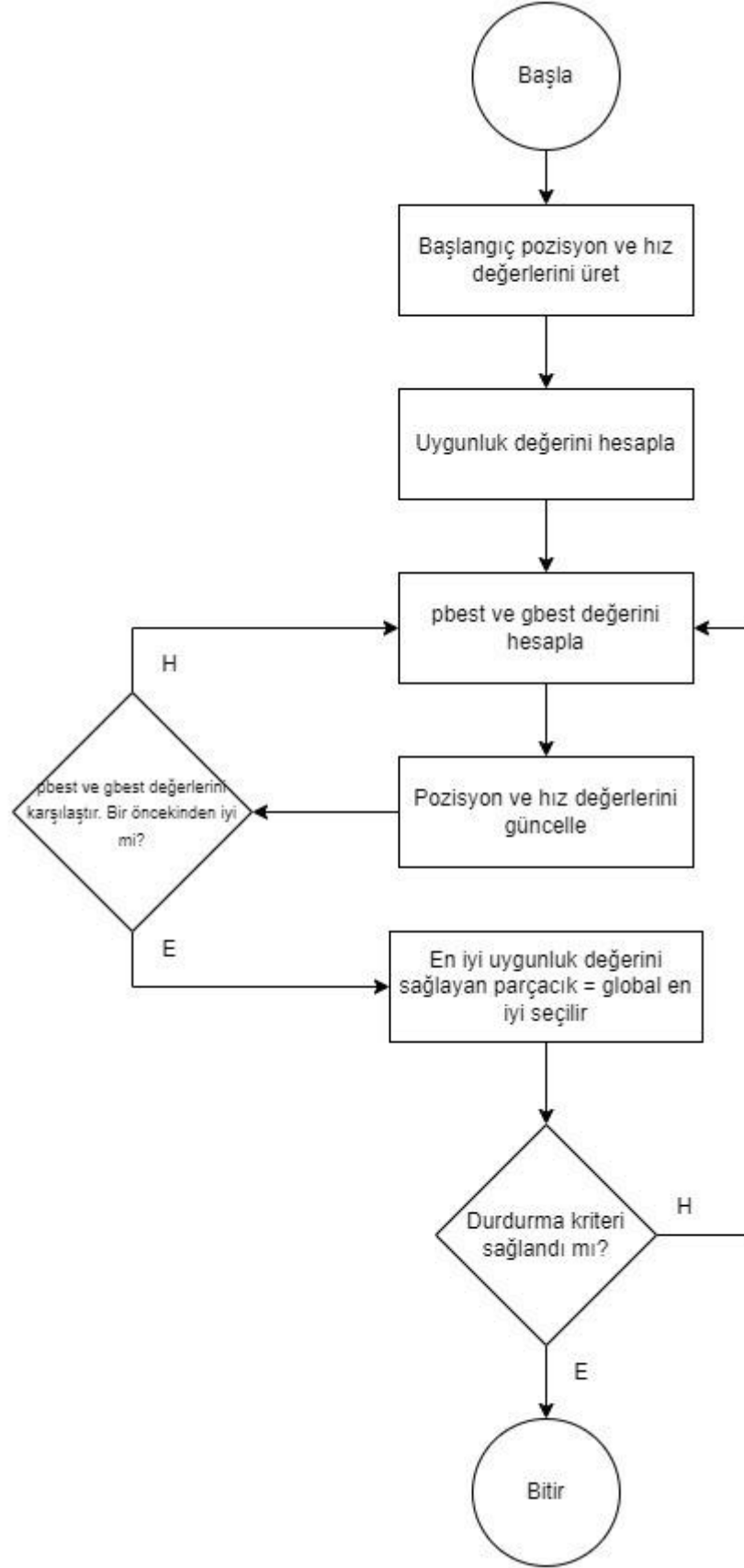


Şekil 3.28 Parçacık sürü optimizasyonu (Banerjee vd., 2022)

Adım 4: Durdurma kriteri sağlanıncaya kadar iteratif çözüm

Sonlandırma koşulu sağlanıyorsa algoritma durdurulur. Aksi halde Adım 3'e geri dönülür. (Özsağlam & Çunkaş, 2008).

PSO'nun akış diyagramı şekil 3.29'da verilmektedir.



Şekil 3.29 PSO akış diyagramı

PSO'nun çözümü verilerin sınıflandırması işleminde kullanılabilir olduğu görülmektedir. Bu nedenle 3B nokta bulutundan yüzey belirleme için uyumsuz ölçülerin belirlenmesinde kullanılabilir.

3.4.2.4. Gri Kurt Optimizasyonu

Gri Kurt Optimizasyonu (GKO) Seyedali Mirjalili, Seyed Mohammad Mirjalili ve Andrew Lewis tarafından 2014 yılında önerilen gri kurtların sosyal hiyerarşi ve avlanma davranışından esinlenerek oluşturulmuş popülasyon tabanlı bir algoritmadır (Mirjalili & Lewis, 2015). Bu algoritma, bir gri kurt sürüsünün liderlik yapısına dayanır ve genellikle optimizasyon problemlerini çözmek için kullanılır. GKO, sürüyü oluşturan kurtların sürüdeki sosyal rollerinin ve bu rollerinin avlanmaya etkilerinin matematiksel olarak modellenmesi esasına dayanmaktadır. Algoritmanın temelinde, bir gri kurt sürüsünün davranışlarını taklit eden üç ana kurt tipi bulunur: alfa (α), beta (β) ve delta (δ). Bu kurtlar, bir çözüm uzayında potansiyel çözümleri temsil ederler. Her kurt tipinin konumu, bir çözüm adayını ifade eder. GKO, genellikle geniş bir uygulama yelpazesine sahip olup, özellikle çok boyutlu ve karmaşık optimizasyon problemleri için kullanılmaktadır.

GKO'nun;

Amaç Fonksiyonu:

Kısıt Fonksiyonu:

En iyi konum

min hareket

GKO temel olarak aşağıdaki basamaklardan oluşmaktadır.

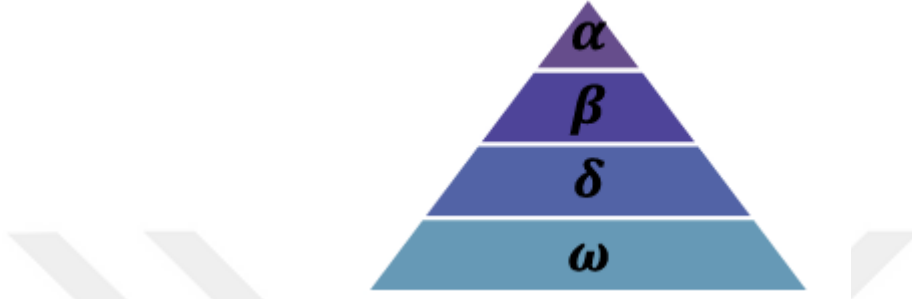
Adım 0: Başlangıç

Her bir birey kurt olarak kabul edilir.

Adım 1: Sosyal Hiyerarşi

Gri kurtların sürü yapılarında en üstte alfa kurtların yer aldığı ve sırasıyla beta, delta ve omega kurtların sıralandığı bir zincir bulunmaktadır (Şekil 3.30). Alfa kurtlar, zincir yapısından en üstünde görüldüğü üzere, en baskın ve sürüye hakim kurtları temsil etmektedir. Beta kurtlar, alfa kurtların yardımcılığı görevini üstlenirler ve alfa kurtlar ile diğer kurtlar arasındaki iletişim ağını yürütürler. Beta, alfanın ölmesi veya çok yaşlanması gibi durumlarda alfanın yerine geçecek en muhtemel adaydır. Delta kurtlar alfa ve beta kurtlardan emir alırken omega kurtlara ise emir vermektedir. Piramidin en altında ise omega kurtlar bulunur. Omega kurtlar, alfa kurtlar tarafından

seçilen ve en alt seviyede bulunan kurtlardır. Alfa, beta ve delta olarak isimlendirilmeyen geriye kalan kurtların hepsi omega kurtlar olarak isimlendirilir. Omega kurtlar avlanma esnasında en son beslenme sırası gelen kurtlardır. Alfa, beta veya omega kurtlar sınıfına dahil olmayan kurtlar delta kurtlar olarak adlandırılır. Delta kurtlar, omega kurtlardan baskın olarak alfa ve beta kurtlar tarafından seçilmektedir (Şenel vd., 2018).



Şekil 3.30 Gri Kurt Optimizasyonu sosyal hiyerarşi (Mirjalili vd., 2014)

Adım 2: Avı Çevreleme (Avın kuşatılması)

Avlanma (optimizasyon) alfa, beta ve delta kurtlar tarafından yönlendirilir. Optimizasyon sırasında kurtlar pozisyonlarını alfa, beta yada delta etrafında aşağıdaki gibi güncellerler. Gri kurt avının çevresindeki pozisyonunu rastgele günceller.

$$D = |C \cdot X_p(t) - X(t)| \quad (3.51)$$

$$X(t+1) = |X_p(t) - A \cdot D| \quad (3.52)$$

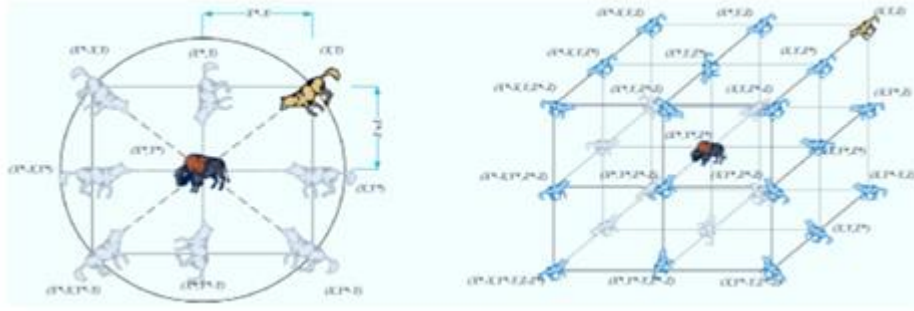
Burada t değeri mevcut iterasyonu, A ve C değerleri katsayı vektörlerini, X_p avın konum vektörünü, X bir gri kurdun konumunu temsil etmektedir. A ve C değerleri denklem (3.53), (3.54) ile sırasıyla hesaplanmaktadır.

$$A = |2a \cdot r_1 - a| \quad (3.53)$$

$$C = |2a \cdot r_2| \quad (3.54)$$

a'nın bileşenleri sırasıyla lineer olarak 2'den 0'a düşürülür. r_1 ve r_2 [0,1] arasındaki rastsal bir vektördür. r_1 ve r_2 rastgele vektörleri kurtların herhangi bir yere ulaşmasına izin verir. Böylece gri kurt herhangi bir rastgele konumdaki avın etrafındaki boşluk içindeki konumunu eşitlik (3.51) ve (3.52)'e göre düzenleyebilir. Benzer şekilde 2B ve 3B uzayı, n boyutlu bir arama uzayına genişletebilir ve böylece gri

kurtların şimdiye kadar elde edilen en iyi çözüm etrafında hiper külerde hareket etmesi sağlanacaktır (Şekil 3.31).



Şekil 3.31 Gri kurtların konum vektörleri ve olası sonraki konumları (Koc vd., 2018)

Adım 3: Avlama

Gri kurtlar avını bulabilme ve onun etrafı kuşatabilme yeteneğine sahiptir. Bu avlamada bazen beta ve delta da yer alsa da genellikle alfanın yol göstermesi neticesinde gerçekleşir. Gri kurtların alfa, beta ve delta türleri avın mevcut konumu hakkında olağanüstü bilgiye sahiptirler. Bu nedenle, elde edilen ilk üç en iyi çözüm kaydedilir ve diğer kurtların en iyi arama ajanlarının pozisyonlarına göre konumlarını güncellemeleri sağlanır. Her iterasyonda en iyi üç kurt sürekli güncellenmektedir (Şekil 3.32).

$$D_{\alpha} = |C_1 \cdot X_{\alpha} - X| \quad (3.55)$$

$$D_{\beta} = |C_2 \cdot X_{\beta} - X| \quad (3.56)$$

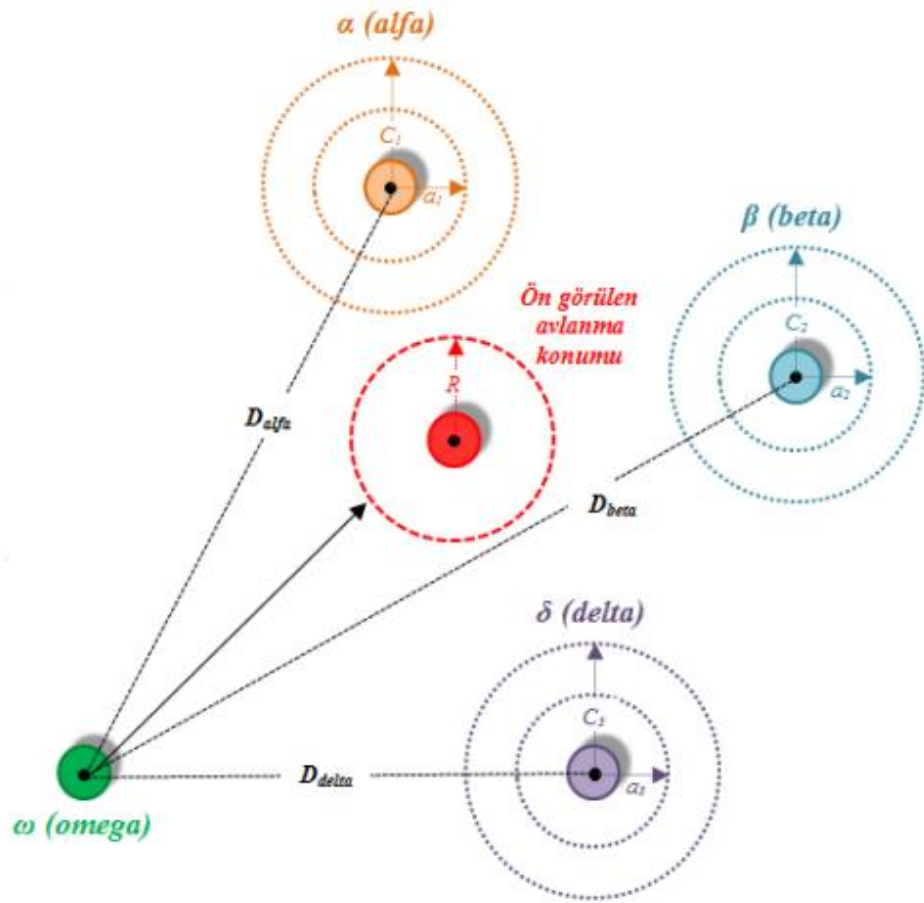
$$D_{\delta} = |C_3 \cdot X_{\delta} - X| \quad (3.57)$$

$$X_1 = |X_{\alpha} - A_1 \cdot D_{\alpha}| \quad (3.58)$$

$$X_2 = |X_{\beta} - A_2 \cdot D_{\beta}| \quad (3.59)$$

$$X_3 = |X_{\delta} - A_3 \cdot D_{\delta}| \quad (3.60)$$

$$X(t+1) = \frac{(X_1 + X_2 + X_3)}{3} \quad (3.61)$$



Şekil 3.32 Avlanma aşamasında lider takımın etkisi (Karakoyun, 2021)

Adım 4: Ava Saldırma

GKO'da avın yeri belirlendikten sonra ava saldırı işlemi gerçekleştirilir. Ava saldırı işlemi, avın yorulup, hareketini durdurduktan sonra gerçekleşir. Matematiksel olarak modelleme işlemi dikkate alındığında, Denklem 3'te belirtilen A değerine göre saldırı işlemi gerçekleşir. A değeri 2'den 0'a doğru r_1 rasgele değişkenine bağlı olarak azalır. Bu durumda A değişkeni $[-2, 2]$ aralığında değerler alır. A değeri 1'den büyükse gri kurtlar avdan uzaklaşır ve daha uygun bir av aramaya başlarlar. Eğer 1'den küçükse gri kurtlar ava saldırmaya zorlanır. Bu işlem lokal minimumlara takılmaları engeller (Şenel vd., 2018).

Adım 5: Arama

Gri kurtların birbirlerinden uzaklaşarak av arama davranışını matematiksel olarak modellemek için A 'nın alabileceği 1'den daha büyük ve -1'den daha küçük değerlerden faydalanılır. $|A| > 1$ olması gri kurdun avından uzaklaşarak daha iyi bir av aramasını sağlar ve bu sayede Gri Kurt Optimizasyon algoritmasının global araştırma

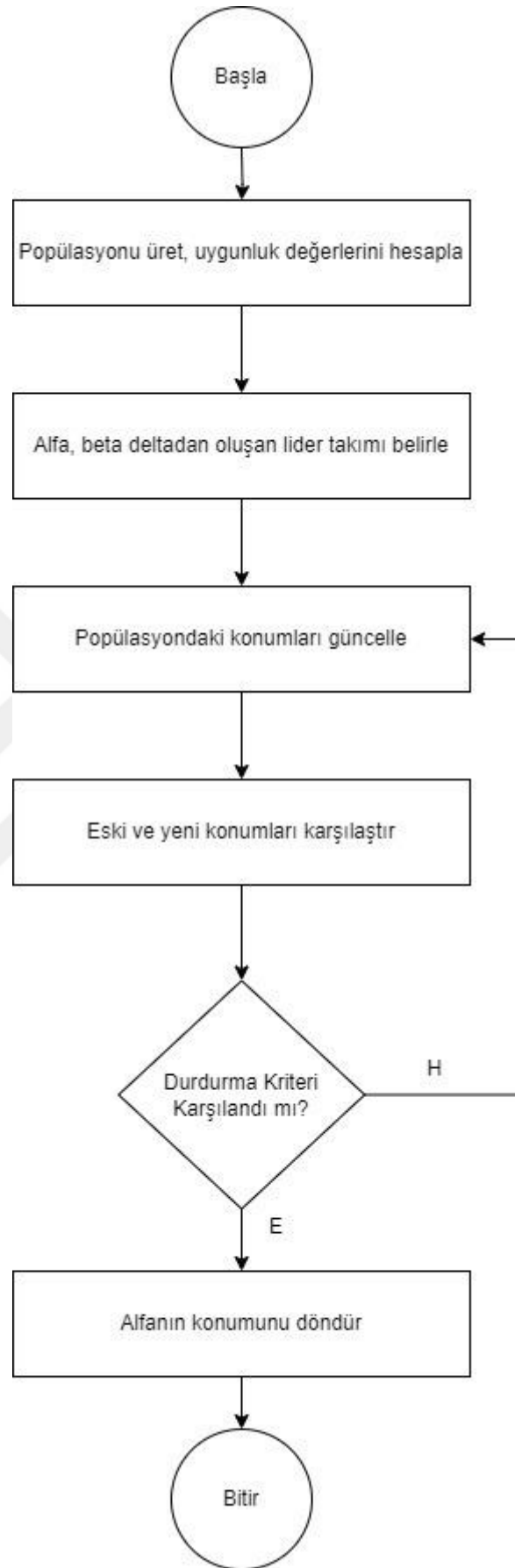
yeteneği iyileşir (Doğan, 2019). GKO’da avlanma işlemi durdurma kriteri sağlanıncaya kadar veya belirlenen iterasyon sayısına ulaşılıncaya kadar devam ettirilir.

Adım 6: Durduma

Maksimum iterasyon sağlandığında optimizasyon durdurulur.

GKO akış diyagramı şekil 3.33’de verilmiştir.





Şekil 3.33 GKO akış diyagramı

GKO algoritması akış adımları ve algoritmanın içeriği incelendiğinde sınıflandırma problemlerinde kullanılabileceği görülmektedir. 3B nokta bulutları ile geoid elde edilmesi problemi için de veri kümesinin uyumlu ve uyumsuz olmak üzere iki sınıfa ayrılması probleminin çözümünde kullanılabilecektir.



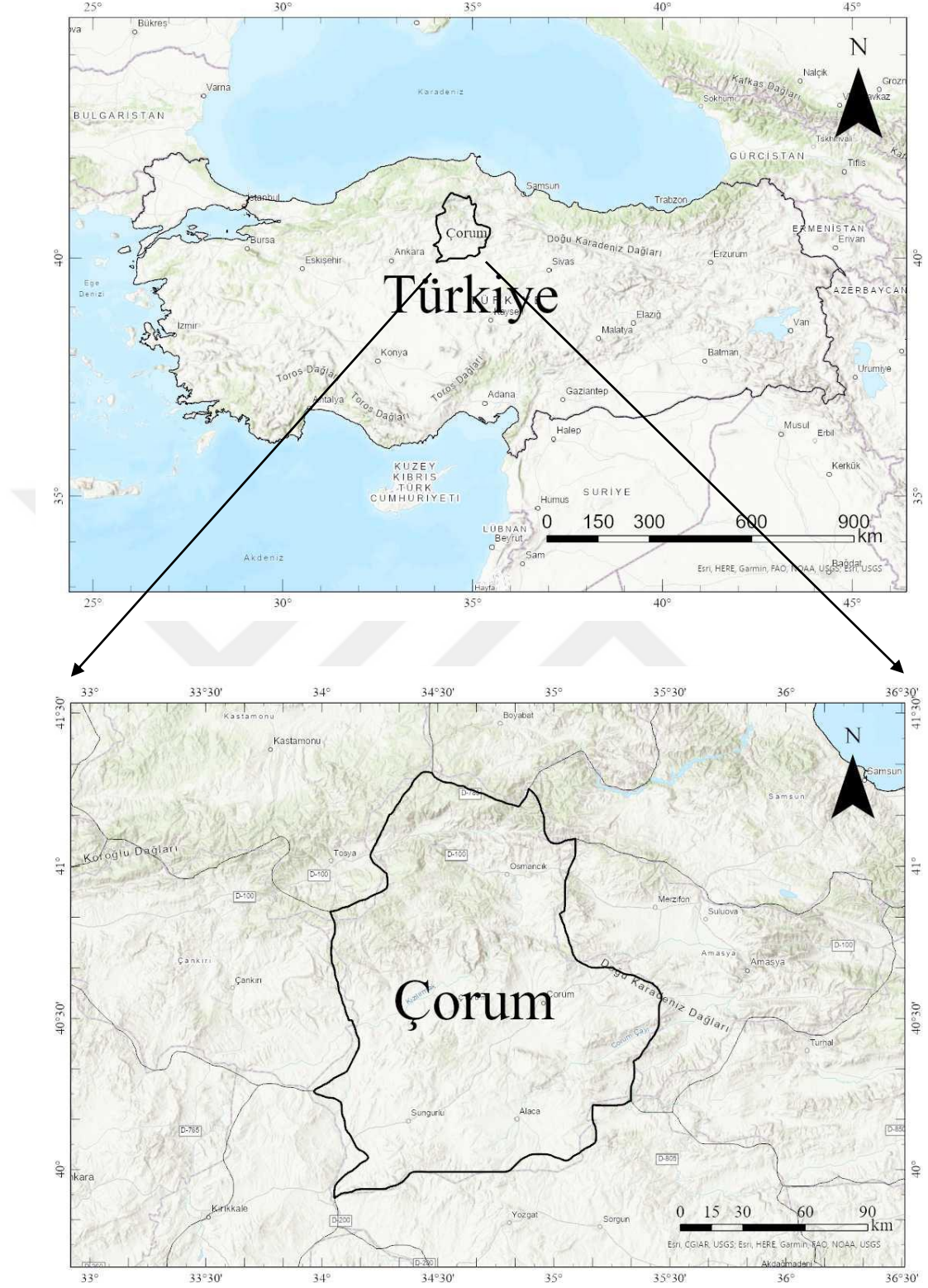
4. BULGULAR VE TARTIŞMA

4.1. Çalışma Alanı

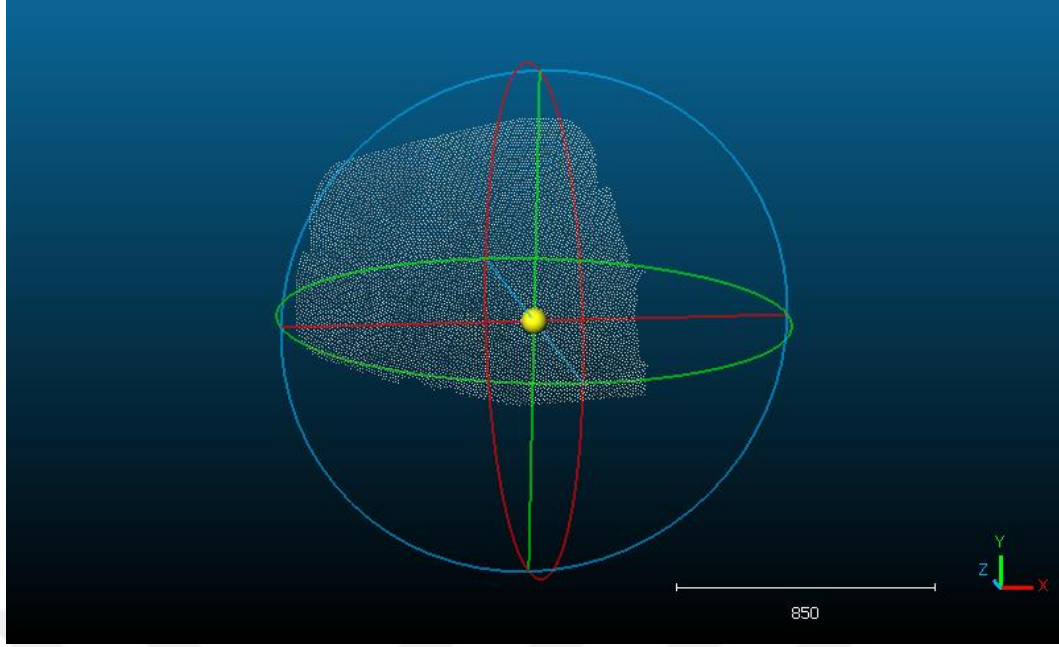
3B nokta bulutu kullanılarak geoid yüzeyi belirleme uygulaması için çalışma alanı olarak Çorum ilinin Sungurlu ilçesine bağlı Aşağıbeşpınar köyü seçilmiştir (Şekil 4.1). Bölgede 10.05.2023 tarihinde drone ile uçuş yapılarak 3B nokta bulutu verisi elde edilmiştir. 3B nokta bulutu verisi (sağa, yukarı, yükseklik) değerlerini içermektedir ve toplam 228280312 noktadan oluşmaktadır.

Çalışma bölgesi ($\varphi = 40^{\circ}9'50,37'' - 40^{\circ}10'21,12''$) enlemleri arasında ve boylamı ($\lambda = 34^{\circ}14'5,13'' - 34^{\circ}14'55,71''$) boylamları arasında kalmaktadır. Bölge yaklaşık 8000 m² büyüklüğündedir. Elde edilen 3B veri Cloud Compare programında değerlendirilmiştir. Cloud Compare programı 3B nokta bulutlarının işlenmesinde kullanılan bir yazılımdır ve bu çalışmada CloudComparev2.13 sürümü kullanılmıştır.

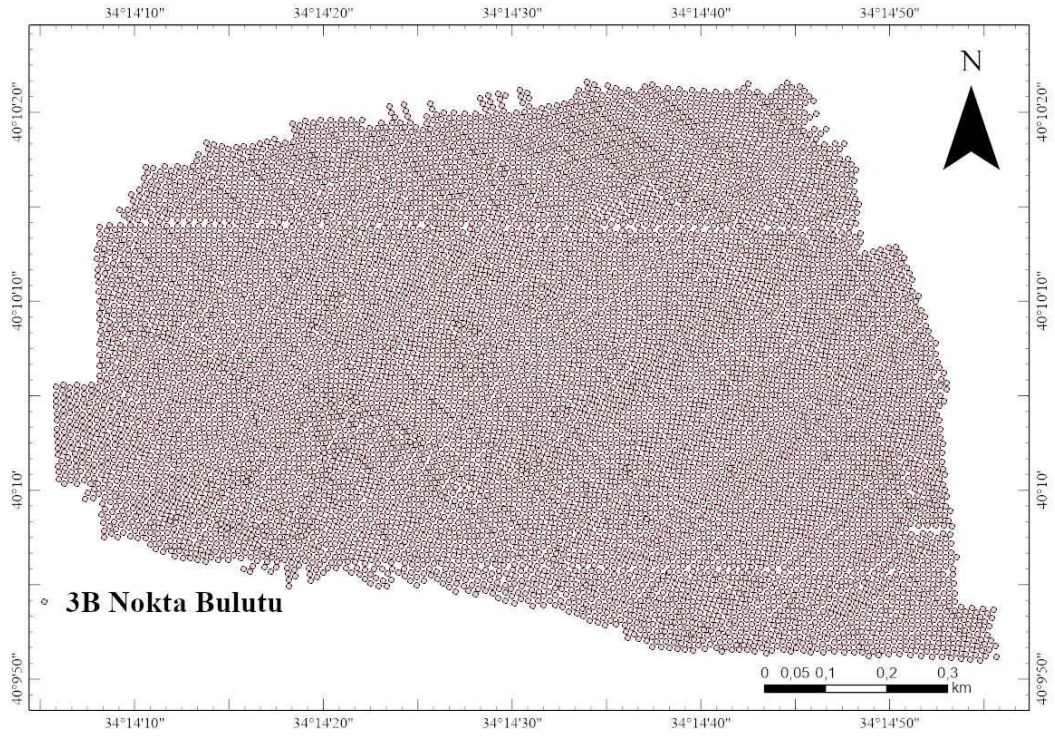
Çalışma alanındaki veri çok sık atılmış noktalardan oluştuğundan dolayı 4 m aralıklı olarak seyreltme işlemi yapılmıştır ve 8750 noktalık (Sağa, Yukarı ve h (elipsoidal yükseklik)) koordinat bilgilerinin bulunduğu uygulama seti elde edilmiştir (Şekil 4.2, Şekil 4.3). Çalışma alanı olarak seçilen bölgenin topografik yapısına bakıldığında dağlık bir bölge olmadığı nispeten düz bir bölge olduğu görülmektedir. Elipsoidal yükseklikten geoid yüzeyini oluşturacak geoid ondülasyonu değerlerine geçişte noktaların geometrik nivelman verisi elde edilemediğinden H ortometrik yükseklikleri için $H = 669,000$ m alınmıştır. Ötelenmiş h elipsoidal yükseklik değerleri referans yüzeyi olarak alınmış ve yüzey belirleme işlemi yapılmıştır. Referans yüzeyi değerleri kullanılarak eşitlik (3.10)'a göre çözüm yapılmıştır. N_R referans yükseklik farkları olarak referans yüzeyden farkları elde edilmiştir.



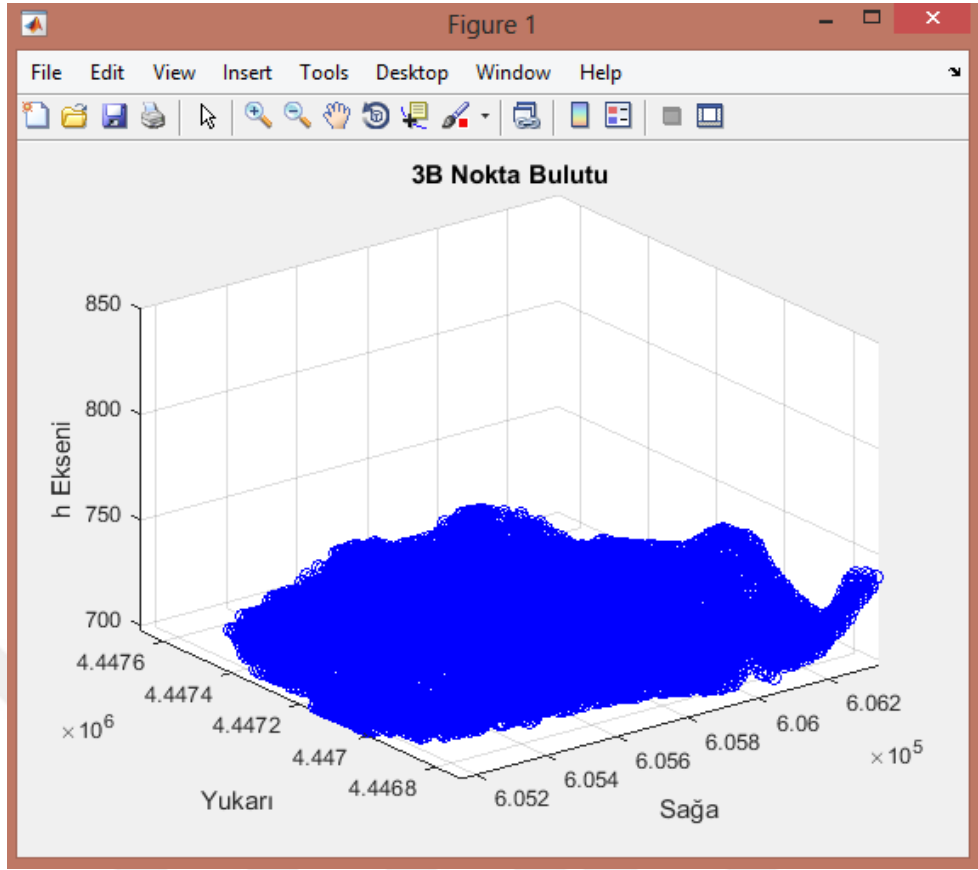
Şekil 4.1 Veri setinin elde edildiği çalışma alanı



Şekil 4.2 Veri seti (Cloud Compare programında açılmış)



Şekil 4.3 Çalışma Alanı



Şekil 4.4 3B nokta bulutu yüzey gösterimi

Bu şekilde elde edilen 8750 noktalık nokta bulutu veri seti ve N_R referans yüzeyden fark değerleri Tablo 4.1’de verilmektedir.

Tablo 4.1 Çalışma alanı verisi

NN	Sağa (m)	Yukarı (m)	N_R (m)
1	605396,800	4446861,923	33,421
2	605405,427	4446856,826	33,489
3	605423,276	4446864,695	33,512
4	605430,495	4446857,725	33,680
5	605437,719	4446864,649	33,598
...	...	...	...
...	...	...	...
8749	606157,519	4447453,468	41,128
8750	606159,105	4447467,932	41,910

Çalışma için *Sağa, Yukarı* değerlerden X, Y kartezyen koordinatlarına geçiş yapılmıştır.

$$Sağa = Y * m_0 + 500000 \quad (4.1)$$

$$Yukarı = X * m_0 \quad (4.2)$$

$$m_0 = 1 \quad (3^\circ \text{'lik projeksiyon için})$$

Hesaplanan kartezyen koordinatlarına normlandırma işlemi yapılmıştır. Koordinat normlandırması, genellikle bir matematiksel işlemle, koordinat değerlerini belirli bir ölçek veya aralık içinde standart hale getirme işlemidir. Bu işlem, verilerin tutarlı ve karşılaştırılabilir olmasını sağlamaktadır. Normlandırma işlemi eşitlik (4.3) ve (4.4) 'e göre yapılmıştır (Akcın, 2007).

$$X_s = \frac{[X]}{n}, \quad Y_s = \frac{[Y]}{n}, \quad N_{RS} = \frac{[N_R]}{n} \quad (4.3)$$

$$\begin{aligned} x_i &= \frac{X_1 - X_s}{1000} \\ y_i &= \frac{Y_1 - Y_s}{1000} \\ N_{Ri} &= \frac{N_1 - N_{RS}}{10} \end{aligned} \quad (4.4)$$

4.2. GNSS/Nivelman Yöntemi ile Geoid Yüzeyi Belirleme

3B nokta bulutu ile geoid yüzeyi belirleme işleminde iki farklı uygulama yapılmıştır. Birinci uygulamada polinomlarla geoid belirlemede EKK optimizasyon yöntemi kullanılmış ve sonuçlar hipotez testleri ile irdelenerek uyumlu-uyumsuz nokta grupları belirlenmiştir. İkinci aşamada ise metasezgisel algoritmalar kullanılmıştır. Bu iki uygulama ile 3B nokta bulutu veri seti içerisindeki uyumlu ve uyumsuz veri gruplarının birbirlerinden ayırmaya çalışılmıştır.

GNSS/Nivelman yöntemi ile geoid yüzeyi belirlemede

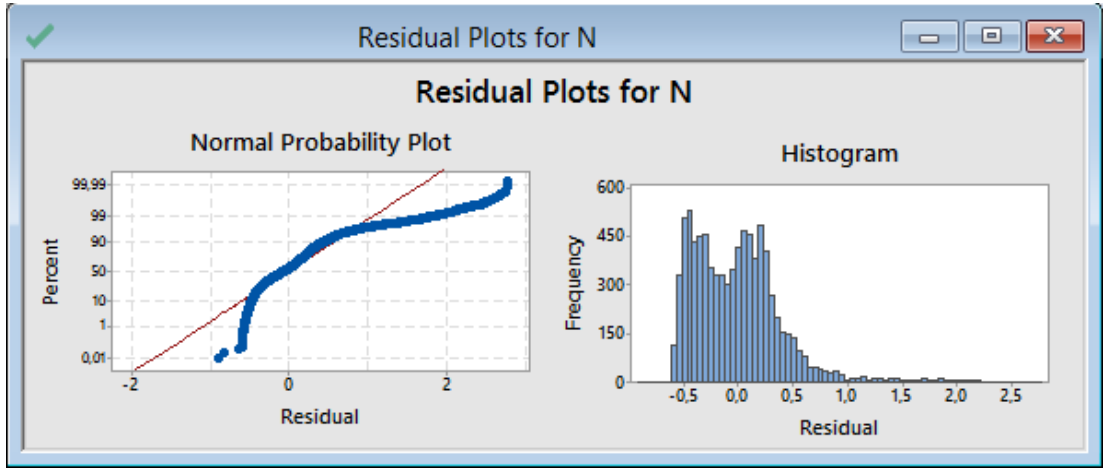
$$N_{R(x,y)} = \sum_{i=0}^m \sum_{\substack{j=k-i \\ i=0}}^k a_{ij} x^i y^j \quad (4.5)$$

polinom eşitliği kullanılır. Burada kullanılacak polinomun derecesinin belirlenmesi önemli bir aşamadır. Çalışma alanı için ilk bakışta uyan polinom derecesine karar verilemez. Çalışma bölgesinin topografik yapısına göre uygun polinom derecesi belirlenmelidir. Uygun polinom belirleme çözümün ilk aşamasını oluşturmaktadır. Polinom derecesinin belirlenmesinin yaklaşımlarından biri hipotez testlerine göre parametrelerin anlamlılık testinin yapılmasıdır.

Bu çalışmada ilk olarak çalışma alanına uyan polinomun derecesinin belirlenmesi için çeşitli dereceden polinom çözümleri yapılmıştır. En uygun polinomun belirlenmesinde parametrelerin anlamlılık testi için Minitab programı kullanılmıştır. İlk olarak 1.dereceden polinom eşitliği için regresyon analizi yapılmıştır ve analiz sonucunda 1.derece polinomda değişkenlerin tümü 0,05 anlamlılık seviyesinde anlamlı bulunmuştur ve model uyumluluğu $R^2 = \%54,63$ bulunmuştur (Tablo 4.2, Şekil 4.5, Şekil 4.6).

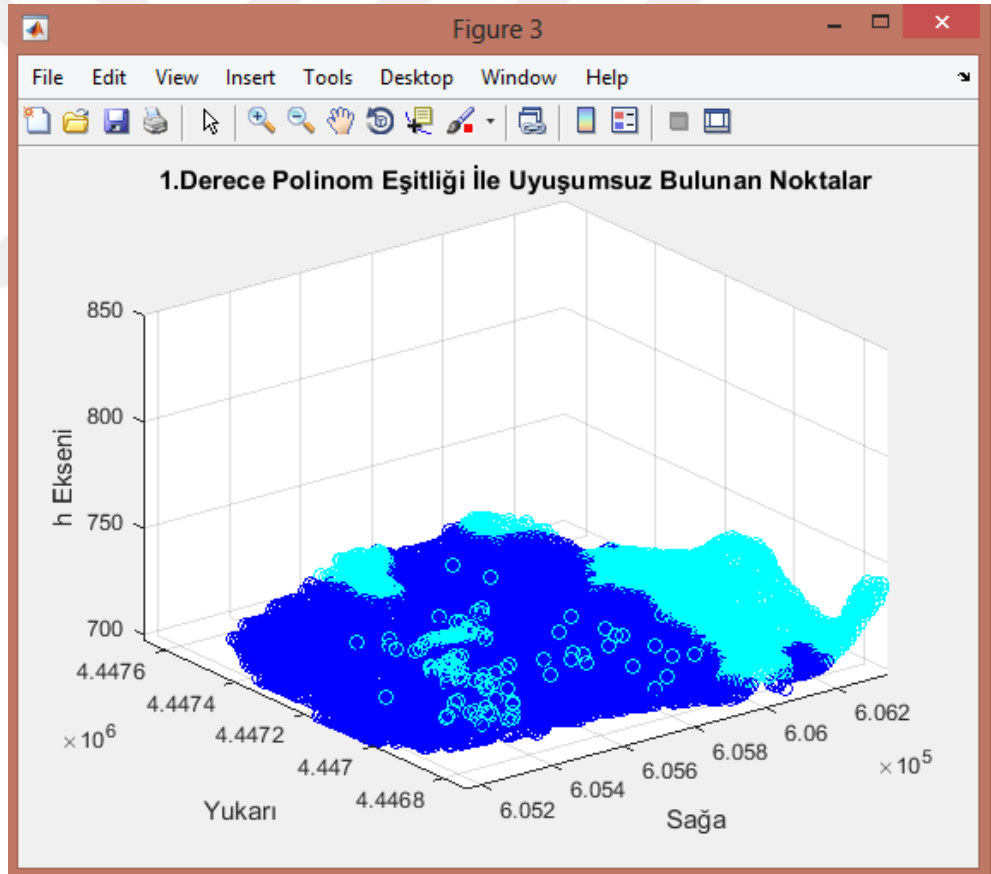
Tablo 4.2 1. derece polinom eşitliği regresyon analizi sonuçları

<i>Kaynak</i>	<i>DF</i>	<i>Adj SS</i>	<i>ADJ MS</i>	<i>F-Değeri</i>	<i>P-Değeri</i>
Regresyon	2	2235,17	1117,58	5265,69	0,000
<i>x</i>	1	24,22	24,22	114,13	0,000
<i>y</i>	1	2104,25	2104,25	9914,54	0,000
Model Özeti					
<i>S</i>	<i>R-sq</i>	<i>R-sq(adj)</i>	<i>R-sq(pred)</i>		
0,460694	% 54,63	% 54,62	% 54,59		



Şekil 4.5 1.derece polinom regresyon grafikleri

1.derece polinom için eşitlik $N_R = -0,000001 - 0,02246x + 0,16561y$ olarak bulunmuştur.



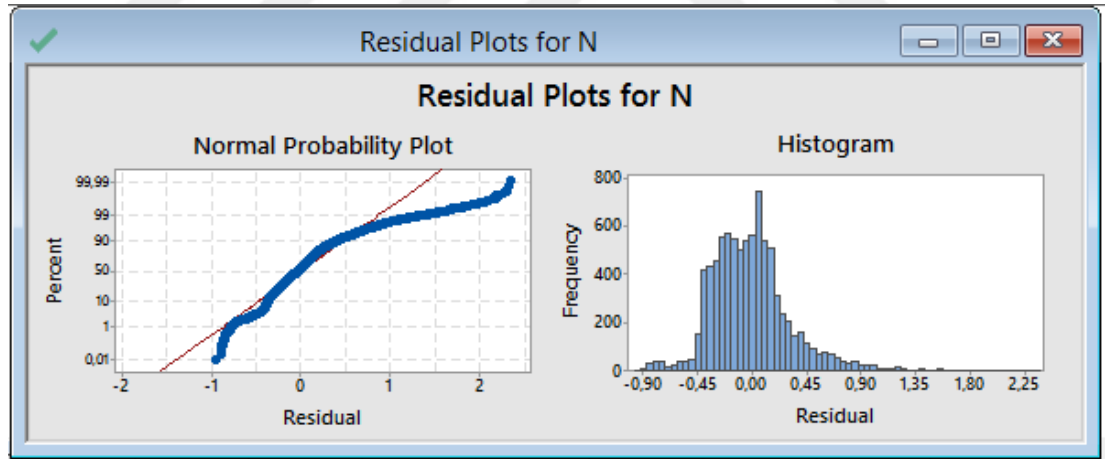
Şekil 4.6 1.derece polinom yüzey gösterimi

2.derecede polinom eşitliği için regresyon analizi yapılmış ve analiz sonucunda 2.dereceden polinomda parametrelerinin tümünün 0,05 anlamlılık seviyesinde anlamlı olduğu görülmüş ve $R^2 = \%70,76$ olmuştur (Tablo 4.3, Şekil 4.7, Şekil 4.8).

Tablo 4.3 2. derece polinom eşitliği regresyon analizi sonuçları

<i>Kaynak</i>	<i>DF</i>	<i>Adj SS</i>	<i>ADJ MS</i>	<i>F-Değeri</i>	<i>P-Değeri</i>
Regresyon	5	2895,06	579,01	4231,19	0,000
x	1	2,19	2,19	16,02	0,000
y	1	2057,78	2057,78	15037,47	0,000
x^2	1	0,74	0,74	5,43	0,020
y^2	1	457,14	457,14	3340,61	0,000
xy	1	94,28	94,28	688,97	0,000

Model Özeti			
<i>S</i>	<i>R-sq</i>	<i>R-sq(adj)</i>	<i>R-sq(pred)</i>
0,369924	%70,76	%70,74	%70,71

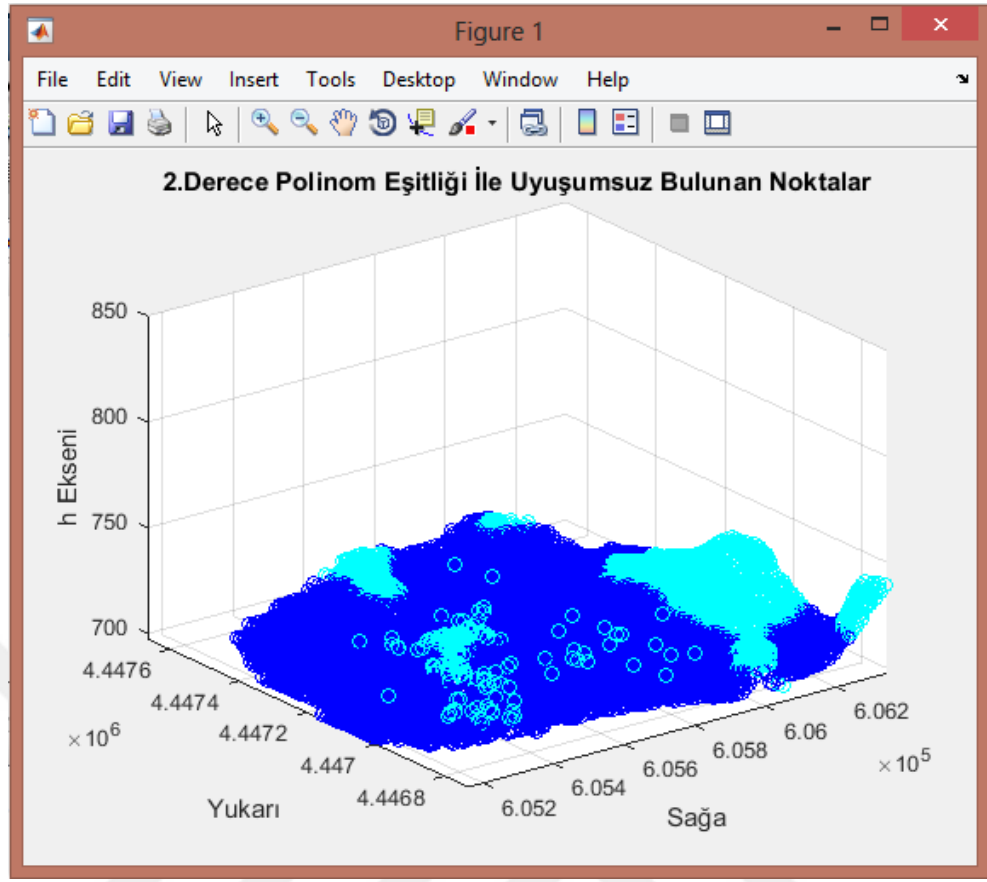


Şekil 4.7 2.derece polinom regresyon grafikleri

2.derece polinom için eşitlik

$$N_R = -0,27763 - 0,00705x + 0,17133y + 0,001775x^2 + 0,028064y^2 - 0,016902xy$$

olarak bulunmuştur.



Şekil 4.8 2.derece polinom yüzey gösterimi

3.derecede polinom eşitliği için regresyon analizi yapılmış ve analizin sonucunda 3.dereceden polinomda tüm parametrelerin 0,05 anlamlılık seviyesinde anlamlı olduğu görülmüş ve model uyumluluğu $R^2 = \%81,63$ olarak bulunmuştur (Tablo 4.4, Şekil 4.9, Şekil 4.10).

Tablo 4.4 3. derece polinom eşitliği regresyon analizi sonuçları

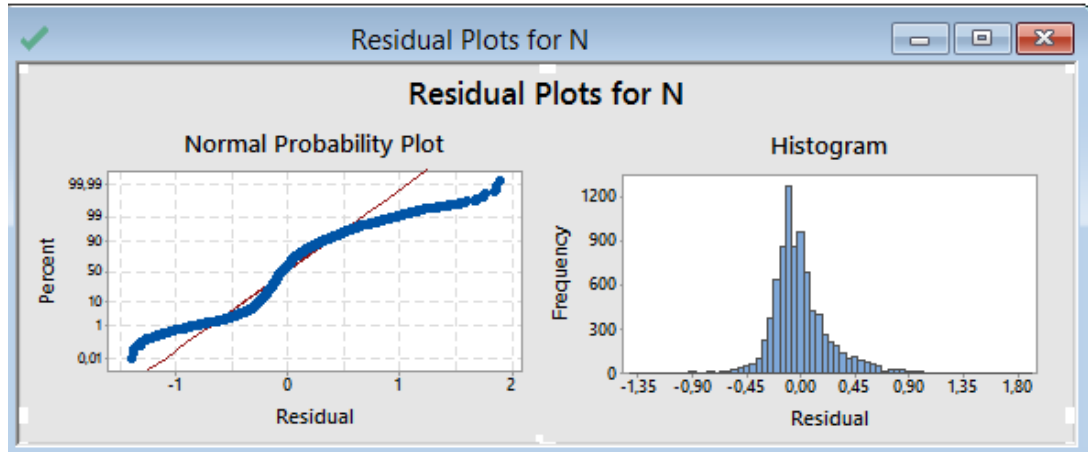
<i>Kaynak</i>	<i>DF</i>	<i>Adj SS</i>	<i>ADJ MS</i>	<i>F-Değeri</i>	<i>P-Değeri</i>
Regresyon	9	3340,13	371,126	4316,28	0,000
x	1	26,13	26,131	303,91	0,000
y	1	65,43	65,435	761,02	0,000
x^2	1	5,11	5,115	59,49	0,000
y^2	1	566,36	566,361	6586,90	0,000
xy	1	59,71	59,708	694,42	0,000

Tablo 4.4 (Devamı)

x^3	1	64,37	64,373	748,67	0,000
y^3	1	223,55	223,547	2599,90	0,000
x^2y	1	42,57	42,572	495,12	0,000
xy^2	1	8,54	8,535	99,27	0,000

Model Özeti

S	$R\text{-}sq$	$R\text{-}sq(adj)$	$R\text{-}sq(pred)$
0,293228	%81,63	%81,61	%81,58

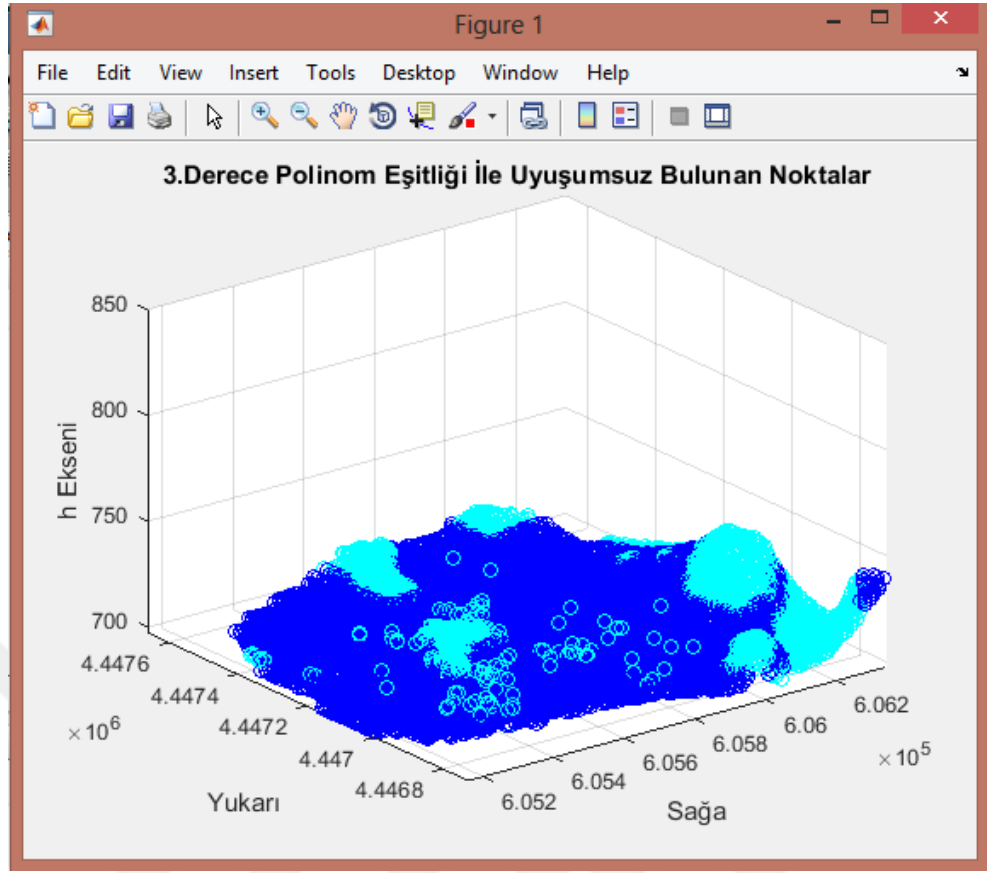


Şekil 4.9 3.derece polinom regresyon grafikleri

3.derece polinom için eşitlik

$$N_R = -0,32321 - 0,06216x + 0,07904y + 0,005333x^2 + 0,034545y^2 - 0,015140xy + 0,007477x^3 + 0,007129y^3 - 0,005663x^2y - 0,001975xy^2$$

olarak bulunmuştur.



Şekil 4.10 3.derece polinom yüzey gösterimi

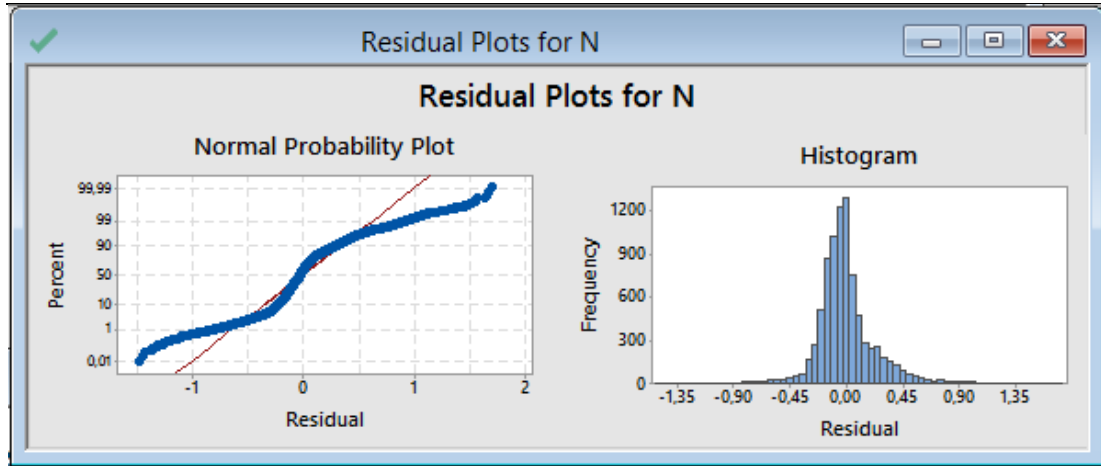
Uygulamanın devamında 4.derecede polinom eşitliği için regresyon analizi yapılmıştır ve analizin sonucunda 4.dereceden polinomda tüm parametrelerin 0,05 anlamlılık seviyesinde anlamlı olduğu görülmüş ve model uyumluluğu $R^2 = \%84,51$ olduğu görülmüştür (Tablo 4.5, Şekil 4.11, Şekil 4.12).

Tablo 4.5 4. derece polinom eşitliği regresyon analizi sonuçları

<i>Kaynak</i>	<i>DF</i>	<i>Adj SS</i>	<i>ADJ MS</i>	<i>F-Değeri</i>	<i>P-Değeri</i>
Regresyon	14	3457,79	246,985	3403,77	0,000
x	1	0,32	0,318	4,39	0,036
y	1	18,73	18,731	258,14	0,000
x^2	1	0,29	0,285	3,93	0,048
y^2	1	35,99	35,988	495,96	0,000
xy	1	78,80	78,797	1085,92	0,000

Tablo 4.5 (Devamı)

x^3	1	1,86	1,864	25,69	0,000
y^3	1	265,77	265,768	3662,63	0,000
x^2y	1	28,97	28,970	399,24	0,000
xy^2	1	19,78	19,777	272,56	0,000
x^4	1	13,54	13,540	186,60	0,000
y^4	1	12,22	12,225	168,48	0,000
x^3y	1	41,55	41,554	572,67	0,000
x^2y^2	1	12,18	12,179	167,84	0,000
xy^3	1	12,25	12,253	168,86	0,000
Model Özeti					
<i>S</i>	<i>R-sq</i>	<i>R-sq(adj)</i>	<i>R-sq(pred)</i>		
0,269374	%84,51	%84,48	%84,43		

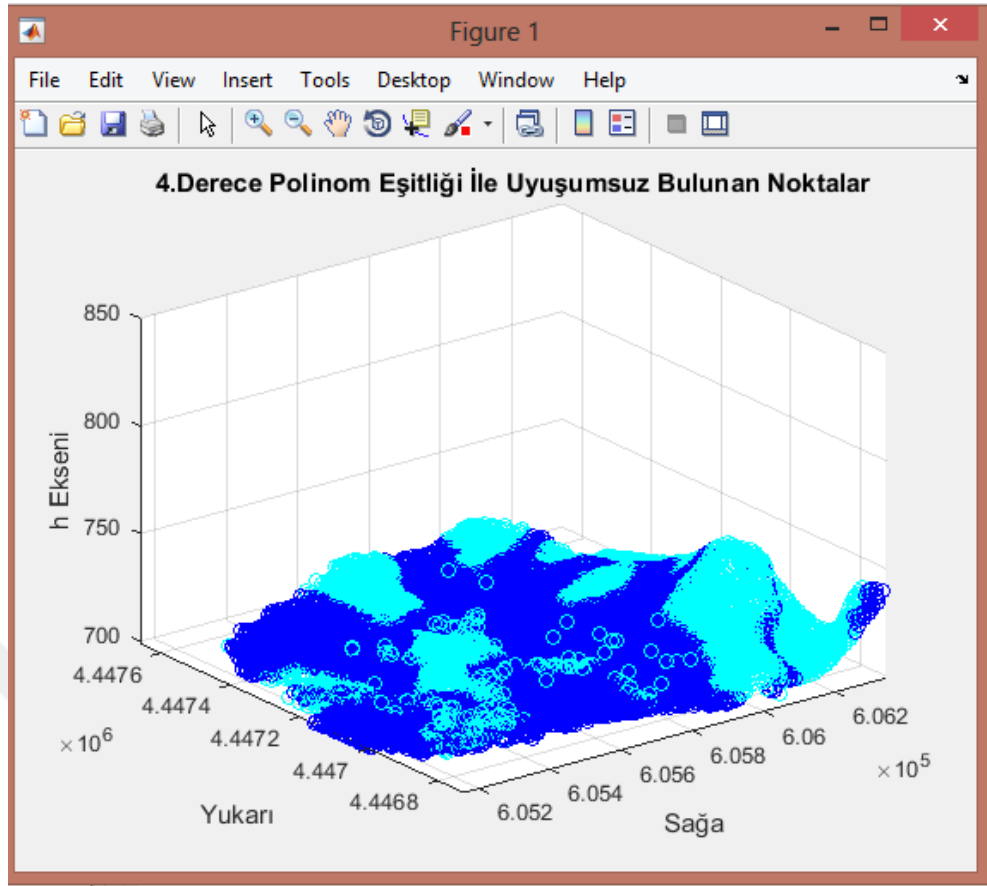


Şekil 4.11 4.derece polinom regresyon grafikleri

4.derece polinom için eşitlik

$$\begin{aligned}
 N_R = & -0,31900 - 0,00792x + 0,04763y - 0,00385x^2 + 0,02796y^2 - 0,05222xy \\
 & + 0,001614x^3 + 0,009355y^3 - 0,005786x^2y - 0,003604xy^2 + 0,001533x^4 \\
 & + 0,000602y^4 + 0,002796x^3y - 0,001213x^2y^2 + 0,000933xy^3
 \end{aligned}$$

olarak bulunmuştur.



Şekil 4.12 4.derece polinom için yüzey gösterimi

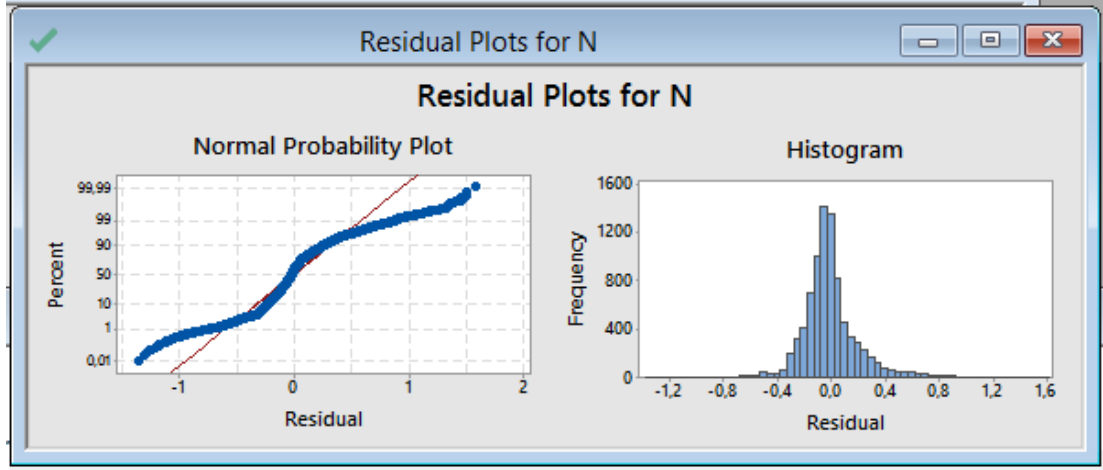
5.derecede polinomun regresyon analizi yapılmıştır ve analizin sonucunda 5.dereceden polinomda y , xy^3 , xy^4 değişkenlerinin P değerleri %5 anlamlılık seviyesinden büyük oldukları için anlamsız bulunmuştur ve model uyumluluğu $R^2 = \%86,40$ olduğu görülmüştür (Tablo 4.6, Şekil 4.13, Şekil 4.14).

Tablo 4.6 5. derece polinom eşitliği regresyon analizi sonuçları

<i>Kaynak</i>	<i>DF</i>	<i>Adj SS</i>	<i>ADJ MS</i>	<i>F-Değeri</i>	<i>P-Değeri</i>
Regresyon	20	3535,34	176,767	2773,73	0,000
x	1	7,48	7,480	117,38	0,000
y	1	0,22	0,222	3,48	0,062
x^2	1	1,08	1,075	16,87	0,000
y^2	1	28,67	28,670	449,88	0,000
xy	1	34,62	34,620	543,24	0,000

Tablo 4.6 (Devamı)

x^3	1	24,98	24,981	391,99	0,000
y^3	1	74,62	74,625	1170,97	0,000
x^2y	1	3,48	3,478	54,57	0,000
xy^2	1	7,63	7,629	119,71	0,000
x^4	1	11,84	11,840	185,79	0,000
y^4	1	2,79	2,788	43,75	0,000
x^3y	1	28,07	28,067	440,41	0,000
x^2y^2	1	8,16	8,161	128,06	0,000
xy^3	1	0,09	0,087	1,36	0,244
x^5	1	30,10	30,102	472,34	0,000
y^5	1	16,49	16,495	258,82	0,000
x^4y	1	1,02	1,016	15,94	0,000
x^3y^2	1	4,49	4,486	70,39	0,000
x^2y^3	1	1,74	1,743	27,35	0,000
xy^4	1	0,00	0,000	0,00	0,955
Model Özeti					
<i>S</i>	<i>R-sq</i>	<i>R-sq(adj)</i>	<i>R-sq(pred)</i>		
0,252446	%86,40	%86,37	%86,29		

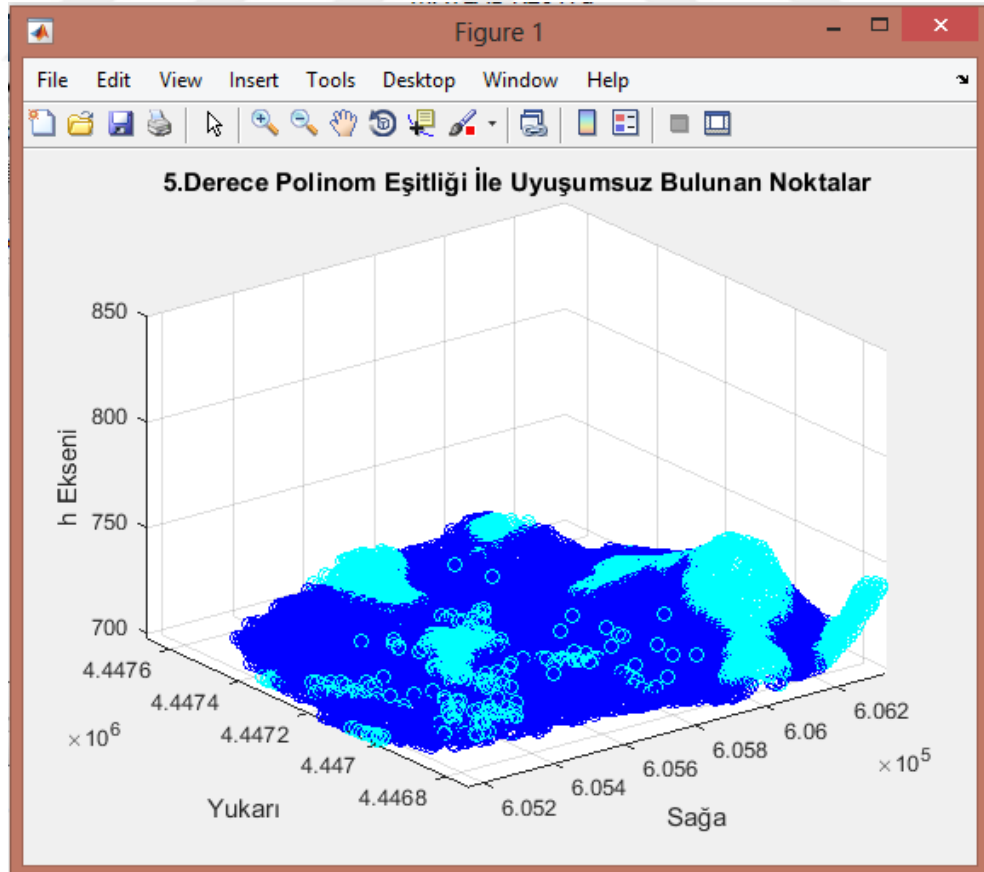


Şekil 4.13 5.derece polinom regresyon grafikleri

Bu analiz sonucunda anlamsız çıkan parametreler polinom eşitliğinden çıkarılarak tekrar analiz yapılmış ve 5.derece polinom eşitliği

$$N_R = -0,31250 - 0,06318x - 0,00926x^2 + 0,03047y^2 - 0,04471xy + 0,019957x^3 + 0,017131y^3 - 0,007383x^2y - 0,007840xy^2 + 0,002013x^4 + 0,000392y^4 + 0,003222x^3y - 0,001297x^2y^2 - 0,001004x^5 - 0,000229y^5 + 0,000237x^4y + 0,000371x^3y^2 - 0,000158x^2y^3$$

olarak bulunmuştur.



Şekil 4.14 5.derece polinom yüzey gösterimi

Bu işlemlerin sonucunda tüm parametreleri uyumlu çıkan 4.derece polinom uygun polinom olarak belirlenmiştir. Tablo 4.7’de polinomların uyuşumsuz buldukları noktalar veri setinden çıkartıldıktan sonra kalan noktalar ile hesaplanan karesel ortalama hata değerleri verilmiştir.

Tablo 4.7 Polinomların karesel ortalama hata değerleri

Polinomun Derecesi	m_o (m)
1.derece polinom	0,1538
2.derece polinom	0,1602
3.derece polinom	0,1166
4.derece polinom	0,0545
5.derece polinom	0,0784

Gerekli çözümler incelendiğinde 4.derece polinomdan sonra karesel ortalama hata pek fazla bir değişiklik olmadığı asıl kırılmanın 4.derece polinomda olduğu görülmektedir. Regresyon analizi sonuçları EKK yönteminin çözümlerine dikkat edildiğinde 3B nokta bulutu için geoid belirlemede 4.dereceden polinomun kullanılmasına karar verilmiştir.

4.3. EKK Yöntemi Optimizasyonu ile Geoid Yüzeyi Belirleme İşleminde Uyuşumsuz Ölçü Grubu Belirleme

3B nokta bulutu ile geoid belirleme işleminde 4.derece polinom kullanılarak verilerin uyumlu ve uyuşumsuz olarak belirlenmesi için ile olarak EKK ile optimizasyon çözümü ve geleneksel uyuşumsuz ölçü testi yapılmıştır.

4.derece polinom genel eşitliğinin çalışma bölgesini uygun şekilde temsil eden yüzey olduğu sonucuna ulaşılmıştır.

Bu yüzey eşitliği;

$$N_R(x, y) = a_{00} + a_{10}x + a_{01}y + a_{20}x^2 + a_{11}xy + a_{02}y^2 + a_{30}x^3 + a_{21}x^2y + a_{12}xy^2 + a_{03}y^3 + a_{40}x^4 + a_{31}x^3y + a_{22}x^2y^2 + a_{13}xy^3 + a_{04}y^4$$

3B veri grubu için sınıflandırma yapmak yani uyumlu ve uyuşumsuz nota gruplarını belirlemek için 4.derece kullanılarak elde edilen sonuçlarda hipotez testleri mantığıyla oluşan geleneksel çözüm yöntem ile uyuşumsuz ölçü analizi yapılmıştır.

İlk olarak koordinat değerleri üzerinde normlandırma işlemi yapılmıştır. Daha sonra noktaların hepsi kullanılarak 1-5 arasındaki bütün dereceler için EKK yöntemine göre yüzey geçirilmiştir ve x bilinmeyen değerleri hesaplanmıştır. Daha sonra uyuşumsuz ölçü testi yapılmıştır. Uyuşumsuz ölçü testi iteratif olarak yapılmıştır. İlk uyuşumsuz bulunan nokta kümeden çıkartılmış ve test tekrarlanmıştır.

Bu işlemde 4.dereceden polinomun katsayıları bölüm 3.2.2.6.'da anlatılan formüller kullanılarak elde edilmiştir. Bu işlem sonunda;

$$N_R(x, y) = -0,3774 - 0,00569x + 0,02274y + 0,00960x^2 - 0,02632xy + 0,015731y^2 + 0,00069x^3 - 0,00353x^2y - 0,00109xy^2 + 0,010667y^3 + 0,000029x^4 + 0,001519x^3y - 0,00044x^2y^2 + 0,00014xy^3 + 0,00129y^4$$

eşitliği elde edilmiştir.

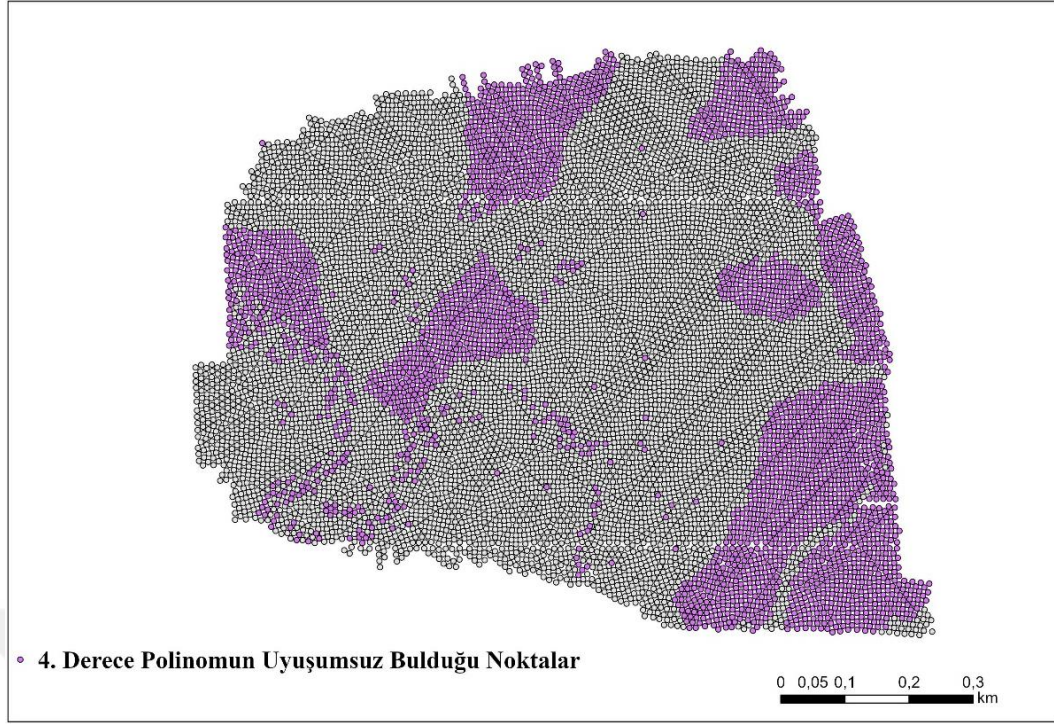
Uyuşumlu ve uyuşumsuz ölçü gruplarının belirlenmesi için bölüm 3.3.1'de açıklanan geleneksel çözüm yöntemleri kullanılmıştır.

$$N_R(x, y) + V = a_{00} + a_{10}x + a_{01}y + a_{20}x^2 + a_{11}xy + a_{02}y^2 + a_{30}x^3 + a_{21}x^2y + a_{12}xy^2 + a_{03}y^3 + a_{40}x^4 + a_{31}x^3y + a_{22}x^2y^2 + a_{13}xy^3 + a_{04}y^4 \quad (4.6)$$

$$V = Ax - l \quad (4.7)$$

$$\begin{bmatrix} 1 & x_1 & y_1 & x_1^2 & x_1y_1 & y_1^2 & x_1^3 & x_1^2y_1 & x_1y_1^2 & y_1^3 & x_1^4 & x_1^3y_1 & x_1^2y_1^2 & x_1y_1^3 & y_1^4 \\ 1 & x_2 & y_2 & x_2^2 & x_2y_2 & y_2^2 & x_2^3 & x_2^2y_2 & x_2y_2^2 & y_2^3 & x_2^4 & x_2^3y_2 & x_2^2y_2^2 & x_2y_2^3 & y_2^4 \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ 1 & x_n & y_n & x_n^2 & x_ny_n & y_n^2 & x_n^3 & x_n^2y_n & x_ny_n^2 & y_n^3 & x_n^4 & x_n^3y_n & x_n^2y_n^2 & x_ny_n^3 & y_n^4 \end{bmatrix}$$

Eşitlik (3.15) ile λ değerini, eşitlik (3.16) ile m_0 değerini, eşitlik (3.34) ile de T_i tablo değerini hesaplarız. Yapılan uyuşumsuz ölçü testi ile 4.derece polinom eşitliğinde 8750 noktanın 2813 tanesi uyuşumsuz nokta olarak bulunmuştur (Şekil 4.15). Uyuşumsuz bulunan noktalar kümeden çıkartılıp kalan noktalar ile karesel ortalama hata (m_0) değeri hesaplandığında 0,0545 m olarak bulunmuştur.



Şekil 4.15 4.derece polinom eşitliği ile uyuşumsuz bulunan noktalar

Uyuşumsuz ölçü grubunun belirlenmesinde 1., 2., 3., 4., 5. Derece EKK yöntemi optimizasyon çözümleri oluşturulmuş ve Tablo 4.8’de verilen sonuçlar elde edilmiştir. Tablo 4.8’e göre en çok uyuşumsuz ölçü 4.derece polinomda belirlenirken en küçük karesel ortalama hata değeri de bu polinomla elde edilmiştir. Bu işlem 4.derece polinomun seçilmesinin doğruluğunda bir kere daha ortaya koymuştur. Uyuşumsuz ölçü sayısının toplam ölçü sayısına oranı $2813/8750 = \%32,1$ olarak bulunmuştur.

Tablo 4.8 Uygun polinomun derecesinin belirlenmesi

Polinomun Derecesi	Uyuşumsuz Bulunan Nokta Sayısı	Oran
1.derece polinom	1963	%22
2.derece polinom	1530	%17
3.derece polinom	1525	%17
4.derece polinom	2813	%32
5.derece polinom	1791	%20

4.4. Metasezgisel Algoritmalar Optimizasyonu İle Geoid Yüzeyi Belirleme İşleminde Uyuşumsuz Ölçü Grubu Belirleme

Uygulamanın bu kısmında referans yükseklik değerleri (N_R) ile çözüm yapılmıştır. Uygulamada kullanılan measezgisel algoritmalar bölüm 3.3.2’de ayrıntılı olarak anlatılmaktadır. Bu yöntemlerin içinde KSA, AA, PSO ve GKO seçilmiş ve kullanılmıştır.

4.4.1. Kurbağa Sıçrama Algoritması

3B nokta bulutunun uyumsuz ölçülerini belirlemek için KSA kullanılan çözümde bölüm 3.3.2.1.’de verilen iş akışına göre ilk olarak her kurbağa için uygunluk değeri hesaplanmış. İlk aşamada uygunluk değeri olarak N_R referans yükseklik değerleri alınmıştır. Uygunluk değeri hesaplanan kurbağalar bu uygunluk değerine göre büyükten küçüğe doğru sıralanmışlardır. Veri seti A ve B olarak isimlendirilmiş olan 2 memplekse (uyuşumlu ve uyumsuz gibi) bölünmüştür. A ve B mempleksinde 4375 tane kurbağa olacak şekilde veri kümelenmiştir. Her mempleksdeki kurbağaların seçilme olasılıkları eşitlik (3.35)’ya göre hesaplanmıştır. Kurbağalar seçilme olasılıklarına (SO) göre tekrar büyükten küçüğe doğru sıralanmışlardır. (Tablo 4.9, Tablo 4.10)

Tablo 4.9 A Mempleksindeki kurbağaların seçilme olasılıklarına göre sıralanmış hali

NN	y	x	N_R	SO
3261	-1,45951	-1,61593	-0,4015	0,009895
7236	-3,19742	2,639687	-0,3419	0,001372
...	...	...	...	...
2220	-3,2307	-2,80415	-0,3	0,00000753
319	2,015696	-3,70916	0,117004	0,00000182

Tablo 4.10 B Mempleksindeki kurbağaların seçilme olasılıklarına göre sıralanmış hali

NN	y	x	N_R	SO
5102	1,714976	-0,13525	-0,2695	0,001397
4917	1,398906	0,199887	-0,3044	0,001377
...	...	...	...	...

Tablo 4.10 (Devamı)

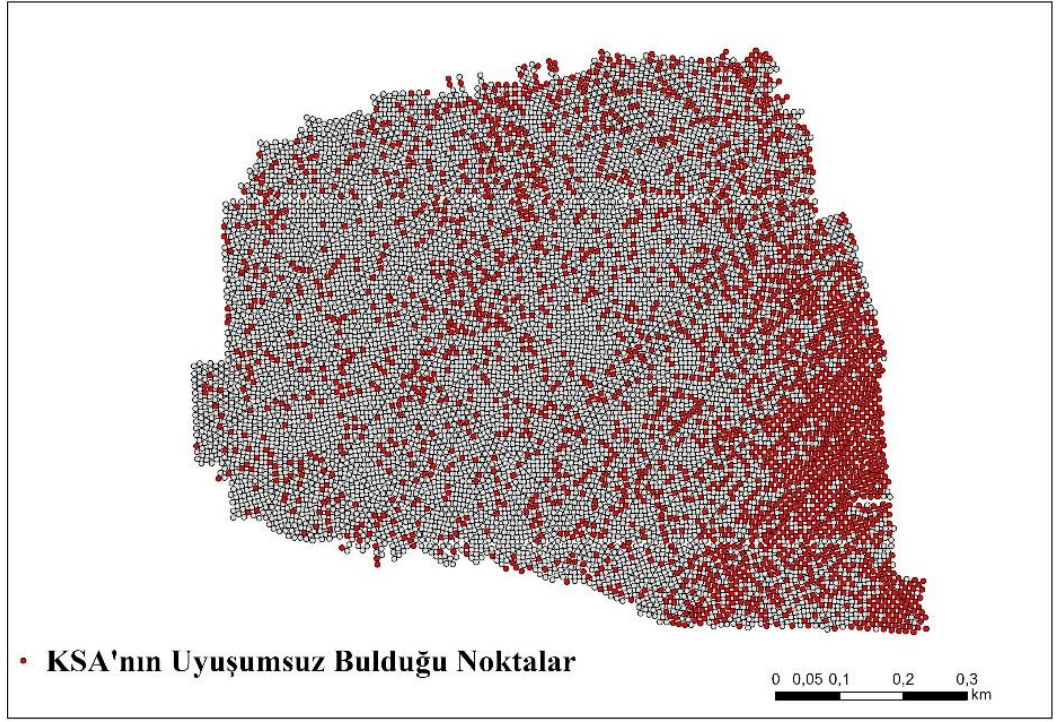
2855	-2,15866	-2,57621	-0,4091	0,000000615
3366	-1,27221	-0,86778	-0,4304	0,000000513

Mempleksin en altında kalan kurbağa için sıçrama miktarı (SM) eşitlik (3.38)'e göre hesaplanmıştır. Sıçrayan kurbağanın yeni seçilme olasılığı bir önceki kurbağadan daha büyük ise kurbağa kümedeki yeni yerine atanmış ve işleme iteratif olarak devam edilmiştir. Eğer sıçrayan kurbağanın yeni seçilme olasılığı ile yeri değişmiyorsa kurbağa veri kümesinden çıkarılmıştır. Bu şekilde kurbağalar sıçrama miktarları kadar yeni yerlerine taşınmıştır. Böylelikle kurbağaların en uygundan en az uyguna doğru sıralaması elde edilmiştir.

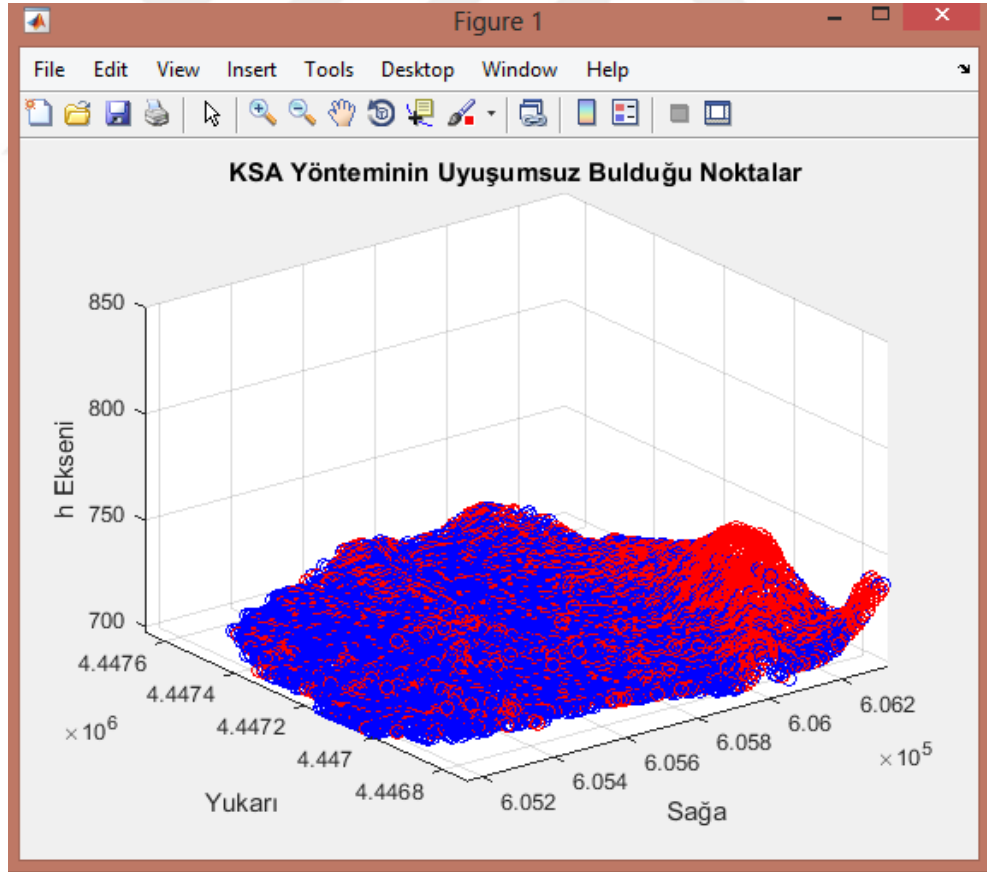
Tablo 4.11 KSA uyuşumsuz ölçü grubu

SN	NN	y	x	N _R	SM
1	6799	4,684576	-1,65458	3,576704	0,333333
2	6802	4,686686	-1,49299	3,475904	0,274027
...	...	...	...	...	...
2624	5590	2,563476	-2,59376	0,226204	0,000772
2625	7583	-1,2988	2,606327	0,036504	0,000662

İteratif olarak yapılan çözümde veri grupları değişmeyinceye kadar devam edilmiştir. Metasezgisel algoritmalarda bir sınıf olmadığı için bu çalışmada uyuşumsuz ölçü grubu sınırı olarak EKK optimizasyonunda elde edilen değerlere yakın olacak şekilde sondaki %30'luk kısım uyuşumsuz olarak alınmıştır. Bu işlemin sonucunda kurbağa sıçrama algoritması 2625 tane uyuşumsuz nokta bulmuştur (Tablo 4.11, Şekil 4.16).



Şekil 4.16 KSA'nın uyuşumsuz bulduğu noktalar



Şekil 4.17 KSA'nın uyuşumsuz bulduğu noktaların yüzey gösterimi

Bu uyuşumsuz noktalar 3B veri grubundan çıkarılarak yapılan GNSS/Nivelman yüzeyi belirleme işleminde yüzey eşitliği;

$$N_R = -0,3163 - 0,0116x + 0,0433y - 0,000005x^2 - 0,0386xy + 0,0208y^2 + 0,0020x^3 - 0,0035x^2y - 0,0013xy^2 + 0,0078y^3 + 0,0009x^4 + 0,0015x^3y - 0,0005x^2y^2 + 0,0011xy^3 + 0,0005y^4$$

kareseel ortalama hata;

$$m_o = 0,1909 \text{ m}$$

olarak hesaplanmıştır.

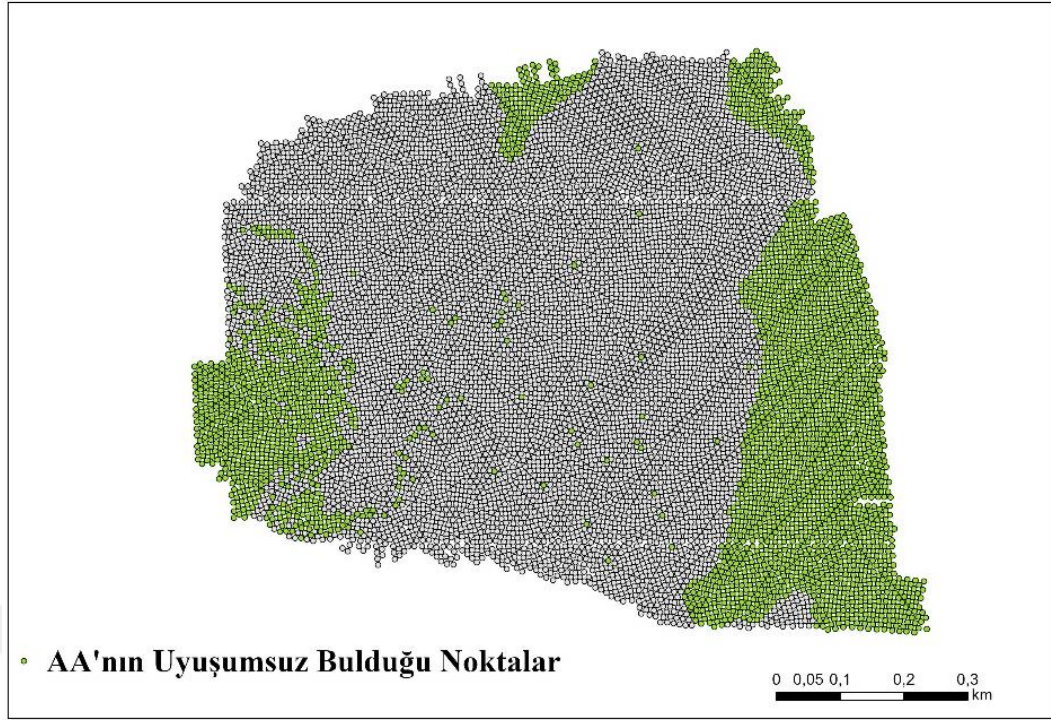
4.4.2. Ateşböceği Algoritması

Metasezgisel algoritmalar optimizasyon çözümü ile veri sınıflandırmada 3B nokta bulutu verisi için AA kullanılarak yapılan çözümde ilk olarak ateşböceklerinin uygunluk değeri hesaplanmıştır. Uygunluk değeri olarak N_R referans yükseklik değerleri alınmıştır. Daha sonra her ateşböceği için parlaklık değeri eşitlik (3.41)'e göre hesaplanmış ve devamında çekicilikler eşitlik (3.43)'e göre hesaplanmıştır. Hesaplanan parlaklık ve çekiciliklere göre ateşböceklerinin konumları iteratif olarak hesaplanmıştır. Son adımda ateşböcekleri çekiciliklerine göre sıralanmışlardır.

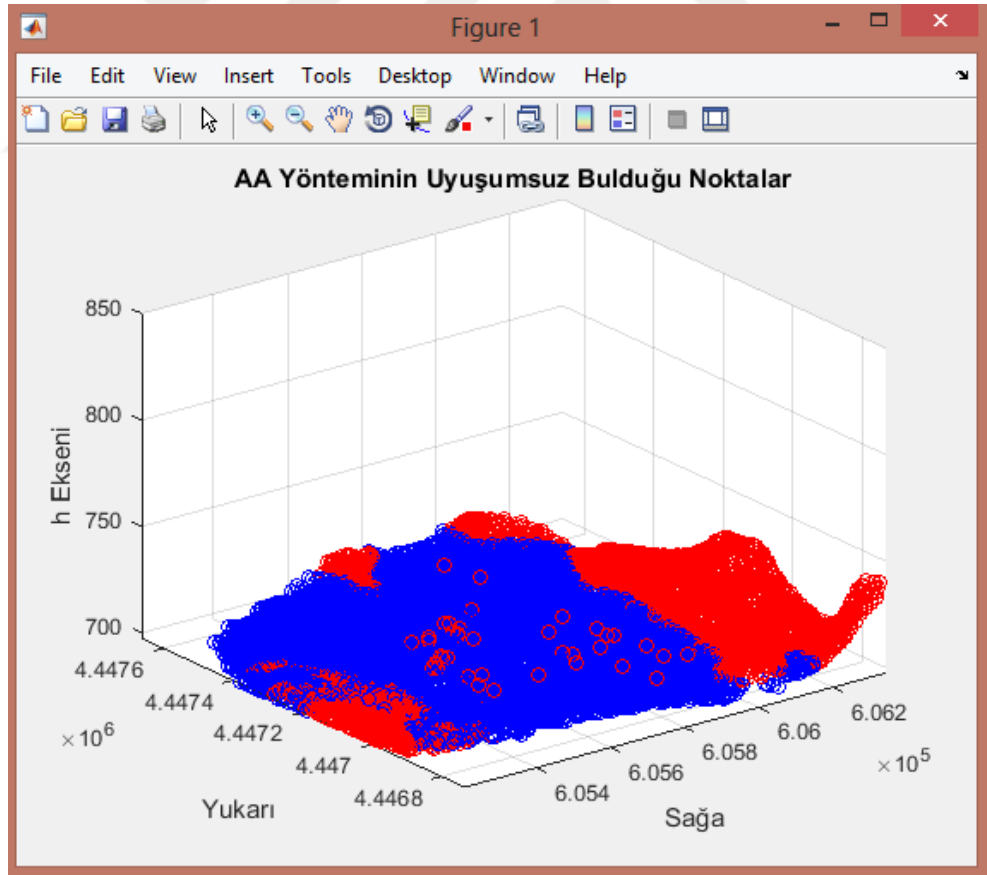
Tablo 4.12 AA uyuşumsuz ölçü grubu

SN	NN	y	x	N_R	Çekicilik
1	6843	4,773006	-1,83471	3,584204	0,01698
2	6799	4,684576	-1,65458	3,576704	0,01708
...	...	...	...	...	...
2624	1250	-4,92186	0,235717	-0,7718	7,35651
2625	1603	-4,29327	-3,08764	-0,5486	7,36087

Bu işleminde sonucunda çekiciliğine göre sıralanan ateşböceklerinin en az çekici bulunduğu kısmında tüm verinin %30'luk kısmı uyuşumsuz ölçü olarak kabul edilmiştir. (Tablo 4.12, Şekil 4.18, Şekil 4.19).



Şekil 4.18 AA Algoritması ile Uyuşumsuz Bulunan Noktalar



Şekil 4.19 AA'nın uyuşumsuz bulduğu noktaların yüzey gösterimi

Bu uyuşumsuz ölçüler 3B nokta bulutundan çıkarılarak yapılan GNSS/Nivelman geoid yüzeyi belirleme işleminde yüzey eşitliği;

$$N_R = -0,3009 - 0,0161x + 0,0003y - 0,0034x^2 - 0,0262xy + 0,0080y^2 + 0,0011x^3 - 0,0028x^2y - 0,0017xy^2 + 0,0104y^3 + 0,0003x^4 + 0,0012x^3y + 0,0001x^2y^2 + 0,0006xy^3 + 0,0011y^4$$

kareseel ortalama hata;

$$m_o = 0,1323 \text{ m}$$

olarak hesaplanmıştır.

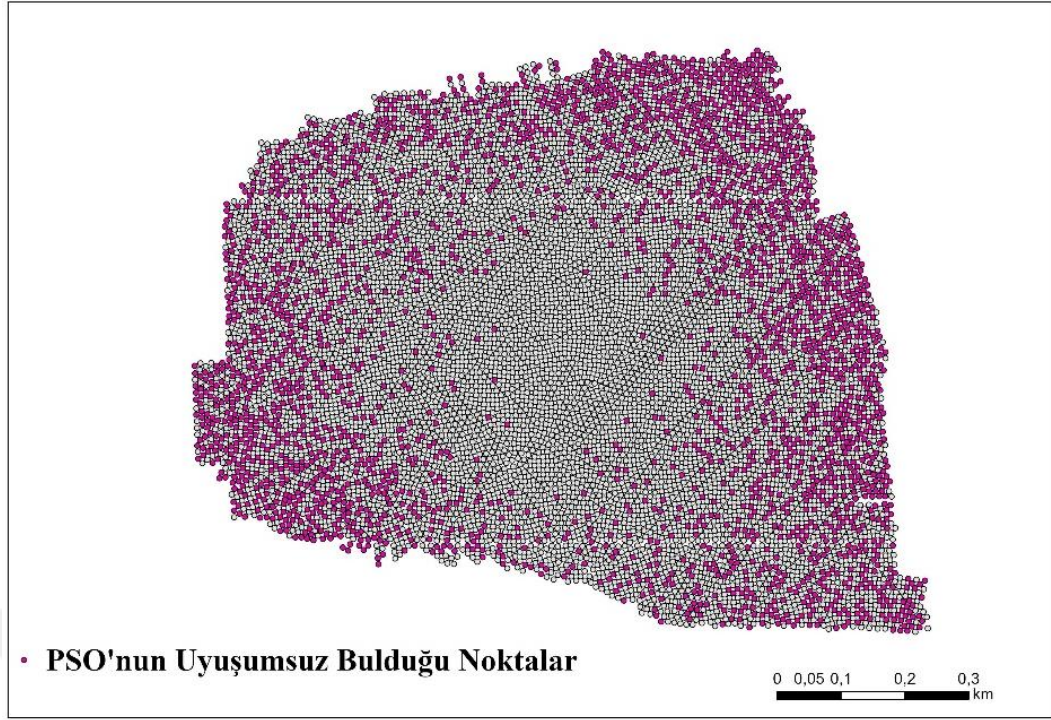
4.4.3. Parçacık Sürü Optimizasyonu

3B nokta bulutu verisinde PSO ile sınıflandırma yaparak uyuşumsuz ölçü grubu belirlenmesi işleminde her nokta bir parçacık olarak kabul edilmiştir. İlk olarak parçacıklar uygunluk değerlerine göre sıralanmıştır. Uygunluk değeri olarak N_R referans yükseklik değerleri alınmıştır. Uygunluk değerine göre sıralanan parçacıklar için hız değerleri tanımlanmıştır. Öncül hız değeri 1 olarak alınmış, konum ve hız değerleri eşitlik (3.49) ve (3.50)'e göre iteratif olarak güncellenmiştir. Her jenerasyonda en iyiler için $pbest$ ve $gbest$ değerleri eşitlik (3.47) ve (3.48)'e göre hesaplanmıştır. Bu işlemler iteratif olarak devam etmiştir. Her iterasyonda hesaplanan $pbest$ değerleri ile bir önceki iterasyonda hesaplanan değerlerin farkları alınmıştır.

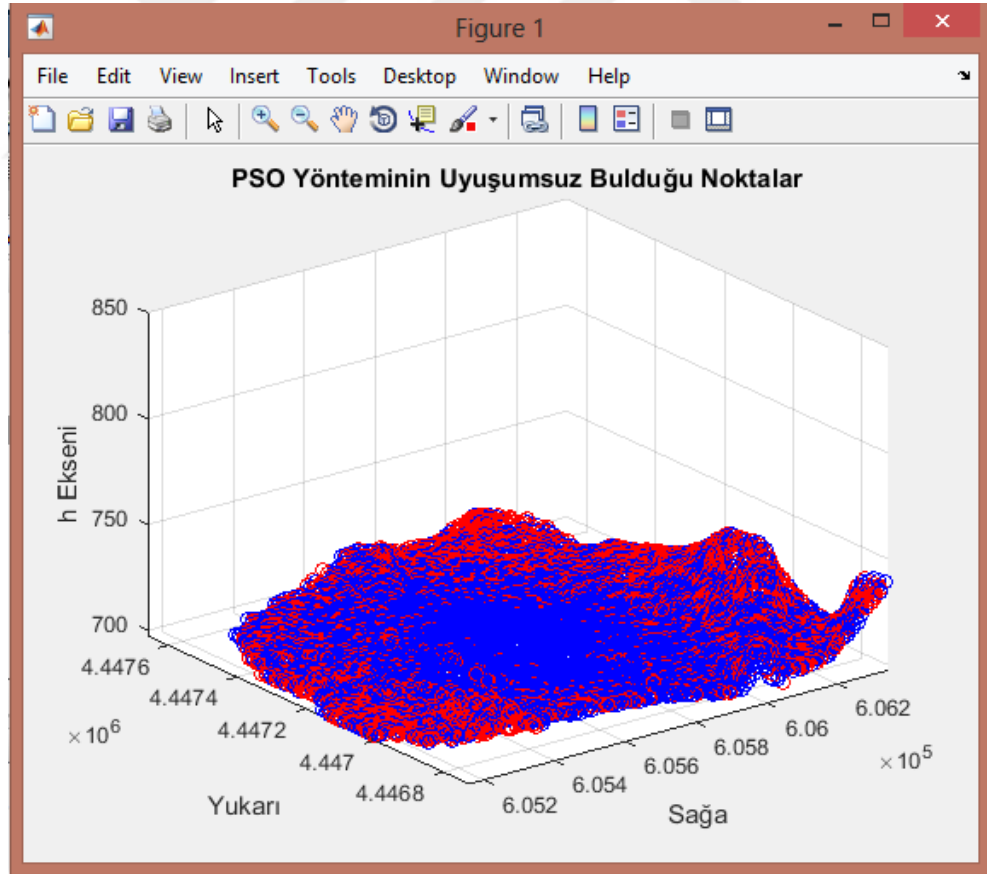
Tablo 4.13 PSO uyuşumsuz ölçü grubu

SN	NN	y	x	N _R	$pbest_1$	$pbest_2$	$pbest_3$
1	6937	4,755996	-1,72421	3,480704	1,507239	-0,48809	-8,23064
2	814	5,568486	-3,83079	1,917304	1,218332	0,088441	-7,44167
...	...	...	...	...	...	...	...
2624	6588	4,802066	-1,93019	3,514104	0,965072	-0,04361	-0,04337
2625	7867	0,052816	3,126207	-0,2641	-0,94828	0,931472	0,931641

Parçacıklar bu farklarla sıralanmışlardır. Tüm verinin %30'luk kısmını oluşturan ve en iyi değere en uzak olan noktalar uyuşumsuz nokta olarak kabul edilmiştir (Tablo 4.13, Şekil 4.20 ve Şekil 4.21).



Şekil 4.20 PSO'nun uyuşumsuz bulduğu noktalar



Şekil 4.21 PSO'nun uyuşumsuz bulduğu noktaların yüzey gösterimi

Uyuşumlu ölçü grubu için yapılan GNSS/Nivelman geoid yüzeyi belirleme işleminde yüzey eşitliği;

$$N_R = -0,3200 - 0,0074x + 0,0330y - 0,0055x^2 - 0,0491xy + 0,0278y^2 + 0,0015x^3 - 0,0054x^2y - 0,0029xy^2 + 0,0102y^3 + 0,0017x^4 + 0,0023x^3y - 0,0015x^2y^2 + 0,0011xy^3 + 0,0007y^4$$

kareseel ortalama hata;

$$m_o = 0,2429 \text{ m}$$

olarak hesaplanmıştır.

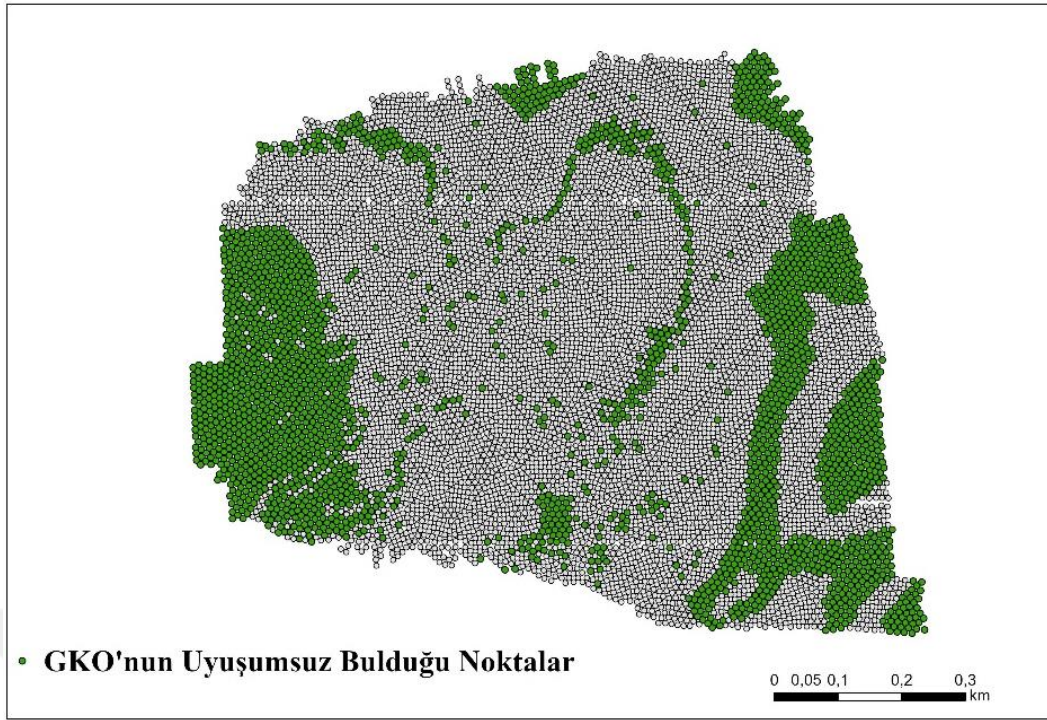
4.4.4. Gri Kurt Optimizasyonu

Metasezgisel algoritmalarla optimizasyonda veri sınıflandırmada GKO ile yapılan geoid yüzeyi belirleme çalışmasında verilerin ilk olarak uygunluk değerleri hesaplanmıştır. Uygunluk değeri olarak N_R referans yükseklik değerleri alınmıştır. Nokta kümesi daha sonra uygunluk değerine göre büyükten küçüğe doğru sıralanmıştır. Sıralı veri setinin ilk sırasındaki kurt alfa kurt olarak, ikinci kurt beta kurt, üçüncü kurt delta kurt ve geriye kalan 8747 kurt ise omega kurt olarak isimlendirilerek 4 gruba ayrılmıştır. Alfa, beta ve delta kurt belirli bir iterasyon sayısında ve belirli sınırlarda konumlarını eşitlik (3.52)'e göre güncellediklerinde yeni konumları ile omega gri kurtlarının konumları da güncellenir. Omega gri kurtların eski konumları ile yeni konumları arasındaki farklar büyükten küçüğe doğru sıralanmıştır.

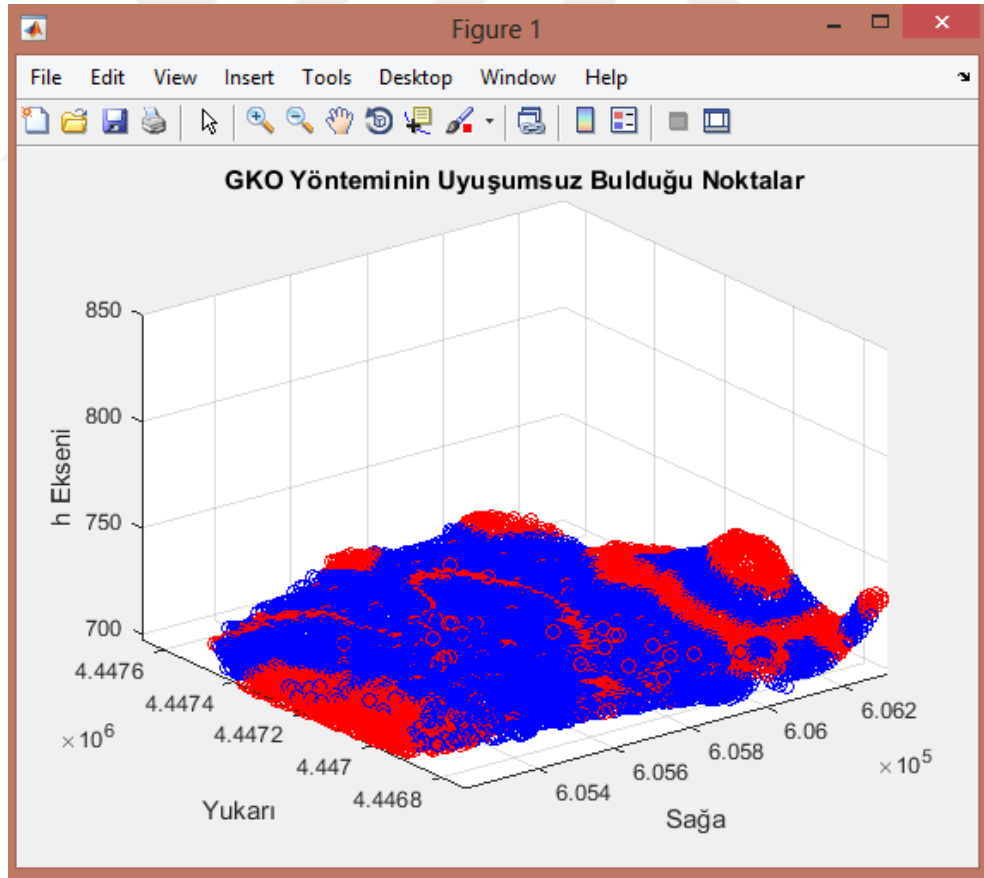
Tablo 4.14 GKO uyumsuz ölçü grubu

SN	NN	y	x	N_R	Konum farkları
1	6747	4,515036	1,178047	0,762704	0,3835
2	7007	5,305636	-2,93612	0,946804	0,382
...	...	...	...	...	...
2624	7327	-2,66949	3,371987	-0,2803	0,3818
2625	4557	0,777706	-1,44133	-0,2802	0,3817

İteratif olarak yapılan bu işlem değişiklik olmayınca sonlandırılmıştır. 3B nokta bulutu verisinin %30'luk kısmı uyumsuz ölçü grubu olarak belirlenmiştir. (Tablo 4.14, Şekil 4.22 ve Şekil 4.23)



Şekil 4.22 GKO'nun uyuşumsuz bulduğu noktalar



Şekil 4.23 GKO'nun uyuşumsuz bulduğu noktaların yüzey gösterimi

Uyuşumlu veri grubu ile yapılan GNSS/Nivelman geoid yüzeyi belirleme işleminde yüzey eşitliği;

$$N_R = -0,3595 - 0,0021x + 0,0363y - 0,0111x^2 - 0,0375xy + 0,0359y^2 + 0,0018x^3 - 0,0026x^2y - 0,0039xy^2 + 0,0076y^3 + 0,0003x^4 + 0,0015x^3y - 0,0017x^2y^2 + 0,0009xy^3 + 0,0004y^4$$

karesel ortalama hata;

$$m_o = 0,1929 \text{ m}$$

olarak hesaplanmıştır.

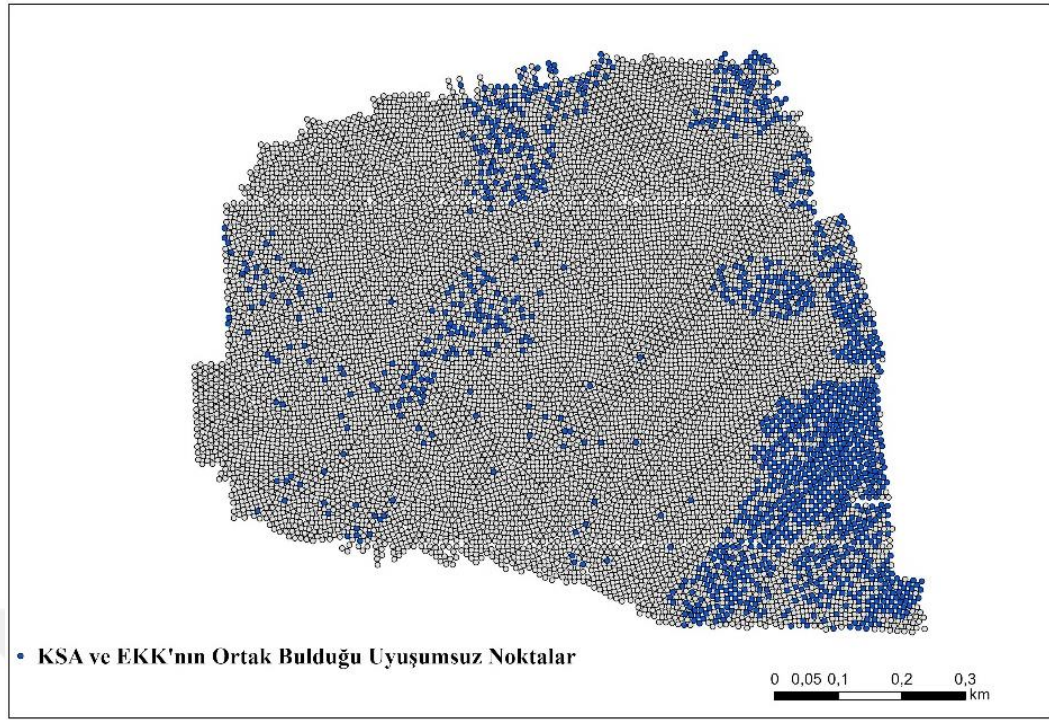
4.5. Belirlenen Uyuşumsuz Ölçü Gruplarının Karşılaştırılması

Yapılan uygulamalarda seçilen 3B veri grubu için EKK yöntemi ve metasezgisel optimizasyon yöntemlerine göre veri sınıflandırma yapılmış ve uyuşumlu-uyuşumsuz ölçü grupları belirlenmiştir. EKK yöntemi ile yapılan iteratif geleneksel uyuşumsuz ölçü grubu belirleme çözümünde 2813 nokta uyuşumsuz olarak belirlenmiştir. Uyuşumsuz ölçü sayısının tüm veriye oranı %32,1 olarak olduğundan metasezgisel algoritmalarda uyuşumsuz ölçü grubu oranı %30 olarak alınmıştır.

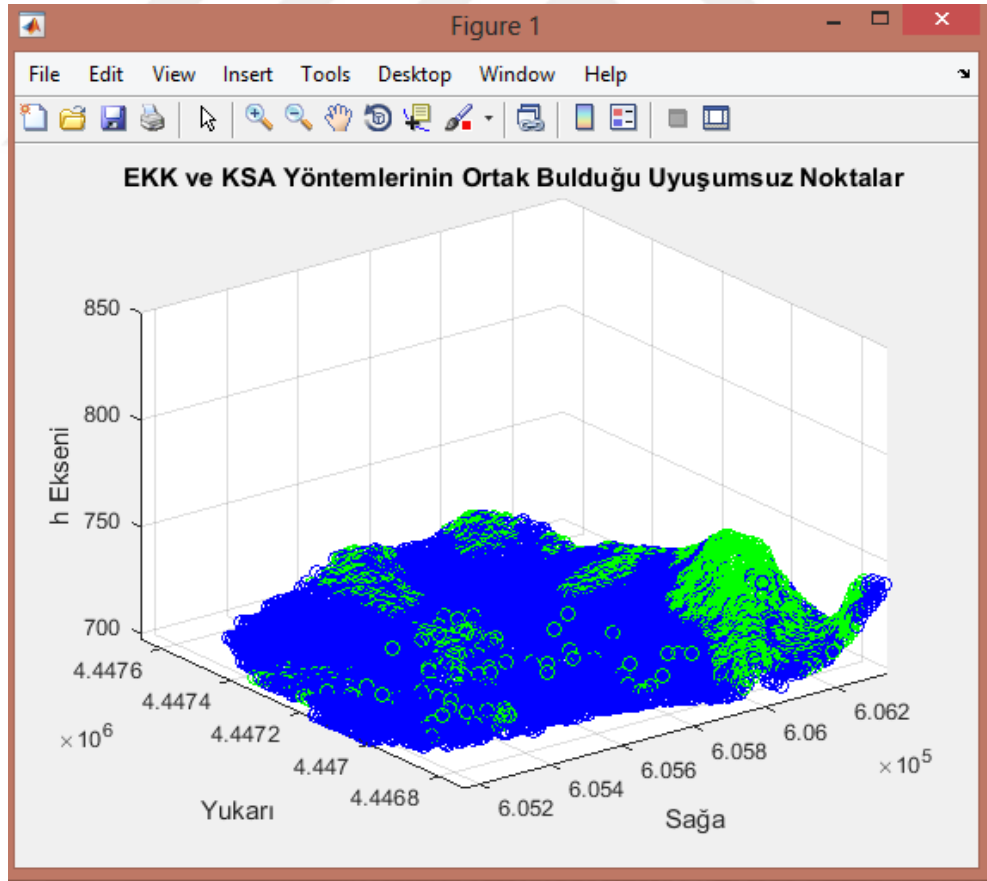
Oluşturulan KSA, AA, PSO ve GKO yöntemlerinin uyuşumsuz ölçü grubundaki noktaları EKK yöntemi ile oluşturulan uyuşumsuz ölçü grubu ile karşılaştırılmıştır.

- **KSA ile EKK Yöntemlerinin Karşılaştırılması**

Kurbağa sıçrama algoritmasının uyuşumsuz olarak bulduğu noktalar ile EKK yönteminin uyuşumsuz bulduğu noktalar ile karşılaştırıldığında 1322 noktanın ortak olduğu görülmüştür. İki yöntemde uyuşumsuz olarak belirlediği noktaların dağılımı Şekil 4.24 ve 4.25 'de görülmektedir.



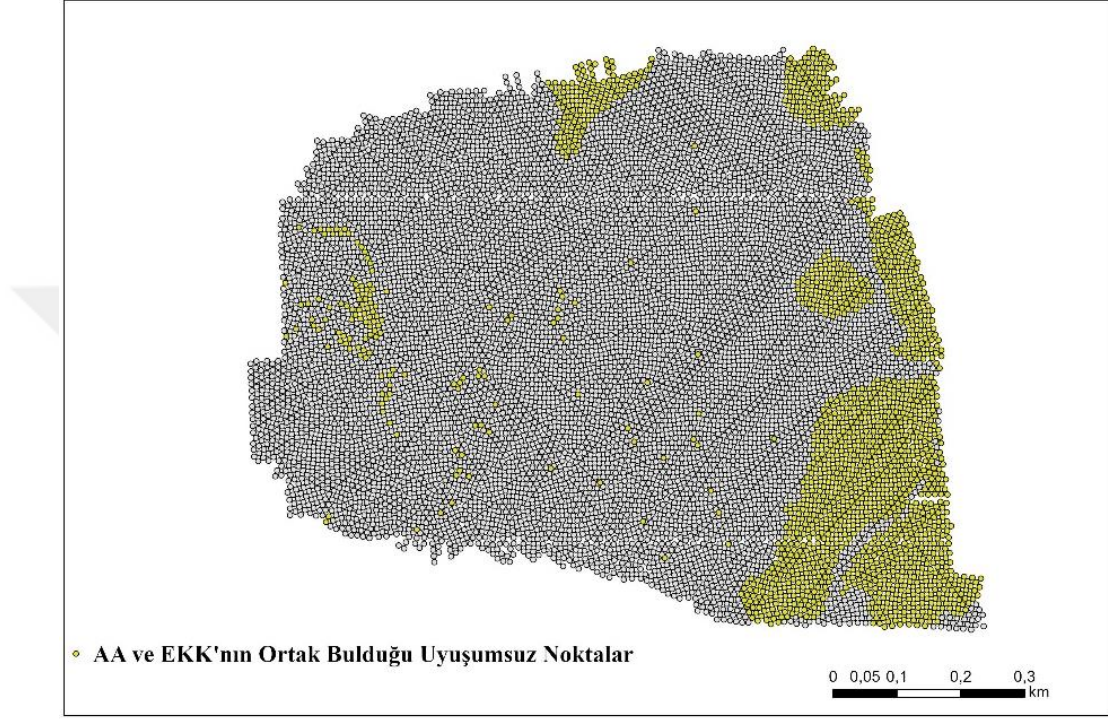
Şekil 4.24 KSA ile EKK yönteminin ortak bulduğu noktalar



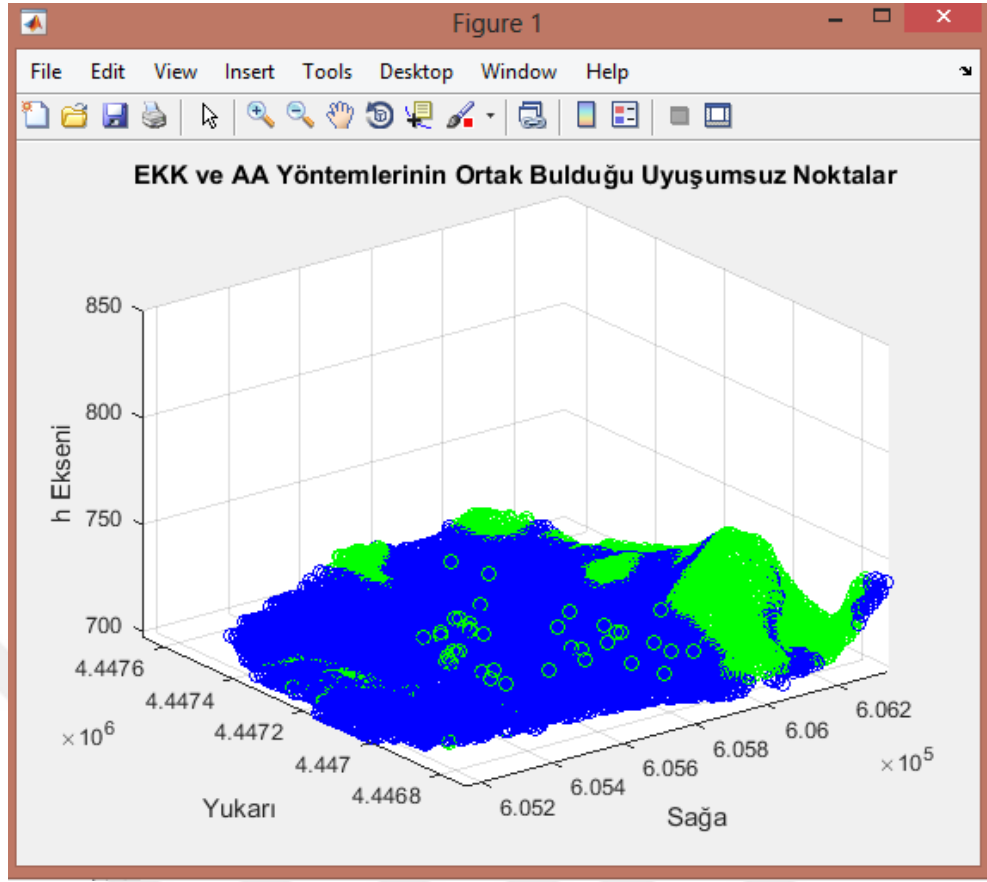
Şekil 4.25 KSA ve EKK yöntemlerinin ortak bulduğu uyumsuz noktaların yüzey gösterimi

- **AA ile EKK Yöntemlerinin Karşılaştırılması**

Ateşböceği algoritmasının uyşumsuz olarak bulduğu noktalar ile EKK yönteminin uyşumsuz bulduğu noktalar ile karşılaştırıldığında 1628 noktanın ortak olduğu görölmüşür. İki yöntemde uyşumsuz olarak belirlediği noktaların dağılımı Şekil 4.26 ve Şekil 4.27 'de görölmektedir.



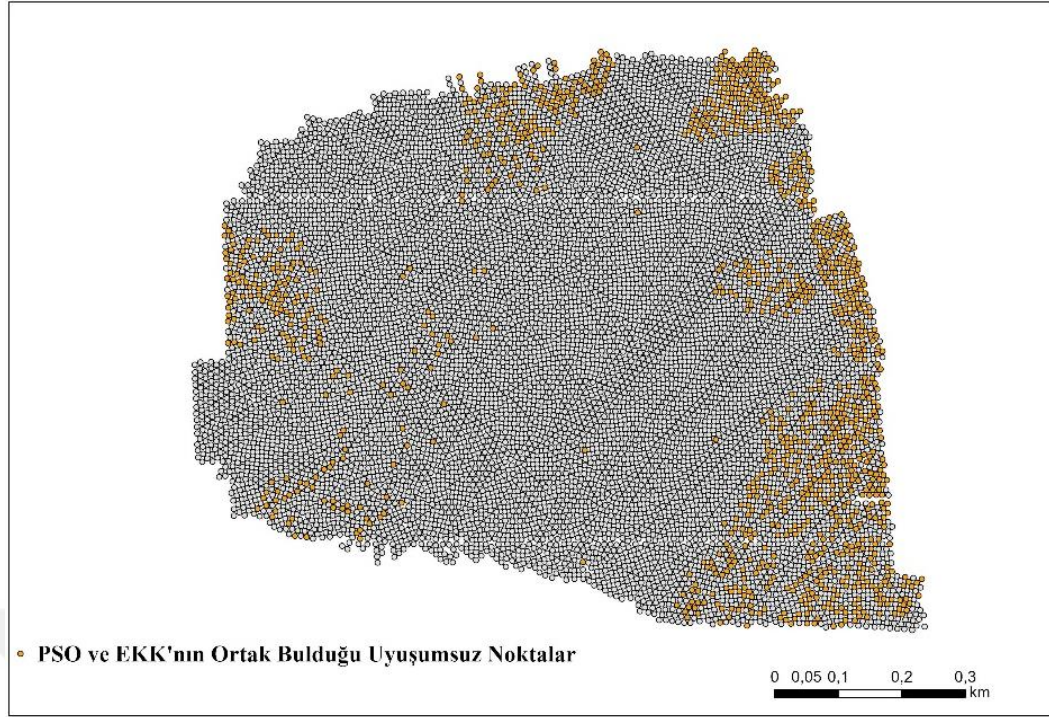
Şekil 4.26 AA ile EKK yönteminin ortak bulduğu noktalar



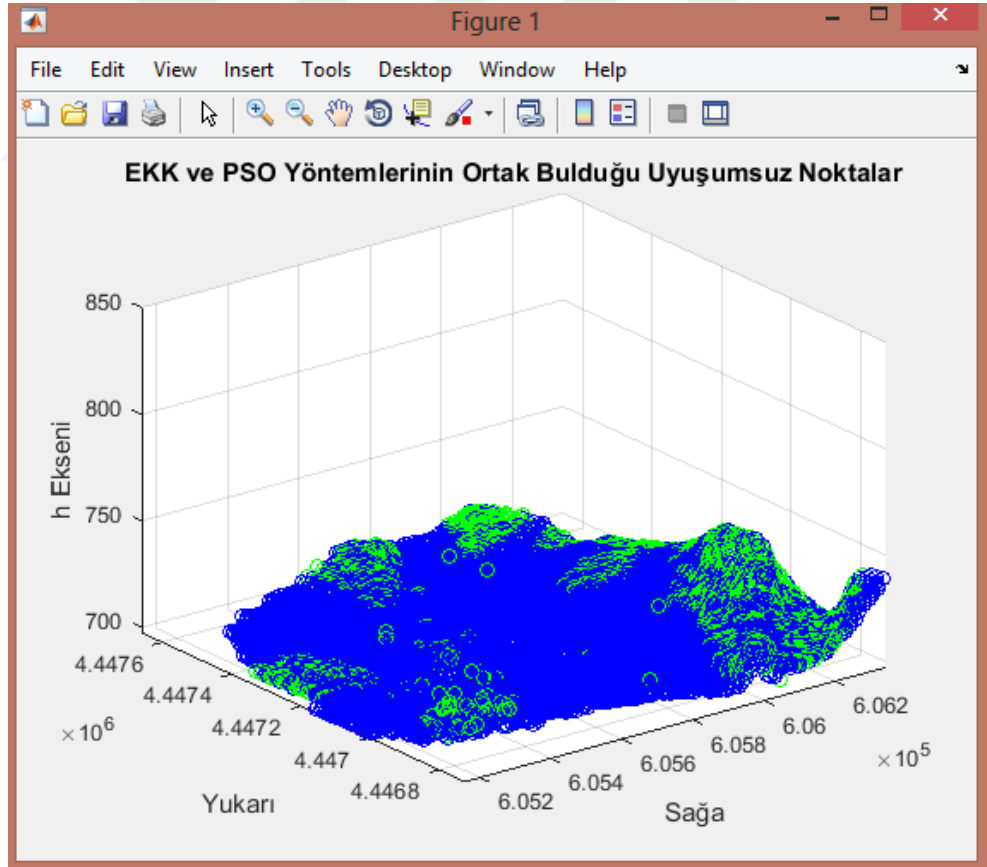
Şekil 4.27 EKK ve AA yöntemlerinin ortak bulduğu uyuşumsuz noktaların yüzey gösterimi

- **PSO ile EKK Yöntemlerinin Karşılaştırılması**

PSO'nun uyuşumsuz olarak bulduğu noktalar EKK yönteminin uyuşumsuz bulduğu noktalar ile karşılaştırıldığında 1093 noktanın ortak olduğu görülmüştür (Şekil 4.28, Şekil 4.29).



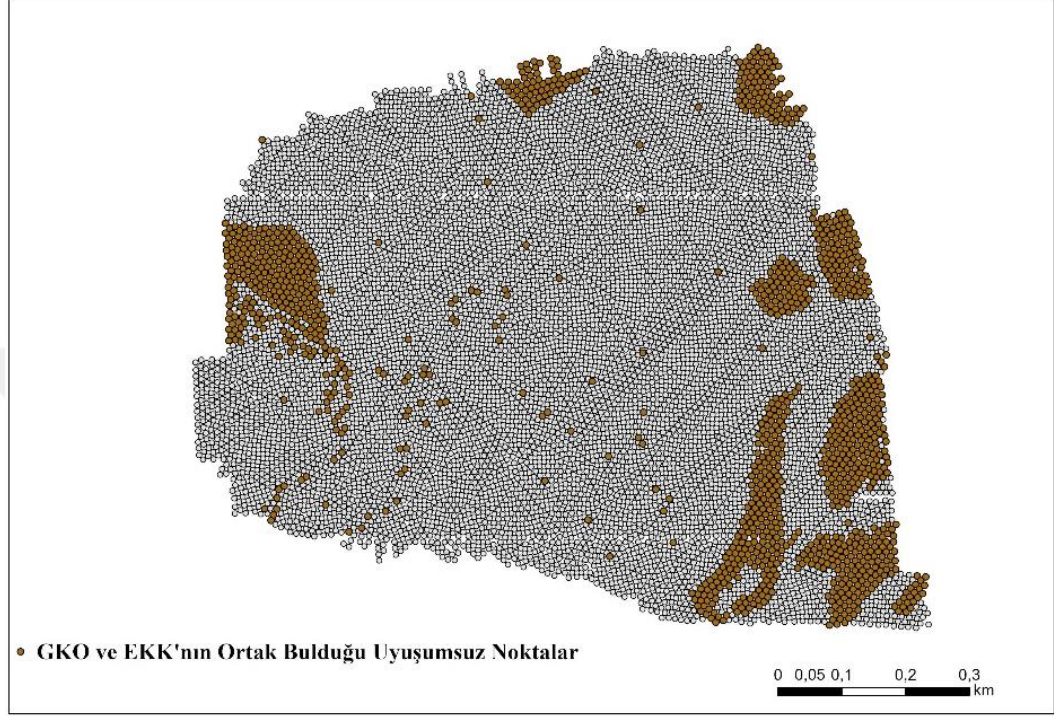
Şekil 4.28 PSO ile EKK yöntemlerinin ortak bulduğu noktalar



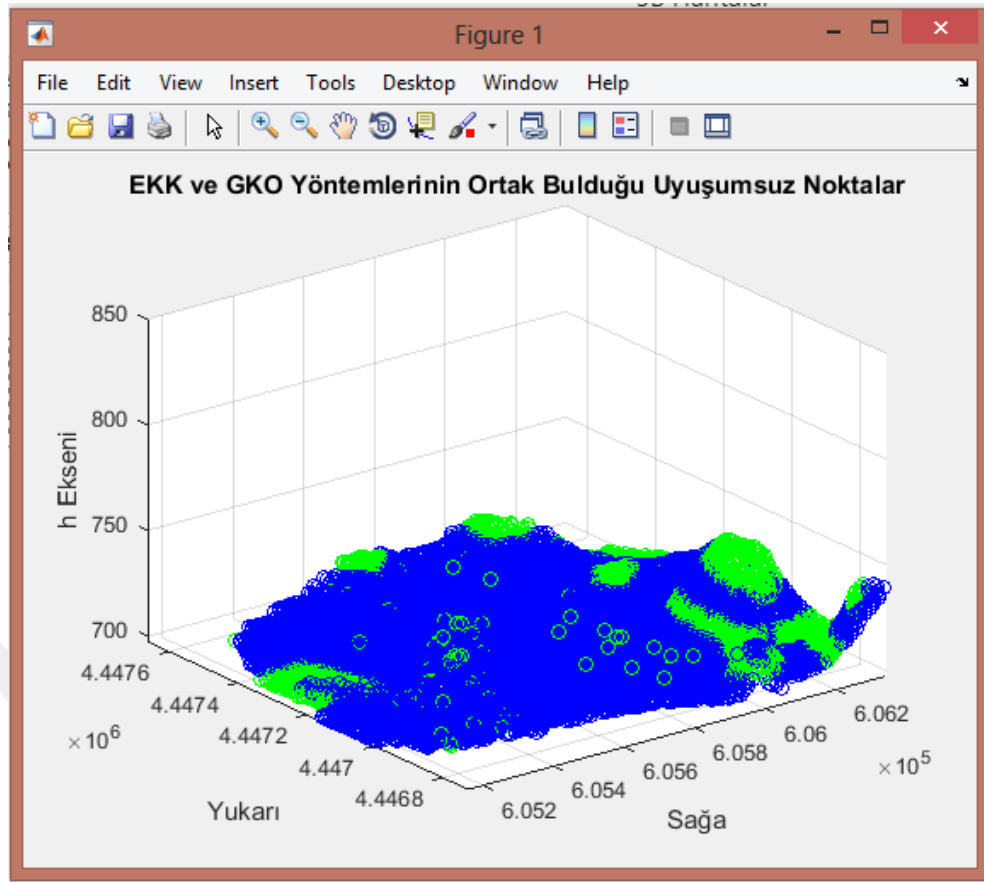
Şekil 4.29 EKK ve PSO yöntemlerinin ortak bulduğu uyumsuz noktaların yüzey gösterimi

- **GKO ile EKK Yöntemlerinin Karşılaştırılması**

GKO'nun uyşumsuz olarak bulduğu noktalar EKK yönteminin uyşumsuz bulduğu noktalar ile karşılaştırıldığında 1276 noktanın ortak olduğu görölmüşür. (Şekil 4.30, Şekil 4.31)



Şekil 4.30 GKO ile EKK yöntemlerinin ortak bulduğu noktalar



Şekil 4.31 EKK ve GKO yöntemlerinin ortak bulduğu uyumsuz noktaların yüzey gösterimi

Tablo 4.15 ile metasezgisel algoritmalar ile EKK yöntemi karşılaştırılmıştır. Metasezgisel yöntemlerin EKK yöntemi ile ortak bulduğu nokta sayılarının yüzdelikleri verilmiştir.

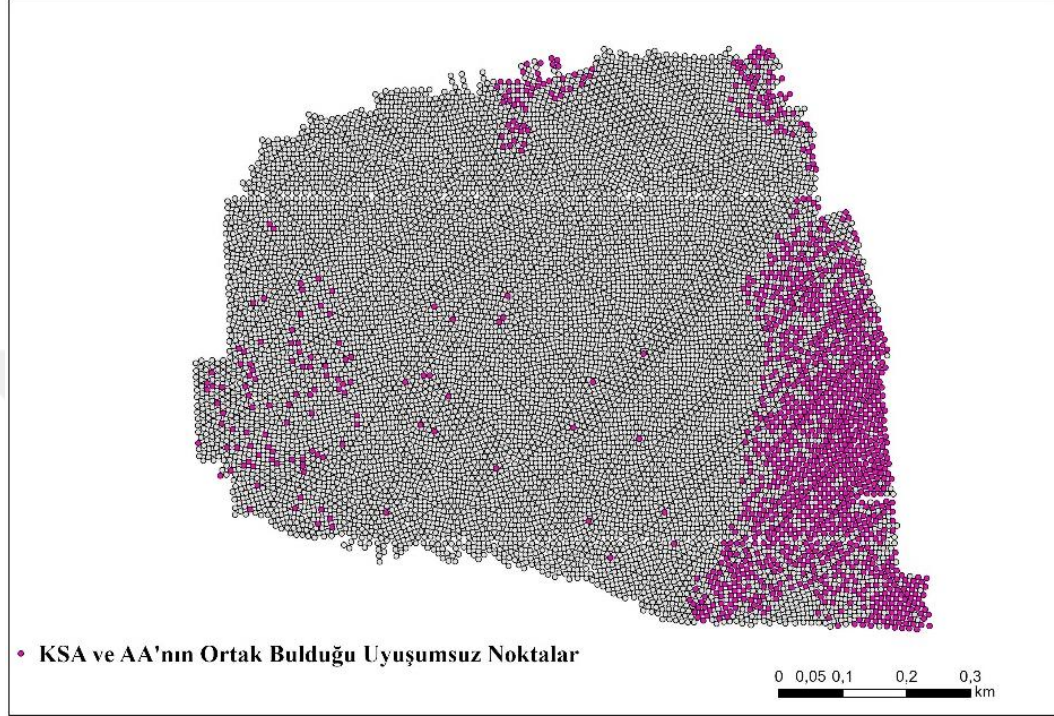
Tablo 4.15 Metasezgisel algoritmalar EKK yöntemi karşılaştırması

Yöntem	Ortak uyumsuz nokta sayısı	Yüzde
KSA	1322	%50,36 ortak
AA	1628	%62,02 ortak
PSO	1093	%41,64 ortak
GKO	1276	%48,61 ortak

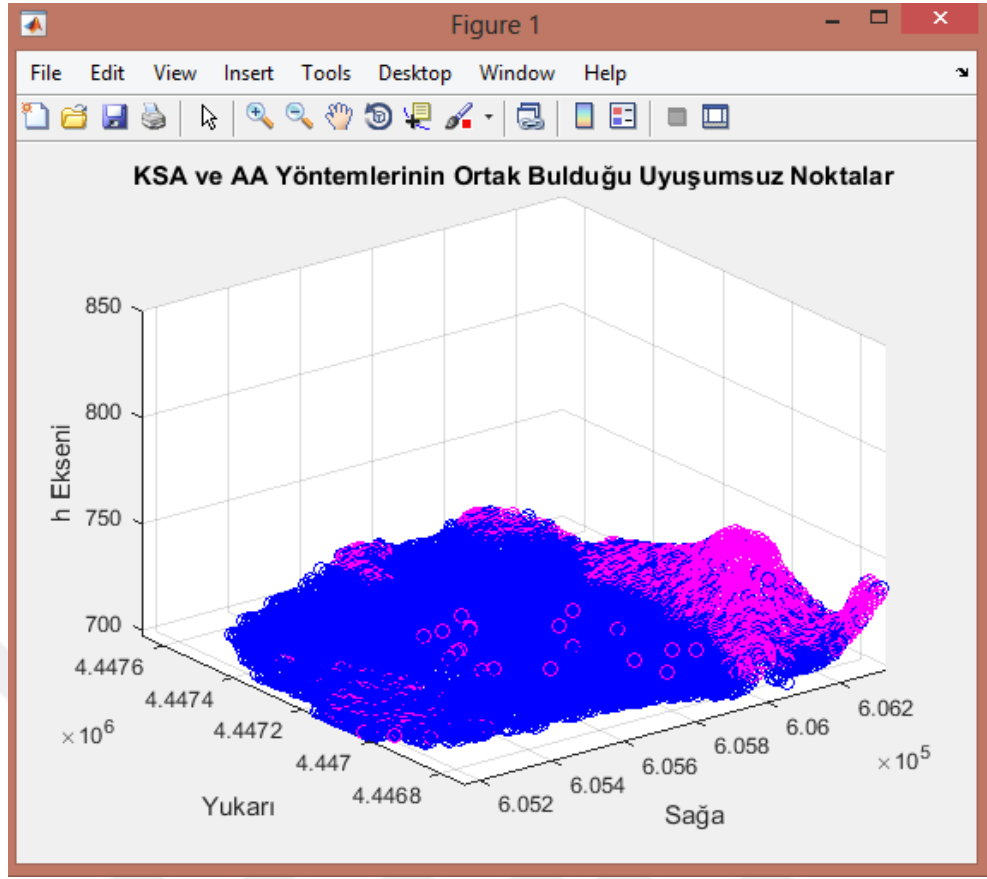
Ayrıca metasezgisel algoritmalar kendi aralarında karşılaştırılmıştır.

- **KSA ile AA Yöntemlerinin Karşılaştırılması**

KSA'nın uyuşumsuz olarak bulduğu noktalar AA algoritmasının uyuşumsuz bulduğu noktalar ile karşılaştırıldığında 1303 noktanın ortak olduğu görülmüştür (Şekil 4.32, Şekil 4.33).



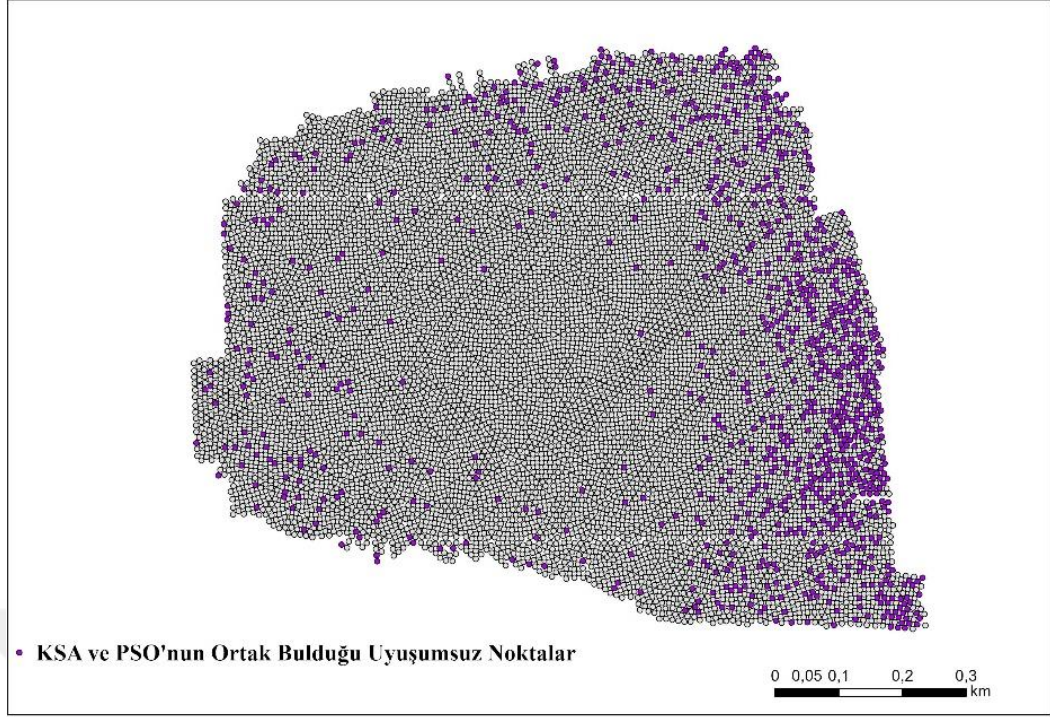
Şekil 4.32 KSA ile AA algoritmalarının ortak bulduğu noktalar



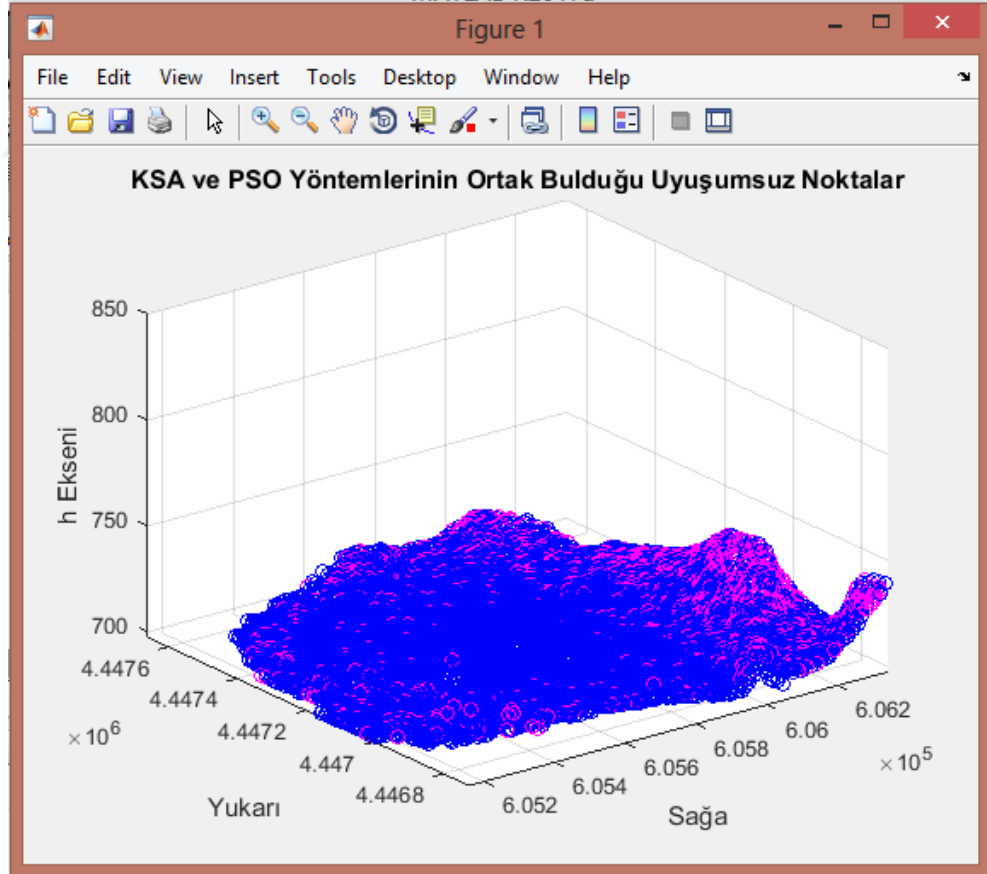
Şekil 4.33 KSA ve AA yöntemlerinin ortak bulduğu uyuşumsuz noktaların yüzey gösterimi

- **KSA ile PSO Yöntemlerinin Karşılaştırılması**

KSA'nın uyuşumsuz olarak bulduğu noktalar PSO algoritmasının uyuşumsuz bulduğu noktalar ile karşılaştırıldığında 959 noktanın ortak olduğu görülmüştür (Şekil 4.34, Şekil 4.35).



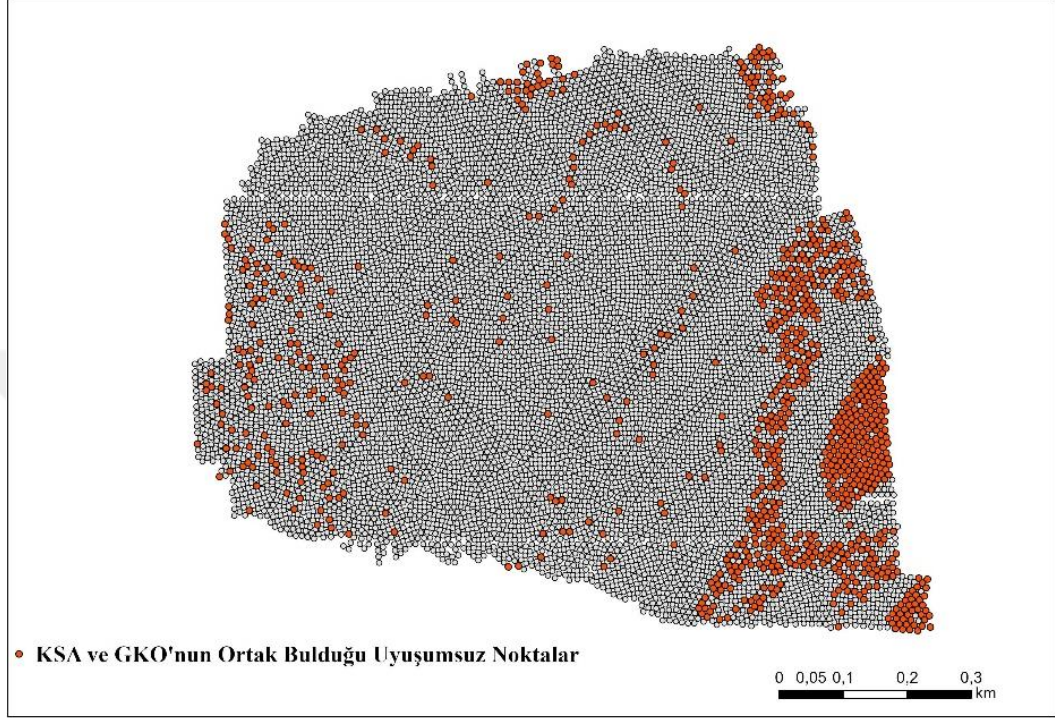
Şekil 4.34 KSA ile PSO algoritmalarının ortak bulduğu noktalar



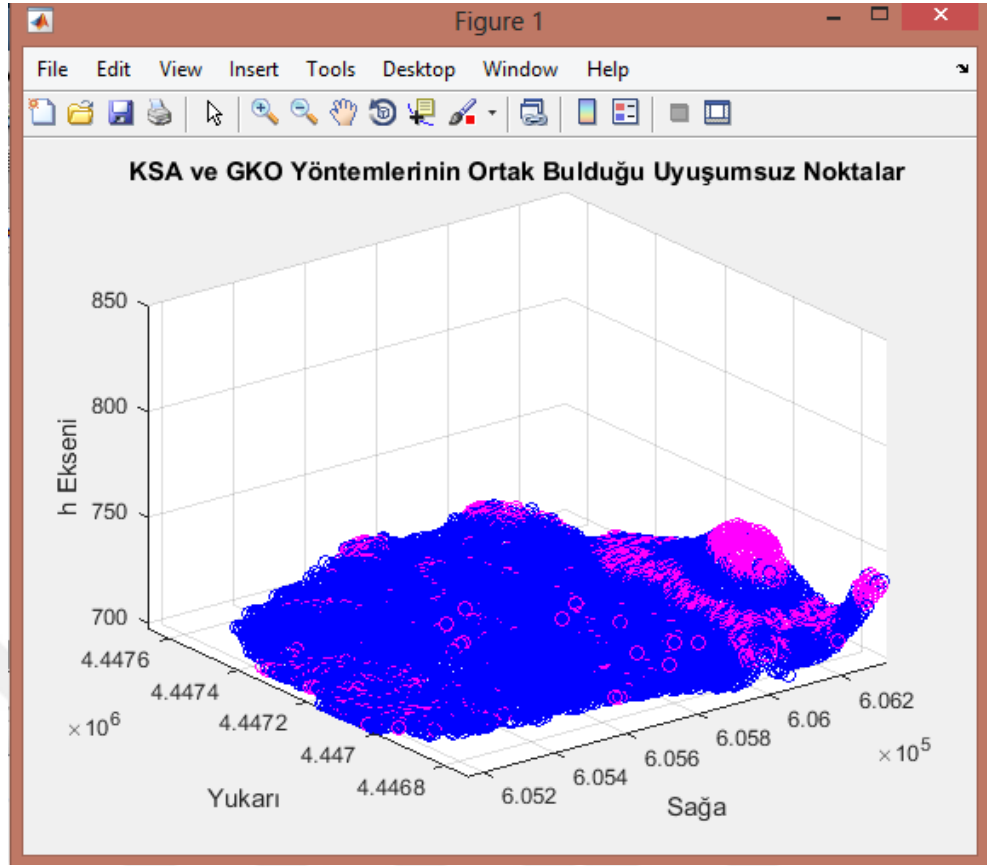
Şekil 4.35 KSA ve PSO yöntemlerinin ortak bulduğu uyuşumsuz noktaların yüzey gösterimi

- **KSA ile GKO Yöntemlerinin Karşılaştırılması**

KSA'nın uyuşumsuz olarak bulduğu noktalar GKO algoritmasının uyuşumsuz bulduğu noktalar ile karşılaştırıldığında 938 noktanın ortak olduğu görülmüştür (Şekil 4.36, Şekil 4.37).



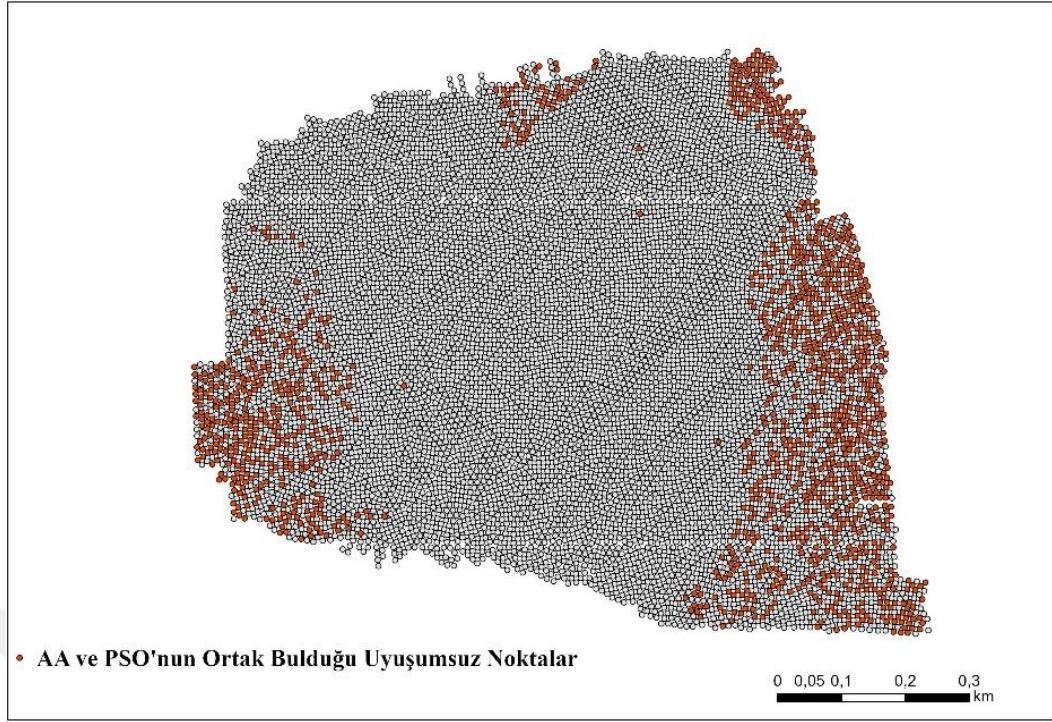
Şekil 4.36 KSA ile GKO algoritmalarının ortak bulduğu noktalar



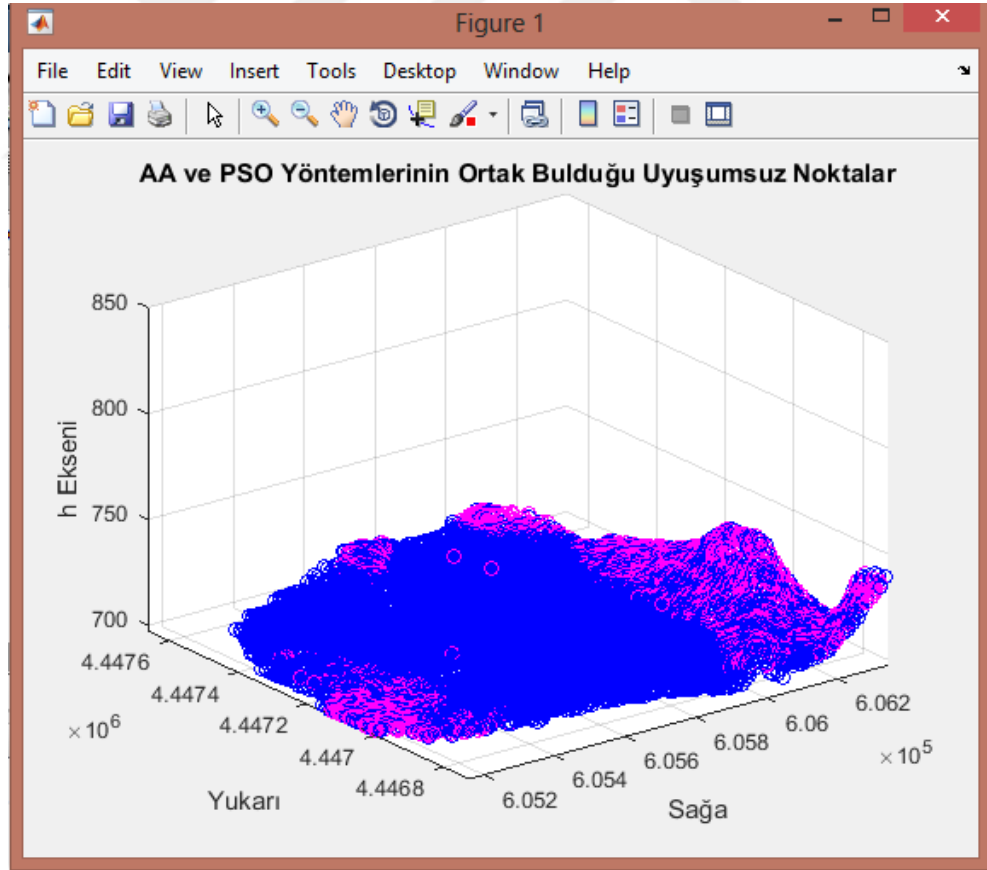
Şekil 4.37 KSA ve GKO yöntemlerinin ortak bulduğu uyumsuz noktaların yüzey gösterimi

- **AA ile PSO Yöntemlerinin Karşılaştırılması**

AA'nın uyumsuz olarak bulduğu noktalar PSO algoritmasının uyumsuz bulduğu noktalar ile karşılaştırıldığında 1250 noktanın ortak olduğu görülmüştür (Şekil 4.38, Şekil 4.39).



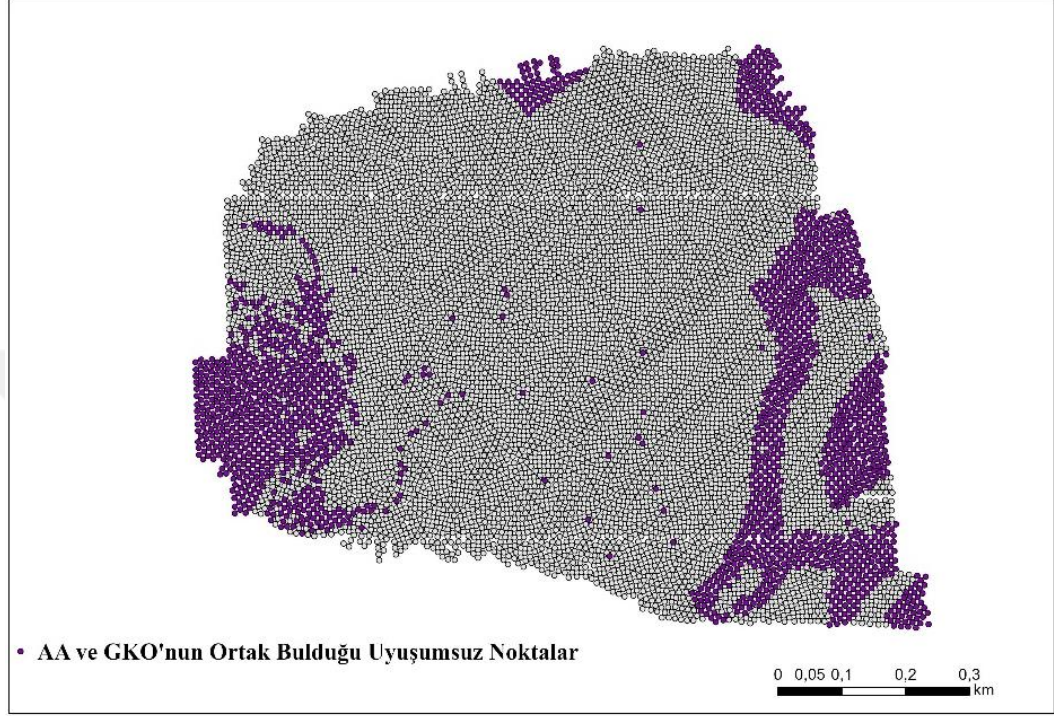
Şekil 4.38 AA ile PSO algoritmalarının ortak bulduğu noktalar



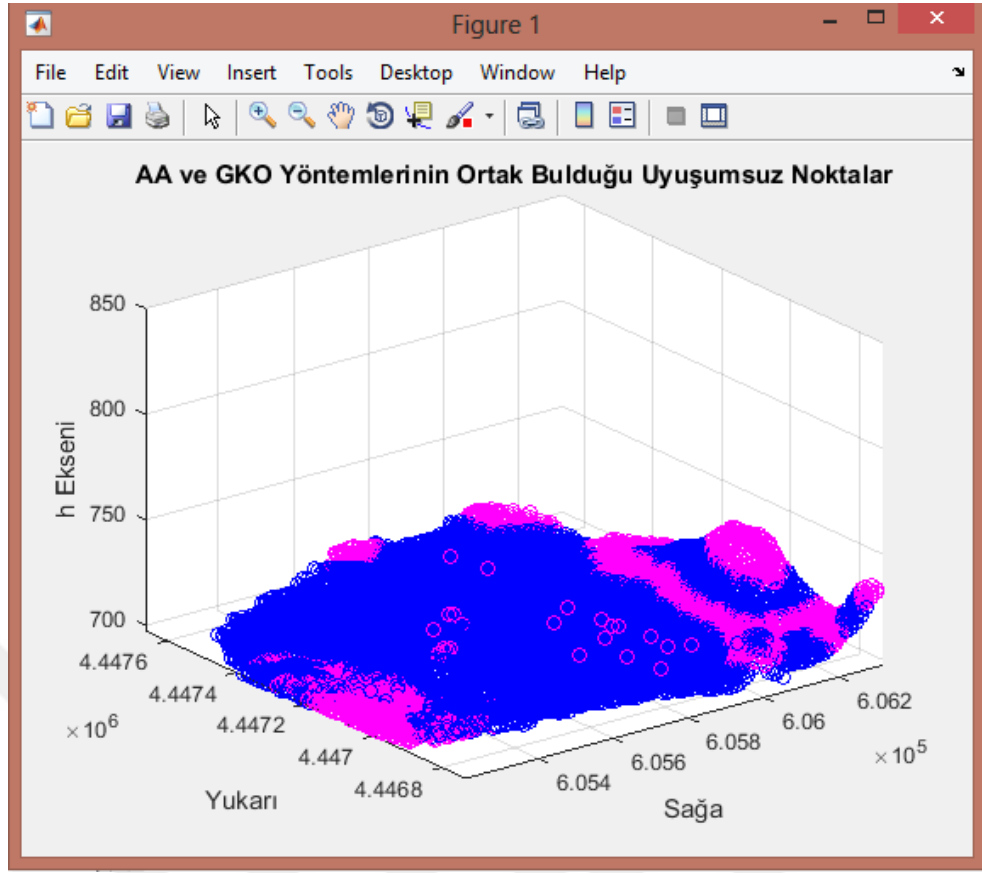
Şekil 4.39 AA ve PSO yöntemlerinin ortak bulduğu uyumsuz noktaların yüzey gösterimi

- **AA ile GKO Yöntemlerinin Karşılaştırılması**

AA'nın uyşumsuz olarak bulduğu noktalar GKO algoritmasının uyşumsuz bulduğu noktalar ile karşılaştırıldığında 1862 noktanın ortak olduğu görölmüşür (Şekil 4.40, Şekil 4.41).



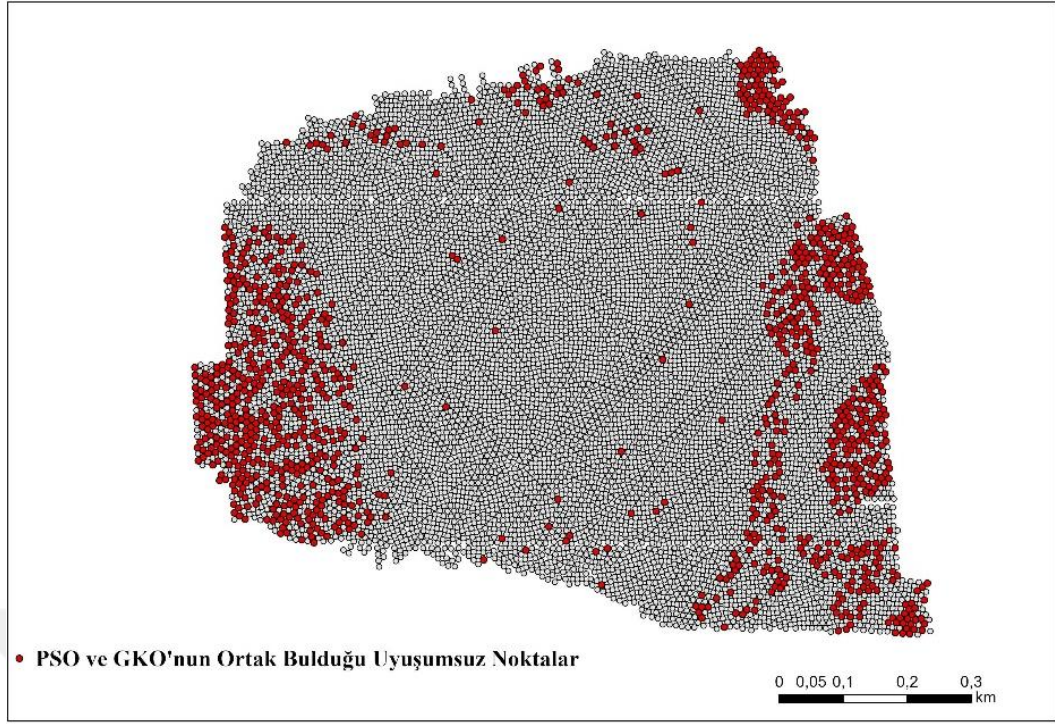
Şekil 4.40 AA ile GKO algoritmalarının ortak bulduğu noktalar



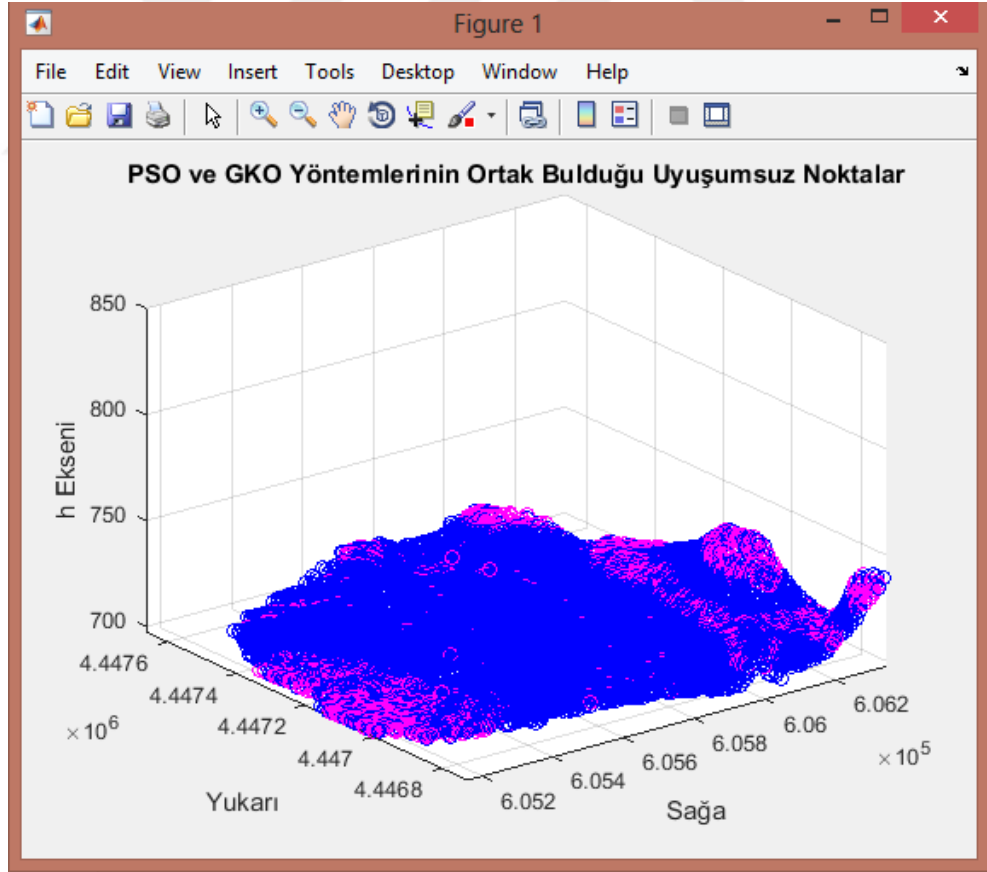
Şekil 4.41 AA ve GKO yöntemlerinin ortak bulduğu uyuşumsuz noktaların yüzey gösterimi

- **PSO ile GKO Yöntemlerinin Karşılaştırılması**

PSO'nun uyuşumsuz olarak bulduğu noktalar GKO algoritmasının uyuşumsuz bulduğu noktalar ile karşılaştırıldığında 1097 noktanın ortak olduğu görülmüştür (Şekil 4.42, Şekil 4.43).



Şekil 4.42 PSO ile GKO algoritmalarının ortak bulduğu noktalar



Şekil 4.43 PSO ve GKO yöntemlerinin ortak bulduğu uyuşumsuz noktaların yüzey gösterimi

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu çalışmada Çorum ilinin Sungurlu ilçesinin Aşağıbeşpınar köyünde yapılan drone uçuşu sonrası elde edilen 8750 noktalık 3B nokta bulutu veri seti kullanılmıştır. Çalışma alanı olarak seçilen bölge yaklaşık 8000 m² büyüklüğünde, 40°9'50,37" – 40°10'21,12" enlemleri arasında ve 34°14'5,13" – 34°14'55,71" boylamları arasında, yaklaşık eğimi %4,59 olan bir alandır. 3B nokta bulutu verisinden geoid yüzeyi belirleme işlemi için EKK ile optimizasyon çözmek için öncelikle polinomun derecesi belirlenmiştir. İlk olarak gerekli regresyon analizleri sonrasında karar verilen 4.dereceden polinom ile yüzey belirlenmiştir. Veri sınıflandırması için EKK çözümü ile veri setinin içerisindeki uyuşumsuz ölçüler bulunmuştur. Bu çözüm ile 2683 noktalık uyuşumsuz ölçü kümesi (%32,1) elde edilmiştir. Daha 3B nokta bulutu verisi ile sınıflandırma için 4 tane metasezgisel algoritma çözümü yapılmıştır.

Metasezgisel yöntemlerde uyuşumsuz nokta oranı için bir sınır değer tanımlanmadığı ve literatürde hiçbir çalışma olmadığından EKK optimizasyonuna yakın olacak %30 sınırı alınmış ve uyuşumsuz nokta grupları belirlenmiştir. Yapılan karşılaştırmalardan Tablo 5.1 elde edilmiştir.

Tablo 5.1 Yöntemlerin birbirlerine göre ortak nokta sayıları

<i>Yöntemler</i>	EKK	KSA	AA	PSO	GKO
EKK	2813	1322	1628	1093	1276
KSA	1322	2625	1303	959	938
AA	1628	1303	2625	1250	1862
PSO	1093	959	1250	2625	1097
GKO	1276	938	1862	1097	2625

Bu tablo incelendiğinde EKK yöntemiyle en çok ortak nokta bulan metasezgisel algoritma AA'dır. Ondan sonra sırasıyla KSA, GKO yöntemleri gelmektedir. EKK yöntemi ile en az ortak nokta bulan yöntem PSO yöntemidir. KSA ile en çok ortak nokta bulan yöntem AA'dır. Ondan sonra sırasıyla PSO ve GKO gelmektedir. PSO ve GKO yöntemlerinin KSA ile ortak uyuşumsuz buldukları nokta sayıları benzerlik

göstermektedir. AA diğer yöntemlerle uyuşumsuz noktalarının sayılarına bakıldığında GKO ile ortak nokta sayısının çokluğu dikkat çekmektedir. Daha sonra sırasıyla KSA ve PSO gelmektedir. PSO'nun uyuşumsuz ortak bulduğu noktalara bakıldığında en çok benzerliği AA ile olduğu görülmektedir. Daha sonra sırasıyla GKO ve KSA gelmektedir. Son yöntem olan GKO'nun uyuşumsuz bulduğu ortak nokta sayılarına bakıldığında en çok benzerliği AA ile olduğu sonrasında ise sırasıyla PSO ve KSA ile benzerlikle gösterdiği görülmektedir. Bu tablo AA'nın yöntemlerin arasında en yüksek uyuşumsuz nokta sayılarını verdiğini açık bir şekilde göstermektedir. KSA ile GKO yöntemlerinin sonuçlarının nispeten birbirlerine yakın olduğu söylenebilir. En az ortak nokta sayıları ise genel olarak PSO ile elde edildiği görülmektedir.

KSA algoritması ile elde edilen uyuşumsuz ölçü grubunun nokta dağılımına bakıldığında noktaların veri seti içerisinde dağınık bir şekilde olduğu görülmüştür. AA algoritmasının uyuşumsuz bulduğu nokta dağılımı daha gruplanmış haldedir. Belli bölgeleri uyuşumsuz olarak belirlemiştir. PSO'nun uyuşumsuz olarak belirlediği noktaların dağılımına bakıldığında KSA dağılımı ile benzerlik göstererek noktalar dağınık halde bulunmaktadır. GKO'nun uyuşumsuz olarak belirlediği noktaların dağılımına bakıldığında AA algoritması ile benzerlik göstererek daha gruplanmış halde bulundukları görülmektedir.

Tablo 5.2 Yöntemlerin birbirlerine göre ortak nokta sayısı yüzdeleri

<i>Yöntemler</i>	EKK	KSA	AA	PSO	GKO
EKK	1,000	0,470	0,579	0,389	0,454
KSA	0,470	1,000	0,496	0,365	0,357
AA	0,579	0,496	1,000	0,476	0,709
PSO	0,389	0,365	0,476	1,000	0,418
GKO	0,454	0,357	0,709	0,418	1,000

Tablo 5.2'de yöntemlerin birbirlerine göre ortak nokta sayılarının yüzdellikleri görülmektedir. Bu tablo bize en yüksek çakışmanın 0,709 ile GKO ile AA yöntemlerinin arasında olduğu görülmektedir.

Tablo 5.3 Yöntemlerin karesel ortalama hataları

Yöntem	Karesel Ortalama Hata
En Küçük Kareler Yöntemi	0,0545 m
Kurbağa Sıçrama Algoritması	0,1909 m
Ateşböceği Algoritması	0,1323 m
Parçacık Sürü Optimizasyonu	0,2429 m
Gri Kurt Optimizasyonu	0,1929 m

Yöntemlerin uyuşumsuz buldukları noktalar kümeden çıkartıldığında elde edilen karesel ortalamalar Tablo 5.3’de gösterilmektedir. Bu tablo incelendiğinde EKK yöntemine en yakın ve metasezgisel algoritmaların içinde en küçük karesel ortalama hatayı veren yöntemin AA olduğu görülmektedir. Ondan sonraki algoritmaların sırasıyla KSA ve GKO oldukları görülmektedir. Bu iki yöntemin sonuçları oldukça benzerdir. Karesel ortalama hatası en yüksek olan yöntem ise PSO olduğu görülmektedir.

Tablo 5.4 Metasezgisel yöntemlerin EKK yöntemi başarı yüzdeleri

Yöntem	Yüzdelik Oran
Kurbağa Sıçrama Algoritması	% 50,36
Ateşböceği Algoritması	%62,02
Parçacık Sürü Optimizasyonu	%41,64
Gri Kurt Optimizasyonu	%48,61

Metasezgisel yöntemlerin uyuşumsuz buldukları noktaların EKK yönteminin uyuşumsuz bulduğu noktalar çakışma başarılarının yüzdesi Tablo 5.4’de verilmektedir. Bu tabloya bakıldığında en başarılı yöntemin AA’sı olduğu görülmektedir. Ondan sonraki en başarılı yöntemin %50,36 ile KSA olduğu, ondan sonraki yöntemin %48,61 ile GKO olduğu görülmektedir. Bu yöntemlerin arasında uyuşumsuz noktaları bulmada en az başarıya sahip olan yöntemin PSO olduğu görülmektedir.

3B nokta bulutlarının modellenmesinde ve uyuşumsuz ölçülerin belirlenip kümeden çıkartılarak uyuşumsuz ölçü grubunun elde edilmesinde metasezgisel algoritmalarından AA, KSA ve GKO algortimalarının klasik yöntemlerle rekabet edebildiği ve iyi sonuçlar verdiği görülmüştür.

Yöntemlerin avantajlarına ve dezavantajlarına bakıldığında KSA'da veri kümesini kümelere ayırarak çalışması ve bu kümeleme, karmaşık problemleri daha küçük ve daha yönetilebilir parçalara bölmeye yardımcı olabilir. Bu özellik, büyük ve karmaşık 3B nokta bulutları ile çalışırken avantajlı olabilir. AA'nın içsel mekanizmasının problemlerle ilgili duyarlılıklara uygun olması bu yöntem için bir avantaj olmaktadır. Ayrıca AA'sı büyük ölçekli veri grupları ile çalışmayı kolaylaştırmaktadır ve bu durumda 3B nokta bulutu verisi büyük kolaylık sağlamaktadır. PSO, basit ve anlaşılması kolay bir algoritmadır. Bu nedenle, birçok optimizasyon probleminde hızlı bir şekilde uygulanabilir. PSO'nun az sayıda ayarlanması gereken parametresi vardır. Bu, algoritmanın kullanıcı dostu ve hızlı bir şekilde uygulanabilmesini sağlamaktadır. PSO yönteminde hız değişkeninin olması 3B nokta bulutu verisi ile kullanımı için bir dezavantaj oluşturmaktadır. GKO geniş çözüm uzaylarında etkili bir şekilde çalışabilme yetenekleri ve çeşitli problemlere uygulanabilme esnekliği ile avantaj sahibidir. Ancak bu yöntem diğer yöntemlerin yanında daha yavaş bir algoritma olarak bilinir bu da GKO yöntemi için dezavantaj olmaktadır.

Bu çalışma ile 3B nokta bulutu verilerinin uyumlu ve uyuşumsuz olarak sınıflandırılmasında metasezgisel algoritmaların kullanılabileceği göstermektedir ve harita mühendisliğinde bu konu ile ilgili yapılmış olan ilk çalışmalardan birisidir. Daha öncesinde yapılmış örnek çalışmaya ulaşamadığı için sonuçların literatürle karşılaştırılması yapılamamıştır. Metasezgisel yöntemlerin harita mühendisliğinde diğer uygulama alanlarında da kullanılabilirliği ve bu çalışmada kullanılan metasezgisel yöntemlerin haricindeki diğer yöntemlerin geoid yüzeyi belirleme çalışmalarında kullanılabilirliğinin araştırılması önerilmektedir.

KAYNAKLAR

- Abbak, R. (2020). Fiziksel Jeodezi: Teori ve Uygulama. *Atlas Akademi, Konya*.
- Abdullah, E., & Erdaş, O. (2007). Lazer Tarama (LiDAR) Teknolojisi ve Ormancılık Aktivitelerinde Kullanılma Olanakları.
- Abualigah, L. M., Khader, A. T., & Hanandeh, E. S. (2018). A new feature selection method to improve the document clustering using particle swarm optimization algorithm. *Journal of Computational Science*, 25, 456-466.
- Acar, E. B., Karabey, C., & Bayram, K. (2023). Drone ile Paket Dağıtımında Gezgin Satıcı Probleminin Genetik ve Parçacık Sürü Optimizasyon Algoritmaları ile Çözümü. *Adıyaman Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 10(20), 168-181.
- Adby, P. (2013). *Introduction to optimization methods*: Springer Science & Business Media.
- Akay, S. S. (2023). İHA Tabanlı 3 Boyutlu Verilere Farklı Perspektiflerde Bakış: İTÜ Ayazağa Kampüsü. *Turkish Journal of Remote Sensing and GIS*, 4(1), 47-63.
- Akcin, H. (2007). *Maksimum Korelasyonlu Robust Dengeleme Modeliyle Alternatif Bir Deformasyon Analizi*. Paper presented at the TMMOB Harita ve Kadastro Mühendisleri Odası 11. Türkiye Harita Bilimsel ve Teknik Kurultayı, Ankara.
- Akiz, E., & Yerci, M. (2009). Jeoit kullanarak elipsoit yüksekliklerinden ortometrik yükseklik belirleme yöntemlerinin doğruluk araştırması. *Harita Dergisi*, 13(25), 141.
- Akyılmaz, O., & Ayan, T. (2010). Esnek hesaplama yöntemlerinin jeodezide uygulamaları. *İTÜDERGİSİ/d*, 5(1).
- Al Qaraghuli, H., Sheibani, R., & Tabatabaee, H. (2022). Detection of atrial fibrillation using variable length genetic algorithm and convolutional neural network. *Concurrency and Computation: Practice and Experience*, 34(10), e6789.
- Ali, A. S., Othman, R. R., Yacob, Y., & Alkanaani, J. M. (2019). Parameters tuning of adaptive firefly algorithm based strategy for t-way testing. *International Journal of Innovative Technology and Exploring Engineering*, 19(1).
- Alper, A., & Konakoglu, B. (2020). Local geoid determination using a generalized regression neural network and interpolation methods: A case study in Kars, Turkey. *Erzincan University Journal of Science and Technology*, 13(3), 1424-1438.
- Amalvict, M., & Boavida, J. (1993). The geoid: From geodesy to geophysics and from geophysics to geodesy. *Surveys in Geophysics*, 14(4), 477-494. doi:10.1007/BF00690573
- Amiri, B., Fathian, M., & Maroosi, A. (2009). Application of shuffled frog-leaping algorithm on clustering. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 45, 199-209.
- Arora, N., & Banyal, R. K. (2021). Workflow scheduling using particle swarm optimization and gray wolf optimization algorithm in cloud computing. *Concurrency and Computation: Practice and Experience*, 33(16), e6281.
- Arslan, E., & Yılmaz, M. (2005). Geoit Belirleme Yöntemleri. *TMMOB Harita ve Kadastro Mühendisleri Odası*, 10.
- Aryan, A., Bosché, F., & Tang, P. (2021). Planning for terrestrial laser scanning in construction: A review. *Automation in Construction*, 125, 103551.
- Askarzadeh, A. (2016). A novel metaheuristic method for solving constrained engineering optimization problems: crow search algorithm. *Computers & Structures*, 169, 1-12.

- Aytuğ, O. (2013). Metasezgisel yöntemler ve uygulama alanları. *Çukurova Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 17(2), 113-128.
- Balaji, K., Sai Kiran, P., & Sunil Kumar, M. (2023). Power aware virtual machine placement in IaaS cloud using discrete firefly algorithm. *Applied Nanoscience*, 13(3), 2003-2011.
- Banerjee, A., Singh, D., Sahana, S., & Nath, I. (2022). Impacts of metaheuristic and swarm intelligence approach in optimization. In *Cognitive Big Data Intelligence with a Metaheuristic Approach* (pp. 71-99): Elsevier.
- Banzhaf, W., Nordin, P., Keller, R. E., & Francone, F. D. (1998). *Genetic programming: an introduction: on the automatic evolution of computer programs and its applications*: Morgan Kaufmann Publishers Inc.
- Barber, D., Mills, J., & Bryan, P. (2002). Laser Scanning and Photogrammetry-21th Century Metrology. *International Archives of Photogrammetry Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 34(5/C7), 360-366.
- Bektas, S. (2005). *Dengeleme Hesabı*: Ondokuz Mayıs Üniversitesi Yayınları.
- Bektaş, S. (2001). Matematik Jeodezi. *Kamer MatbaaYayıncılık, Samsun*.
- Bektaş, S. (2009). *Pratik Jeodezi*. Samsun: OMÜ Yayınları.
- Bildirici, İ. Ö. (2017). Türkiye'de Büyük ve Orta Ölçekli Harita Yapımında Kullanılan Projeksiyon Sistemleri.
- Blum, C., & Roli, A. (2003). Metaheuristics in combinatorial optimization: Overview and conceptual comparison. *ACM computing surveys (CSUR)*, 35(3), 268-308.
- Boehler, W., & Marbs, A. (2002). 3D scanning instruments. *Proceedings of the CIPA WG*, 6(9), 1-4.
- Bolat, S. (2013). *Lokal jeoid belirleme yöntemleri: Samsun ili örneği*. Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü,
- Bosche, F. N., Forster, A. M., & Valero, E. (2015). 3D surveying technologies and applications: Point clouds and beyond.
- Büyükuysal, M. Ç., & Öz, İ. İ. (2016). Çoklu doğrusal bağıntı varlığında en küçük karelere alternatif yaklaşım: Ridge regresyon. *Düzce Üniversitesi Sağlık Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 6(2), 110-114.
- Cao, C., Preda, M., & Zaharia, T. (2019). *3D point cloud compression: A survey*. Paper presented at the The 24th International Conference on 3D Web Technology.
- Cao, M., Huang, M., Xu, R., Lü, G., & Chen, M. (2019). A grey wolf optimizer–cellular automata integrated model for urban growth simulation and optimization. *Transactions in GIS*, 23(4), 672-687.
- Chaturvedi, K. T., Pandit, M., & Srivastava, L. (2009). Particle swarm optimization with time varying acceleration coefficients for non-convex economic power dispatch. *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*, 31(6), 249-257.
- Cheng, M.-Y., & Prayogo, D. (2014). Symbiotic organisms search: a new metaheuristic optimization algorithm. *Computers & Structures*, 139, 98-112.
- Coello, C. A. C., Pulido, G. T., & Lechuga, M. S. (2004). Handling multiple objectives with particle swarm optimization. *IEEE Transactions on evolutionary computation*, 8(3), 256-279.
- Colomina, I., & Molina, P. (2014). Unmanned aerial systems for photogrammetry and remote sensing: A review. *ISPRS Journal of photogrammetry and remote sensing*, 92, 79-97.

- Çömert, R. (2015). *Yersel lazer tarayıcılardan elde edilen veriler kullanılarak otomatik nesne çıkarımı*. Anadolu University (Turkey),
- Das, R. K., Samanta, S., Jana, S. K., & Rosa, R. (2018). Polynomial interpolation methods in development of local geoid model. *The Egyptian journal of remote sensing and space science*, 21(3), 265-271.
- Dasgupta, M., & Mishra, S. K. (2004). Least absolute deviation estimation of linear econometric models: A literature review. *Available at SSRN 552502*.
- De León-Aldaco, S. E., Calleja, H., & Alquicira, J. A. (2015). Metaheuristic optimization methods applied to power converters: A review. *IEEE Transactions on Power Electronics*, 30(12), 6791-6803.
- Demir, S., Abbak, R. A., & İl, H. T. A. (2018). Global Yerpotansiyel Modellerin Gravimetrik Jeoit Belirlemeye Katkısı. *Geomatik*, 3(3), 213-224.
- Demirtas, M. A. (2022). Derin öğrenme ile 3 boyutlu nokta bulutlarının sınıflandırılmasına genel bir bakış. *Dicle University Journal of Engineering*, 13(1).
- Deng, K., Chang, G., Huang, M., Zeng, H., & Chen, X. (2022). Geoid determination using band limited airborne horizontal gravimetric data. *Journal of Spatial Science*, 67(2), 273-286.
- Denker, H., & Wenzel, H.-G. (1987). Local geoid determination and comparison with GPS results. *Bulletin Geodesique*, 61(4), 349-366.
- Descartes, R., & Frenzel, I. (1960). *René Descartes*: Fischer.
- Dielman, T. E. (1986). A comparison of forecasts from least absolute value and least squares regression. *Journal of Forecasting*, 5(3), 189-195.
- Dielman, T. E. (2005). Least absolute value regression: recent contributions. *Journal of statistical computation and simulation*, 75(4), 263-286.
- Dilaver, A. (1997). Jeodezide Temel Koordinat Sistemleri. *KTÜ Mühendislik Mimarlık Fakültesi, Jeodezi ve Fotogrametri Mühendisliği Ders Notları*(47).
- Ding, F. (2023). Least squares parameter estimation and multi-innovation least squares methods for linear fitting problems from noisy data. *Journal of Computational and Applied Mathematics*, 426, 115107.
- Doğan, C. (2019). *Balina optimizasyon algoritması ve gri kurt optimizasyonu algoritmaları kullanılarak yeni hibrit optimizasyon algoritmalarının geliştirilmesi*. Fen Bilimleri Enstitüsü,
- Doğru, A. S., & Tolga, E. (2020). Kablosuz Sensör Ağlarında Konum Belirlemede Parçacık Sürü Optimizasyonu, Yarasa Algoritması, Diferansiyel Gelişim Algoritması ve Ateşböceği Algoritması Yöntemlerinin Karşılaştırılması. *International Journal of Engineering Research and Development*, 12(3), 52-64.
- Du, X., Yu, T., & Chen, K. (2023). An Orthodontic Path Planning Method Based on Improved Gray Wolf Optimization Algorithm.
- Eberhart, R., & Kennedy, J. (1995). *A new optimizer using particle swarm theory*. Paper presented at the MHS'95. Proceedings of the sixth international symposium on micro machine and human science.
- Edl, M., Mizerák, M., & Trojan, J. (2018). 3D laser scanners: history and applications. *Acta Simulatio*, 4(4), 1-5.
- Eisenbeiss, H. (2009). *UAV Photogrammetry Ph. D. Thesis*, ETH Zürich, Zürich, Switzerland,
- Elbeltagi, E., Hegazy, T., & Grierson, D. (2005). Comparison among five evolutionary-based optimization algorithms. *Advanced engineering informatics*, 19(1), 43-53.

- Ellmann, A. (2005). Computation of three stochastic modifications of Stokes's formula for regional geoid determination. *Computers & geosciences*, 31(6), 742-755.
- Emary, E., Zawbaa, H. M., Grosan, C., & Hassenian, A. E. (2015). *Feature subset selection approach by gray-wolf optimization*. Paper presented at the Afro-European Conference for Industrial Advancement: Proceedings of the First International Afro-European Conference for Industrial Advancement AECIA 2014.
- Ergun, U. (2019). Türkiye için gri kurt optimizasyon algoritması ile yapay sinir ağlarını kullanarak enerji tüketiminin tahmini. *Gazi University Journal of Science Part C: Design and Technology*, 7(2), 245-262.
- Eusuff, M., Lansey, K., & Pasha, F. (2006). Shuffled frog-leaping algorithm: a memetic meta-heuristic for discrete optimization. *Engineering optimization*, 38(2), 129-154.
- Eusuff, M. M., & Lansey, K. E. (2003). Optimization of water distribution network design using the shuffled frog leaping algorithm. *Journal of Water Resources planning and management*, 129(3), 210-225.
- Farahani, S. M., Abshouri, A. A., Nasiri, B., & Meybodi, M. (2011). A Gaussian firefly algorithm. *International Journal of Machine Learning and Computing*, 1(5), 448.
- Fazeli, H., Samadzadegan, F., & Dadrasjavan, F. (2016). Evaluating the potential of RTK-UAV for automatic point cloud generation in 3D rapid mapping. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 41, 221-226.
- Featherstone, W. (2003). Software for computing five existing types of deterministically modified integration kernel for gravimetric geoid determination. *Computers & geosciences*, 29(2), 183-193.
- Firat, O., & Deniz, R. (2011). Uydu altimetre ölçülerinden geoit belirleme. *ITU Journal Series D: Engineering*, 10(5).
- Fister, I., Fister Jr, I., Yang, X.-S., & Brest, J. (2013). A comprehensive review of firefly algorithms. *Swarm and evolutionary computation*, 13, 34-46.
- Forsberg, R., Olesen, A., Bastos, L., Gidskehaug, A., Meyer, U., & Timmen, L. (2000). Airborne geoid determination. *Earth, planets and space*, 52(10), 863-866.
- Fotopoulos, G. (2003). *An analysis on the optimal combination of geoid, orthometric and ellipsoidal height data*: Citeseer.
- Gandomi, A. H., & Roke, D. A. (2014). *Engineering optimization using interior search algorithm*. Paper presented at the 2014 IEEE symposium on swarm intelligence.
- Gandomi, A. H., Yang, X.-S., Talatahari, S., & Alavi, A. H. (2013). Firefly algorithm with chaos. *Communications in Nonlinear Science and Numerical Simulation*, 18(1), 89-98.
- Gençerk, E. Y. (2016). *İnsansız hava aracı fotogrametrisi uygulaması ile inşaat projesi imalat durumunun araştırılması*. Fen Bilimleri Enstitüsü,
- Gohil, B. N., & Patel, D. R. (2022). Load balancing in cloud using improved gray wolf optimizer. *Concurrency and Computation: Practice and Experience*, e6888.
- Gong, Z.-W. (2008). Least-square method to priority of the fuzzy preference relations with incomplete information. *International Journal of Approximate Reasoning*, 47(2), 258-264.
- Grafarend, E. W. (2020). What is a geoid? In *Geoid and its geophysical interpretations* (pp. 3-32): CRC Press.

- Grebenitcharsky, R. S., Vergos, G. S., Al-Shahrani, S., Al-Qahtani, A., Iuri, G., Othman, A., & Aljebreen, S. (2023). Hybrid Geoid Modeling for the Kingdom of Saudi Arabia. In: Springer.
- Grum, M., & Bors, A. G. (2008). *Multiple image disparity correction for 3-D scene representation*. Paper presented at the 2008 15th IEEE International Conference on Image Processing.
- Guo, Y., Wang, H., Hu, Q., Liu, H., Liu, L., & Bennamoun, M. (2020). Deep learning for 3d point clouds: A survey. *IEEE transactions on pattern analysis and machine intelligence*, 43(12), 4338-4364.
- Gupta, A., & Padhy, P. (2016). Modified Firefly Algorithm based controller design for integrating and unstable delay processes. *Engineering Science and Technology, an International Journal*, 19(1), 548-558.
- Gümüş, K., & Erkaya, H. (2007). Mühendislik Uygulamalarında Kullanılan Yersel Lazer Tarayıcı Sistemler. *YTÜ Jeodezi ve Fotogrametri Müh. Bölümü, Ölçme Tekniği Anabilim Dalı, İstanbul*.
- Günen, M. A. (2022). Nokta Bulutu Verisi Kullanılarak Elma Bahçesinden Meyve Tespiti. *El-Cezeri*, 9(1), 253-265.
- Gürses, H. B. (2011). *Şeritvari projelerde ortometrik yükseklik hesabı için bir yaklaşım*. (Yüksek Lisans Tezi). Fen Bilimleri Enstitüsü,
- Güven, A. F., & Yörükeren, N. (2022). Bir Hibrit Enerji Sisteminin Parçacık Sürüş Optimizasyon Algoritmaları-Genetik Algoritmalar ve Gri Kurt Optimizasyon Algoritmaları Tekniği ile Enerji Yönetimi ve Optimizasyonu: Yalova Üniversitesi için bir vaka çalışması. *Karadeniz Fen Bilimleri Dergisi*, 12(2), 853-879.
- Han, X.-F., Jin, J. S., Wang, M.-J., Jiang, W., Gao, L., & Xiao, L. (2017). A review of algorithms for filtering the 3D point cloud. *Signal Processing: Image Communication*, 57, 103-112.
- Hariz, F., Souifi, H., Leblanc, R., Bouslimani, Y., Ghribi, M., Langin, E., & McCarthy, D. (2021). *Direct georeferencing 3d points cloud map based on slam and robot operating system*. Paper presented at the 2021 IEEE International Symposium on Robotic and Sensors Environments (ROSE).
- Hart L., B. D. D., Oba T. (2021). Assessment of Adjustments Methods in Traverse Networks for Positioning. *Nigerian Journal of Environmental Sciences and Technology (NIJEST)*, 5, 354-364. doi:10.36263/nijest.2021.02.0283
- Hasanien, H. M. (2015). Shuffled frog leaping algorithm for photovoltaic model identification. *IEEE Transactions on Sustainable Energy*, 6(2), 509-515.
- Heikkinen, M. (1981). Solving the shape of the Earth by using digital density models.
- Heiskanen, W., & Moritz, H. (1984). *Fiziksel jeodezi*: Karadeniz Üniversitesi.
- Heiskanen, W. A. (1967). Physical geodesy. *Determination of the Geoid from Ground Anomalies*, 8, 325-330.
- Hillier, F. S. (1967). Introduction to operations research.
- Huang, Q., & Song, W. (2019). A land-use spatial optimum allocation model coupling a multi-agent system with the shuffled frog leaping algorithm. *Computers, Environment and Urban Systems*, 77, 101360.
- Huang, W., & Xu, J. (2023). Particle Swarm Optimization. In *Optimized Engineering Vibration Isolation, Absorption and Control* (pp. 15-24): Springer.

- Huang, X., Mei, G., Zhang, J., & Abbas, R. (2021). A comprehensive survey on point cloud registration. *arXiv preprint arXiv:2103.02690*.
- Jalal, S. J., Musa, T. A., Din, A. H. M., Aris, W. A. W., Shen, W., & Pa'suya, M. F. (2019). Influencing factors on the accuracy of local geoid model. *Geodesy and geodynamics*, 10(6), 439-445.
- Jalal, S. J., Musa, T. A., Din, A. H. M., Wan Aris, W. A., & Pa'suya, M. F. (2022). Improving the Accuracy of Local Gravimetric Geoid Modelling Using Simulated Terrestrial Gravity Data. *Pure and Applied Geophysics*, 179(8), 2869-2887.
- Jang, W.-S., & Ho, Y.-S. (2010). 3-D object reconstruction from multiple 2-D images. *3D Research*, 1(2), 1-5.
- Jiang, J. (2022). Modeling And Manufacturing Of Freeform Curved Surface Based On Five-coordinate Numerical Control. *Journal of Applied Science and Engineering*, 26(5), 605-611.
- Johnson, M. L., & Faunt, L. M. (1992). [1] parameter estimation by least-squares methods. In *Methods in enzymology* (Vol. 210, pp. 1-37): Elsevier.
- Kabadayı, A., & Erdoğan, A. (2023). İHA Fotogrametrisi Kullanarak Yozgat Çilekçi Türbesi'nin 3 Boyutlu Nokta Bulutu ve Modelinin Üretilmesi. *Türkiye Fotogrametri Dergisi*, 5(1), 29-35.
- Kahveci, M., & Nazlı, C. (2017). İnsansız hava araçları: tarihçesi, tanımı, dünyada ve türkiye'deki yasal durumu. *Selçuk Üniversitesi Mühendislik, Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 5(4), 511-535.
- Kahveci, M., Tuşat, E., Yıldız, F., Fatih, S., & Mikailsoy, F. (2018). Determination of local quasi-geoid in central anatolia for engineering and gis purposes. *Selçuk Üniversitesi Mühendislik, Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 6, 832-838.
- Kanun, E., Metin, A., & Yakar, M. (2021). Yersel Lazer Tarama Tekniği Kullanarak Ağzıkara Han'ın 3 Boyutlu Nokta Bulutunun Elde Edilmesi. *Türkiye Lidar Dergisi*, 3(2), 58-64.
- Karaarslan, E., & Zengin, K. (2016). Ateş böceği algoritması ile haftalık ders programı hazırlama. *EEB 2016 Elektrik-Elektronik ve Bilgisayar Sempozyumu*, 11-13.
- Karaboga, D., & Basturk, B. (2008). On the performance of artificial bee colony (ABC) algorithm. *Applied soft computing*, 8(1), 687-697.
- Karaboğa, D. (2014). *Yapay zeka optimizasyon algoritmaları*: Nobel Akademi Yayıncılık.
- Karakoyun, M. (2021). *Çok amaçlı optimizasyon problemlerinin çözümü için Kurbağa Sıçrama ve Gri Kurt Optimizasyonu algoritmaları tabanlı hibrit bir yöntemin geliştirilmesi*. (Doktora). Konya Teknik Üniversitesi,
- Karakoyun, M., & Babalik, A. (2015). *Data clustering with shuffled leaping frog algorithm (SFLA) for classification*. Paper presented at the International Conference on Intelligent Computing, Electronics Systems and Information Technology (ICESIT 2015).
- Karakoyun, M., Ozkis, A., & Kodaz, H. (2020). A new algorithm based on gray wolf optimizer and shuffled frog leaping algorithm to solve the multi-objective optimization problems. *Applied soft computing*, 96, 106560.
- Kaveh, A., & Yousefpoor, H. (2022). Chaotically Enhanced Meta-Heuristic Algorithms for Optimal Design of Truss Structures with Frequency Constraints. *Periodica Polytechnica Civil Engineering*.
- Kaya, Y., & Polat, N. (2023). Nokta Bulutu Verisinden Bina Cephelerine Ait Düzlemlerin RANSAC ile Segmentasyonu. *Türkiye Lidar Dergisi*, 5(1), 38-44.

- Kenduiywo, B. K., Odera, P. A., & Waithaka, E. (2013). *Orthometric height determination using GPS to fast track development: A case study of Nairobi County, Kenya*. Paper presented at the Proceedings of Global Geospatial Conference, Addis Ababa, Ethiopia.
- Kennedy, J., & Eberhart, R. (1995). *Particle swarm optimization*. Paper presented at the Proceedings of ICNN'95-international conference on neural networks.
- Kirici, U., & Şişman, Y. (2015). The determination of the best fitting geoid: A case study of Samsun. *FIG Working Week, Bulgaria, Sofia*.
- Koc, H., Koc, T., & Dünder, E. (2019). Parçacık Sürü Optimizasyonu Yöntemi ile Sayım Modelleri için En Uygun Değişken Kümesinin Belirlenmesi. *Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 23, 76-83.
- Koc, I., Baykan, O. K., & Babaoglu, I. (2018). Gri kurt optimizasyon algoritmasına dayanan çok seviyeli imge eşik seçimi. *Politeknik Dergisi*, 21(4), 841-847.
- Kolae, M. H., Jabbarzadeh, A., & Al-e, S. M. J. M. (2024). Sustainable group tourist trip planning: An adaptive large neighborhood search algorithm. *Expert Systems with Applications*, 237, 121375.
- Konakoglu, B. (2020). Çok Katmanlı Algılayıcı Yapay Sinir Ağı ile Jeodezik Elipsoidale Koordinatların (ϕ , λ , h) 3 Boyutlu Global Kartezyen Koordinatlara (X, Y, Z) Dönüşümü. *Gümüşhane Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 10(3), 702-710.
- Konakoğlu, B. (2014). *Jeodezik Dönüşümlerin İncelenmesi Ve Yazılımlarının Geliştirilmesi*. Yüksek Lisans Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü ...
- Kuhn, M. (2003). Geoid determination with density hypotheses from isostatic models and geological information. *Journal of geodesy*, 77, 50-65.
- Kumar, A., Pant, S., & Ram, M. (2017). System reliability optimization using gray wolf optimizer algorithm. *Quality and Reliability Engineering International*, 33(7), 1327-1335.
- Lazinica, A. (2009). *Particle swarm optimization: BoD—Books on Demand*.
- Le Goïc, G., Brown, C., Favreliere, H., Samper, S., & Formosa, F. (2012). Outlier filtering: a new method for improving the quality of surface measurements. *Measurement Science and Technology*, 24(1), 015001.
- Leberl, F., Irschara, A., Pock, T., Meixner, P., Gruber, M., Scholz, S., & Wiechert, A. (2010). Point clouds. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, 76(10), 1123-1134.
- Lei, D., & Wang, T. (2020). Solving distributed two-stage hybrid flowshop scheduling using a shuffled frog-leaping algorithm with memplex grouping. *Engineering optimization*, 52(9), 1461-1474.
- Lemmens, M., & Lemmens, M. (2011). Terrestrial laser scanning. *Geo-information: technologies, applications and the environment*, 101-121.
- Lestari, R., Bramanto, B., Prijatna, K., Pahlevi, A. M., Putra, W., Muntaha, R. I. S., & Ladivanov, F. (2023). Local geoid modeling in the central part of Java, Indonesia, using terrestrial-based gravity observations. *Geodesy and geodynamics*, 14(3), 231-243.
- Li, C. (2011). *Particle swarm optimization in stationary and dynamic environments*. University of Leicester,
- Li, X., Coyle, D., Maguire, L., & McGinnity, T. M. (2013). A least trimmed square regression method for second level fMRI effective connectivity analysis. *Neuroinformatics*, 11(1), 105-118.

- Li, X., & Götze, H.-J. (2001). Ellipsoid, geoid, gravity, geodesy, and geophysics. *Geophysics*, 66(6), 1660-1668.
- Li, Y., Lin, X., & Liu, J. (2021). An improved gray wolf optimization algorithm to solve engineering problems. *Sustainability*, 13(6), 3208.
- Liu, J., Lin, R., Xu, S., Wang, Y., Che, X., & Chen, J. (2021). *Landslide susceptibility evaluation based on optimized support vector machine*. Paper presented at the Proceedings of the ICA.
- Liu, Y., Heidari, A. A., Cai, Z., Liang, G., Chen, H., Pan, Z., . . . Bourouis, S. (2022). Simulated annealing-based dynamic step shuffled frog leaping algorithm: Optimal performance design and feature selection. *Neurocomputing*, 503, 325-362.
- Louazani, M., Khouya, A., Amechnoue, K., Gandelli, A., Mussetta, M., & Crăciunescu, A. (2018). Metaheuristic algorithm for photovoltaic parameters: Comparative study and prediction with a firefly algorithm. *Applied Sciences*, 8(3), 339.
- Maarroof, B. B., Rashid, T. A., Abdulla, J. M., Hassan, B. A., Alsadoon, A., Mohamadi, M., & Mirjalili, S. (2022). Current studies and applications of shuffled frog leaping algorithm: a review. *Archives of Computational Methods in Engineering*, 2(1), 1-16.
- Maniezzo, V., Gambardella, L. M., & Luigi, F. d. (2004). Ant colony optimization. In *New optimization techniques in engineering* (pp. 101-121): Springer.
- Medjahed, S. A., Saadi, T. A., Benyettou, A., & Ouali, M. (2016). Gray wolf optimizer for hyperspectral band selection. *Applied soft computing*, 40, 178-186.
- Memarian Sorkhabi, O. (2015). Geoid determination based on log sigmoid function of artificial neural networks:(a case study: Iran). *Journal of Artificial Intelligence in Electrical Engineering*, 3(12), 18-24.
- Menke, W. (2015). Review of the generalized least squares method. *Surveys in Geophysics*, 36, 1-25.
- Merry, C. L., & Vanicek, P. (1974). A method for astro-gravimetric geoid determination.
- Merve, O., & Çakır, L. (2023). GNSS/Nivelman Verisiyle Yerel Jeoidin Modellenmesinde Polinomlarla Enterpolasyon ve En Küçük Kareler Destek Vektör Makineleri Yöntemlerinin Karşılaştırılması. *Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 23(2), 395-401.
- Mirjalili, S. (2015). How effective is the Grey Wolf optimizer in training multi-layer perceptrons. *Applied Intelligence*, 43, 150-161.
- Mirjalili, S., Mirjalili, S. M., & Lewis, A. (2014). Grey wolf optimizer. *Advances in Engineering Software*, 69, 46-61.
- Mora-Melia, D., Iglesias-Rey, P. L., Martínez-Solano, F. J., & Muñoz-Velasco, P. (2016). The efficiency of setting parameters in a modified shuffled frog leaping algorithm applied to optimizing water distribution networks. *Water*, 8(5), 182.
- Morell, V., Orts, S., Cazorla, M., & Garcia-Rodriguez, J. (2014). Geometric 3D point cloud compression. *Pattern Recognition Letters*, 50, 55-62.
- Mörner, N.-A. (1976). Eustasy and geoid changes. *The Journal of Geology*, 84(2), 123-151.
- Neumann, F., & Witt, C. (2010). Combinatorial optimization and computational complexity. In *Bioinspired computation in combinatorial optimization* (pp. 9-19): Springer.
- Newcome, L. R. (2004). *Unmanned aviation: a brief history of unmanned aerial vehicles*: Aiaa.
- Newhall, B. (1969). Airborne camera: The world from the air and outer space. (No Title).

- Nguyen, A., & Le, B. (2013). *3D point cloud segmentation: A survey*. Paper presented at the 2013 6th IEEE conference on robotics, automation and mechatronics (RAM).
- Nocerino, E., Menna, F., Remondino, F., & Saleri, R. (2013). Accuracy and block deformation analysis in automatic UAV and terrestrial photogrammetry-Lesson learnt. *ISPRS Annals of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 2(5/W1), 203-208.
- Novák, P. (2003). Geoid determination using one-step integration. *Journal of geodesy*, 77, 193-206.
- Novák, P., Vaníček, P., Véronneau, M., Holmes, S., & Featherstone, W. (2001). On the accuracy of modified Stokes's integration in high-frequency gravimetric geoid determination. *Journal of geodesy*, 74, 644-654.
- Oduyebo, O., Ono, M., & Eteje, S. (2022). Fitting of a Transformation Geoid Model to the Gravimetric-Geometric Geoid Model of Benin City. *FUDMA Journal of Sciences (FJS)*, 5(4), 56-62.
- Okiemute, E. S., Oduyebo, O. F., & Oluyori, P. D. (2019). Relationship between Polynomial Geometric Surfaces Terms and Observation Points Numbers and Effect in the Accuracy of Geometric Geoid Models. *International Journal of Environment, Agriculture and Biotechnology (IJEAB)*, 4(4), 1181-1181.
- Oliveira, A. A. A. d., & Centeno, J. A. S. (2011). Model plane surfaces with a 3D data obtained with range image. *Boletim de Ciências Geodésicas*, 17, 361-378.
- Oluyori, P. D., & Okiemute, E. S. (2020). Improving the Local Geometric Geoid Model of FCT Abuja Accuracy by Fitting a Higher Order/degree Polynomial Surface. *Journal of Sciences (FJS)*, 4(3), 114-120.
- Omang, O., & Forsberg, R. (2000). How to handle topography in practical geoid determination: three examples. *Journal of geodesy*, 74, 458-466.
- Onay, F. K. (2023). Öznitelik seçimi problemleri için ikili beyaz köpekbalığı optimizasyon algoritması. *Gümüşhane Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 13(2), 281-298.
- Ortakçı, Y., & Göloğlu, C. (2012). Parçacık sürü optimizasyonu ile küme sayısının belirlenmesi. In: ss.
- Ölüç, M. A. (2013). *Kurbağa Sıçrama Algoritması ve Gezgin Satıcı Problemine Uygulanması*. (Yüksek Lisans Tezi). İstanbul Üniversitesi,
- Özbek, N. S. (2010). *İnsansız hava araçlarında farklı kontrol tekniklerinin performans karşılaştırması*. (Yüksek Lisans Tezi). TOBB Ekonomi ve Teknoloji Üniversitesi,
- Özçelik, T. Ö., & Gündüz, G. (2019). Sezgisel Algoritmaları Kullanarak Raf Optimizasyonu Çalışması ve Bir Yazılım Uygulaması. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*(16), 977-982.
- Özsağlam, M. Y., & Çunkaş, M. (2008). Optimizasyon problemlerinin çözümü için parçacık sürü optimizasyonu algoritması. *Politeknik Dergisi*, 11(4), 299-305.
- Özyalın, Ş. (2022). Parçacık Sürü Optimizasyonu ile Depremin Dış Merkezinin belirlenmesi: Ayvacık Depremi Örneği. *Türk Deprem Araştırma Dergisi*, 4(1), 1-25.
- Pan, Q.-K., Wang, L., Gao, L., & Li, J. (2011). An effective shuffled frog-leaping algorithm for lot-streaming flow shop scheduling problem. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 52, 699-713.
- Pattnaik, S. K., Panda, S., & Mishra, D. (2021). A multi-objective approach for local path planning of autonomous mobile robot based on metaheuristics. *Concurrency and Computation: Practice and Experience*, e6801.

- Piotrowski, A. P., Napierkowski, J. J., & Piotrowska, A. E. (2023). Particle swarm optimization or differential evolution—A comparison. *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, 121, 106008.
- Qi, X., Zhu, S., & Zhang, H. (2017). *A hybrid firefly algorithm*. Paper presented at the 2017 IEEE 2nd Advanced Information Technology, Electronic and Automation Control Conference (IAEAC).
- Rapp, R. H. (1974). The geoid: Definition and determination. *Eos, Transactions American Geophysical Union*, 55(3), 118-126.
- Richter, R., & Döllner, J. (2014). Concepts and techniques for integration, analysis and visualization of massive 3D point clouds. *Computers, Environment and Urban Systems*, 45, 114-124.
- Rusu, R. B., & Cousins, S. (2011). *3d is here: Point cloud library (pcl)*. Paper presented at the 2011 IEEE international conference on robotics and automation.
- Samtaş, G., & Gülesin, M. (2012). Sayısal Görüntülerden Üç Boyutlu Nokta Bulutlarının Elde Edilmesi. *Uluslararası Teknolojik Bilimler Dergisi*, 4(2), 1-16.
- Sansò, F., & Sideris, M. G. (2013). *Geoid determination: theory and methods*: Springer Science & Business Media.
- Sansò, F., & Vaníček, P. (2006). The orthometric height and the holonomy problem. *Journal of geodesy*, 80, 225-232.
- Saremi, S., Mirjalili, S., & Lewis, A. (2017). Grasshopper optimisation algorithm: theory and application. *Advances in Engineering Software*, 105, 30-47.
- Schnabel, R., Wessel, R., Wahl, R., & Klein, R. (2008). *Shape recognition in 3d point-clouds*. Paper presented at the The 16-th International Conference in Central Europe on Computer Graphics, , Czech Republic.
- Sevilla, M. (1995). A new gravimetric geoid in the Iberian Peninsula. *Bureau Gra*.
- Shafapourtehrany, M., Rezaie, F., Jun, C., Heggy, E., Bateni, S. M., Panahi, M., . . . Moeini, H. (2023). Mapping Post-Earthquake Landslide Susceptibility Using U-Net, VGG-16, VGG-19, and Metaheuristic Algorithms. *Remote Sensing*, 15(18), 4501.
- Sideris, M. G. (2012). Geoid determination by FFT techniques. In *Geoid Determination: Theory and Methods* (pp. 453-516): Springer.
- Sideris, M. G. (2013). Geoid determination by FFT techniques. In *Geoid Determination* (pp. 453-516): Springer.
- Sideris, M. G. (2020a). Geoid Determination, Computational Methods. In *Encyclopedia of Solid Earth Geophysics* (pp. 1-7): Springer.
- Sideris, M. G. (2020b). Regional geoid determination. In *Geoid and its geophysical interpretations* (pp. 77-94): CRC Press.
- Singh, V. P. (2015). *Trigonometric Mutated Shuffled Frog-Leaping Algorithm*.
- Soycan, A., Yilmaz, Y., & Soycan, M. (2023). Evaluation of several geoid models for GNSS height transformation in Türkiye. *Sigma*, 41(1), 130-144.
- Soycan, M., & Soycan, A. (2003). Surface modeling for GPS-leveling geoid determination. *Newton's Bulletin*, 1, 41-52.
- Stilla, U., & Xu, Y. (2023). Change detection of urban objects using 3D point clouds: A review. *ISPRS Journal of photogrammetry and remote sensing*, 197, 228-255.
- Stokes, G. G. (1849). On the variation of gravity on the surface of the Earth. *Trans. Cambridge Phil. Soc.*, 8, 672-695.

- Şahin, Y., & Eroğlu, A. (2014). Kapasite Kısıtlı Araç Rotalama Problemi için Metasezgisel Yöntemler: Bilimsel Yazın Taraması. *Suleyman Demirel University Journal of Faculty of Economics & Administrative Sciences*, 19(4).
- Şenel, F. A., Yüksel, A. S., Gökçe, F., & Yiğit, T. (2018). Gri kurt optimizasyon algoritması ile iki boyutlu dizilim yazılımının geliştirilmesi. *Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 20(2), 293-306.
- Şenol, H. İ., Yiğit, A. Y., Yunus, K., & Ali, U. (2021). İHA ve yersel fotogrametrik veri füzyonu ile kültürel mirasın 3 boyutlu (3B) modelleme uygulaması: Kanlıdivane Örneği. *Türkiye Fotogrametri Dergisi*, 3(1), 29-36.
- Şişman, Y., & Dilaver, A. (2005). Datum dönüşümünde kalite kontrol. *TMMOB Harita ve Kadastro Mühendisleri Odası*, 10.
- Şişman, Y., & Elevli, B. (2018). En Küçük Kareler Kollokasyon ve Kriging Yöntemleri ile Lokal Jeoid Belirleme. *Karadeniz Fen Bilimleri Dergisi*, 8(2), 106-118.
- Şişman, Y. (2010). Outlier measurement analysis with the robust estimation. *Scientific Research and Essays*, 5(7), 668-678.
- Şişman, Y. (2014). Coordinate transformation of cadastral maps using different adjustment methods. *Journal of the Chinese Institute of Engineers*, 37(7), 869-882.
- Şişman, Y., Banasik, P., & Maciuk, K. (2023). The GNSS-Levelling Local Geoid Determination Using the Conditional Adjustment with Unknown Model. *Geodetski list*, 77(1), 11-27.
- Tanir, E. (2000). Deformasyon analizinde statik değerlendirme yöntemleri.
- Tarantilis, C. D., Ioannou, G., & Prastacos, G. (2005). Advanced vehicle routing algorithms for complex operations management problems. *Journal of Food Engineering*, 70(3), 455-471.
- Tchapmi, L., Choy, C., Armeni, I., Gwak, J., & Savarese, S. (2017). *Segcloud: Semantic segmentation of 3d point clouds*. Paper presented at the International conference on 3D vision (3DV), Qingdao, China, 2017.
- Teke, K., & Yalçınkaya, M. (2021). *Yerel Jeoid Yüzeyinin Belirlenmesinde Kullanılan Enterpolasyon Yöntemleri*. Paper presented at the Türkiye Ulusal Jeodezi Komisyonu (TUJK), Hacettepe Üniversitesi.
- Tomurcuk, İ. F. (2010). Poul Bourke üçgenleme yöntemi ile yersel lazer tarayıcı verilerinde gürültü eliminasyonuna yönelik algoritma geliştirme.
- Toren, M., & Mollahasanoğlu, H. (2023). Gri Kurt optimizasyon algoritması ile güç ve dağıtım türü transformatörlerin ağırlık optimizasyonu. *Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 12(1), 96-103.
- Třasák, P., & Štroner, M. (2014). Outlier detection efficiency in the high precision geodetic network adjustment. *Acta Geodaetica et Geophysica*, 49(2), 161-175.
- Tscherning, C. C. (2012). Geoid determination by 3D least-squares collocation. In *Geoid determination: Theory and methods* (pp. 311-336): Springer.
- Turen, Y. (2010). *Astrojeodezik Nivelman ile Yerel Jeoid Belirleme: Konya Örneği*. (Yüksek Lisans). Selçuk Üniversitesi,
- Türk, G., & Ambrozic, T. (2001). The use of artificial neural network in geoid surface approximation. *AVN. Allgemeine Vermessungs-Nachrichten*, 22-27.
- Turoğlu, H. (2016). Coğrafi Bilgi Sistemlerinin Temel Esaslar. *İstanbul: Çantay Yayınları*.

- Udama, Z. A., Claessens, S., Anjasmara, I. M., & Syafarianty, A. N. (2023). Analysis of different combinations of gravity data types in gravimetric geoid determination over Bali. *Journal of Applied Geodesy*(0), 0042.
- Ulvi, A., Yakar, M., Yiğit, A. Y., & Kaya, Y. (2020). İHA ve yersel fotogrametrik teknikler kullanarak Aksaray Kızıl Kilise'nin 3 Boyutlu nokta bulutu ve modelinin üretilmesi. *Geomatik Dergisi*, 5(1), 22-30.
- Van Breedam, A. (2001). Comparing descent heuristics and metaheuristics for the vehicle routing problem. *Computers & Operations Research*, 28(4), 289-315.
- Vanicek, P., & Wells, D. (1972). The least squares approximation. *Department of Geodesy and Geomatics Engineering University of New Brunswick, Canada*.
- Wang, D., Tan, D., & Liu, L. (2018). Particle swarm optimization algorithm: an overview. *Soft computing*, 22(2), 387-408.
- Wang, G.-G., Deb, S., & Cui, Z. (2019). Monarch butterfly optimization. *Neural computing and applications*, 31, 1995-2014.
- Wang, X., Huang, X., Bian, F., & Sun, J. (2007). 3D triangulation of terrestrial laser scanning data based on spherical projection. Paper presented at the Geoinformatics 2007: Cartographic Theory and Models.
- Wang, Y. (1992). A rigorous photogrammetric adjustment algorithm based on co-angularity condition. *International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing*, 29(B5), 195-202.
- Warchoń, A., Karaś, T., & Antoń, M. (2023). Selected Qualitative Aspects of Lidar Point Clouds: Geoslam Zeb-Revo and Faro Focus 3D X130. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 48, 205-212.
- Weingarten, J. W., Gruener, G., & Siegwart, R. (2004). *Probabilistic plane fitting in 3D and an application to robotic mapping*. Paper presented at the IEEE International Conference on Robotics and Automation, 2004. Proceedings. ICRA'04. 2004.
- Wichiencharoen, C. (1982). *The indirect effects on the computation of geoid undulations*. Retrieved from
- Winston, P. H. (1984). *Artificial intelligence*: Addison-Wesley Longman Publishing Co., Inc.
- Wolf, R., & Dewitt, A. (2000). Elements of Photogrammetry with Application in GIS, 3rd editrion. *The university of Wisconsin, Madison*.
- Woo, H., Kang, E., Wang, S., & Lee, K. H. (2002). A new segmentation method for point cloud data. *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, 42(2), 167-178.
- Xue, B., Zhang, M., & Browne, W. N. (2012). Particle swarm optimization for feature selection in classification: A multi-objective approach. *IEEE transactions on cybernetics*, 43(6), 1656-1671.
- Yanar, R. (1999). *Jeodezik yükseklik sistemleri üzerine bir araştırma*. (Doktora Tezi). Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul.
- Yang, X.-S., & Slowik, A. (2020). Firefly algorithm. In *Swarm intelligence algorithms* (pp. 163-174): CRC Press.
- Yang, X. S. (2010a). Firefly algorithm, stochastic test functions and design optimisation. *International Journal of Bio-inspired computation*, 2(2), 78-84.
- Yang, X. S. (2010b). *Nature-inspired metaheuristic algorithms*: Luniver press.
- Yang, X. S. (2011). Metaheuristic optimization. *Scholarpedia*, 6(8), 11472.

- Yang, X. S., & He, X. (2013a). Bat algorithm: literature review and applications. *International Journal of Bio-inspired computation*, 5(3), 141-149.
- Yang, X. S., & He, X. (2013b). Firefly algorithm: recent advances and applications. *International journal of swarm intelligence*, 1(1), 36-50.
- Yang, Y., Ni, W., Sun, Q., Wen, H., & Teng, Z. (2013). Improved Cole parameter extraction based on the least absolute deviation method. *Physiological measurement*, 34(10), 1239.
- Yaprak, S. (2007). *Kriging yönteminin geoit yüzeyi modellemesinde kullanılabilirliğinin araştırılması ve varolan yöntemlerle karşılaştırılması*. (Doktora Tezi). İstanbul Teknik Üniversitesi,
- Yaşar, M. İ. (2018). *Türkiye Ölçeğinde İnsansız Hava Araçları İçin Mekansal Bilgi Sisteminin Tasarlanması*. (Yüksek Lisans Tezi). Gebze Teknik Üniversitesi,
- Yetkin, M. (2016). Metasezgisel algoritmaların Jeodezi’de kullanımı. *Geomatik*, 1(1), 8-13.
- Yigit, C. O. (2003). *Elipsoidal Yüksekliklerin Ortometrik Yüksekliğe Dönüşümünde Enterpolasyon Yöntemlerinin Kullanılabilirliği*. (Yüksek Lisans). Selçuk Üniversitesi,
- Yılmaz, H. M., Karabörk, H., & Yakar, M. (2000). Yersel Fotogrametrinin Kullanım Alanları.
- Yılmaz, M. (2013). Bulanık Mantık ile Hesaplanan Geoid Yüksekliğine Nokta Yüksekliklerinin Etkisi. *Harita Teknolojileri Elektronik Dergisi*, 5(1), 61-67.
- Yılmaz, M., & Erdem, N. (2019). Bulanık Mantık İlkelerine göre Local Geoid Hesabı; Tekirdağ Örneği. *GSI Journals Serie C: Advancements in Information Sciences and Technologies*, 2(1), 48-60.
- Yüksek, B. (2013). Modelling and Control of a Fixed Wing Unmanned Aerial Vehicle.
- Zegaoui, Y., Chaumont, M., Subsol, G., Borianne, P., & Derras, M. (2019). *Urban object classification with 3D Deep-Learning*. Paper presented at the 2019 Joint Urban Remote Sensing Event (JURSE).
- Zervoudakis, K., & Tsafarakis, S. (2020). A mayfly optimization algorithm. *Computers & Industrial Engineering*, 145, 106559.
- Zhao, R., Pang, M., & Wang, J. (2018). Classifying airborne LiDAR point clouds via deep features learned by a multi-scale convolutional neural network. *International journal of geographical information science*, 32(5), 960-979.
- Zhou, Z.-H. (2021). *Machine learning*: Springer Nature.

EKLER

EK1: EKK yöntemi ile uyşumsuz noktaların bulunması Matlab kodları

```
clc;
clear all;
close all;
format longG

veri=xlsread('veri.xlsx');

a=1;
sira=1;
uyşumsuz_koordinatlar=[];
while a<2
    NN=veri(:,1);
    Y=veri(:,2);
    X=veri(:,3);
    N=veri(:,4);
    n=max(size(veri));
    XX=... (n,1);

    for i=1:n;
        XX(i,1)=X(i,1)*X(i,1);
    end
    YY=zeros(n,1);
    for i=1:n;
        YY(i,1)=Y(i,1)*Y(i,1);
    end
    XY=zeros(n,1);
    for i=1:n;
        XY(i,1)=X(i,1)*Y(i,1);
    end
    ...
    ...
    A_LS=[ones(...(Y)) X Y XX XY YY ...];
    l_LS=N;
    x=(A_LS'*A_LS)\A_LS'*l_LS;

    V=A_LS*x-l_LS;

    Q_LS=...;

    m0=(Q_LS/(length(Y)-length(x)))^(1/2);

    % UYUŞUMSUZ ÖLÇÜ ANALİZİ
    ...
    Qvv=...;

    for i=1:length(V);
        mv(i,1)=abs(V(i,1))/(m0*sqrt(Qvv(i,i)));
    end

    ...=max(mv);

    test=tinv(1-0.01/2,length(V)-...);
```

```

if max_deger>test;
    fprintf(' uyusumsuz ölçü var ' ) ;
    fprintf(' uyusumsuz ölçü %3d  \n',max_yer);
    ...
    sir=sira+1;
    uyusumsuz_koordinatlar=[uyusumsuz_koordinatlar; veri(max_yer,:)];
    veri(...,:)=[];
    clear mv
else
    disp('uyusumsuz yok' )
    ...;

end

end

uyusumsuz_olculer=sort(uyusumsuz_koordinatlar(:,1));

```

EK2: KSA yöntemi ile uyşumsuz noktaların bulunması Matlab kodları

```
clear all;
clc;
%uygunluk değerlerine göre sıralanacak

uyusumsuz_koordinatlar1=[];
uyusumsuz_koordinatlar2=[];
veri=xlsread('veri_ksa.xlsx');
a=1
while a<2
NN=veri(:,1);
Y=veri(:,2);
X=veri(:,3);
N=veri(:,4);
n=max(size(veri));
S=zeros(n,1);

%Uygunluk değeri hesabı
for i=1:n

    S(i)=N(i);

end

...
F=... (K,-5)

%A ve B iki mempleks.
A=zeros((n)/2,5);
for i=1:(n/2)
    ...
end
B=zeros((n)/2,5);
for i=1:(n/2)
    ...
End

%Alt mempleks seçilme olasılıklarının hesaplanması
m=max(size(A));
...
    A(i,6)=(2*(m+1-i))/(...);
end
A
...
    B(i,6)=(...)/(t*(t+1));
end
B
A(m,6)=...
B(t,6)=...
s=0
while A(m,6)>A(m-1,6)
    ...
end
k=0
while B(t,6)>B(t-1,6)
    B=sortrows(B,-6);
    B(t,6)=rand(1)*(B(1,6)-B(t,6))+B(t,6);
    k=k+1
end
```

```

... (A(m,1))
... (A(m,4))
... (B(t,1))
... (B(t,4))
uyusumsuz_koordinatlar1=[uyusumsuz_koordinatlar1; ...];
uyusumsuz_koordinatlar2=[uyusumsuz_koordinatlar2; ...];
A(m,:)=[];
B(t,:)=[];
A(:,6)=[];
B(:,6)=[];
A(:,5)=[];
B(:,5)=[];
veri=[A;B];
%veri=sortrows(veri,1);
end

```



EK3: AA ile uyumsuz ölçülerin belirlenmesinde Matlab kodları

```
clear all;
clc;

veri=xlsread('veri.xlsx');

NN=veri(:,1);
Y=veri(:,2);
X=veri(:,3);
N=veri(:,4);
n=max(size(veri));
R=zeros(n,1);

%ateşböcekleriarasındakiuzaklık
for i=1:n
    R(i,1)=N(i);
end

for i=1:n
...
for i=1:n
    ..;
end

B=zeros(n,1);
for i=1:n
    B(i)=...^(rand()*R(i)^2)
end

...

    % Her ateşböceği diğerlerine göre güncelle
    ...
    ...

end

    % Yeni konumu sınırlar içinde tut
    ZZ(i) = max(Z), min(Z));

    ...

    for i=1:n
        I(i)=1/R(i)^2;
    end

    for i=1:n
        B(i)=I(i)*...(1)^(...)
    end

    % Yeni pozisyonlarda daha iyi ışık yoğunluğuna sahip olan
    ateşböceğini bul

    AA=sortrows(B)

end
```

EK4: PSO ile uyuşumsuz noktaların bulunmasında Matlab kodları

```
clear all;
clc;

format long

veri=xlsread('veri.xlsx');
NN=veri(:,1);
Y=veri(:,2);
X=veri(:,3);
N=veri(:,4);
n=max(size(veri));
S=zeros(n,1);

...
    % Başlangıçta rastgele konum ve hız atama
    % Her parçacığın x ve y konumu

    V=ones(n,4);
    for i=1:n
        V(i,1)=F(i,1);
    end
    P=ones(n,4);
    for i=1:n
        ...
    end
    % Parçacıkların en iyi konum ve uygunluk değerleri
    for i=1:n

        S(i,1)=N(i);

    end
    K=[veri S]
    F=sortrows(K,-5)

    % Global en iyi konum ve uygunluk değeri
    [...] = min(pbest_fitness);
    gbest = pbest_positions(..., :);

    % PSO iterasyonları
    for iter = 1:n
        % Parçacıkların güncellenmesi
        for i = 1:
            % Hız güncelleme
            for i=1:n
                V(i,5)=(0.5+rand(1)/2)*V(i,2)+2*rand(1)*(P(i,5)-
                P(i,2))+2*rand(1)*(Gbest-P(i,2));
                V(i,6)=(0.5+rand(1)/2)*V(i,3)+2*rand(1)*(P(i,5)-
                P(i,3))+2*rand(1)*(Gbest-P(i,3));
                V(i,7)=(0.5+rand(1)/2)*V(i,4)+2*rand(1)*(P(i,5)-
                P(i,4))+2*rand(1)*(Gbest-P(i,4));
            end
            % Konum güncelleme
            for i=1:n
                ...
            end
            for ...
                PP(i,5)=(PP(i,2)+PP(i,3)+PP(i,4))/3;
            end
        end
    end
```

```

end

% Parçacıkların uygunluk değerlerinin hesaplanması
fitness_values = fitness(positions);

% Parçacıkların en iyi konumlarının güncellenmesi
...

% Global en iyi konumun güncellenmesi
[...] = min(pbest_fitness);
if min_fitness < gbest_fitness
    gbest_fitness = ...;
    gbest = pbest_positions(min_index, :);
end

end

end

function fit = fitness(positions)
    % Uygunluk fonksiyonu

    for i=1:n
        Gbest(1,3)=...;
    end
    pbest=[P PP(:,5) PPP(:,5)];
    %pbest= NN Y X Z Pbest1 Pest2 Pbest3
    for i=1:n
        pbest(i,8)=abs(pbest(i,7)-pbest(i,6));
    end
    ...=sortrows(pbest,-8)
end

```

EK5: GKO yöntemi ile uyuşumsuz noktaların bulunması Matlab kodları

```
clear;
clc;
% Veriyi Excel dosyasından oku
veri = xlsread('veri.xlsx');

% "Nokta_Numarası", "x", "y", "z" sütunlarını ayır
nn = veri(:, 1);
Y = veri(:, 2);
X = veri(:, 3);
N = veri(:, 4);
n=max(size(veri));

% GWO Parametreleri
population_size = n; % Kurt populasyonu boyutu
...

% Başlangıç populasyonunu veri noktalarıyla oluştur
positions = [nn x, y, z];

% GWO Ana Döngüsü
for ...
    fitness=zeros(n,1);
    for i=1:n
        fitness(i)=z(i);
    end

    % Lider, alfa, beta ve delta kurtları belirle
    % Kurtları uygunluk değerine göre sırala
    [~, sorted_indices] = sort(fitness);
    K=[...]
    F=...(K,abs(5))
    % İlk 4 sütunu al
    FF=F(:, 1:4);
    %FF=zeros(n,4);
    %for i=1:n
        % FF=F[i:4];
    %end
    alpha = FF(1, :); % En iyi kurt
    beta = FF(2, :); % İkinci en iyi kurt
    delta = FF(3, :); % Üçüncü en iyi kurt
    omega = FF(4:end,:); % En iyi üç kurt dışındaki kurtların
    indisleri

    % Kurtların yerlerini güncelle
    a_linear = max(0.1 , 2 - iteration * ((2) / max_iterations)); %
    Düşünme yeteneği parametresini güncelle
    for i = 1:population_size
        r1 = ...
        r2 = ...
        A1 = 2 * a_linear * r1 - a_linear;
        ... = 2 * r2;
        alpha(5:7) = abs(...) - alpha(2:4));
```

```

% Yeni konumu sınırlar içinde tut

alpha(7) = max(alpha(7), min(z));
alpha(7) = min(alpha(7), max(z));

...

% Yeni konumu sınırlar içinde tut
beta(7) = max(beta(7), min(z));
beta(7) = min(beta(7), max(z));

r1 = ...
r2 = ...
A3 = 2 * a_linear * r1 - a_linear;
C3 = ...
delta(5:7) = abs(C3 * delta(2:4) - delta(2:4));

% Yeni konumu sınırlar içinde tut
delta(7) = max(delta(7), min(z));
delta(7) = min(delta(7), max(z));

end

end
for i=1:n
    ...
end
for i=1:n
    omega(i,8)=abs(omega(i,7)-omega(i,4));
end
omega2=... (omega,-8)

```

ÖZ GEÇMİŞ

Ülkü KIRICI YILDIRIM, İlkokul, ortaokul ve lise eğitimini tamamladıktan sonra 2009 yılında üniversiteye başladı. Ondokuz Mayıs Üniversitesi Mühendislik Fakültesi, Harita Mühendisliği bölümünden 09.06.2013 tarihinde mezun oldu. 2013 yılında OMÜ Lisansüstü Eğitim Enstitüsü (LEE) Harita Mühendisliği Ana Bilim Dalı Yüksek Lisans programına girdi. Yüksek Lisans eğitimini tamamladıktan sonra 2017 yılında OMÜ LEE Harita Mühendisliği Ana Bilim Dalı Doktora programına girdi. 30.01.2014 tarihinden itibaren OMÜ Harita Mühendisliği bölümünde Araştırma Görevlisi olarak görev yapmaktadır. Ülkü KIRICI YILDIRIM, iyi derecede İngilizce bilmektedir (18.12.2023).

İletişim Bilgileri

ORCID ID : 0000-0002-3569-4482

Yayınlar:

Makaleler

1. Kirici Yildirim U., Dilmac H., Şişman Y., 2023, The Outlier Detection with Robust Methods: Least Absolute Value and Least Trimmed Square, Advanced Geomatics, cilt.3, sa.1, ss.28-32.
2. Kirici Yildirim U., Günaydin N., Şişman Y., 2022, Koordinat Dönüşüm Parametrelerinin Uygulama Alanı Dışında Uygunluğunun Araştırılması, Journal Of Anatolian Environmental And Animal Sciences, cilt.7, sa.4, ss.523-527.
3. Kirici Yildirim U., Şişman Y., 2019, The Deformation Analysis Using Hypothesis Tests, International Journal Of Engineering And Geosciences , cilt.4, sa.2, ss.88-93.
4. Bektas S., Pakel E., Yildirim R.E., Uyar A., Kirici Yildirim U., Karaahmetoglu N., 2018, Space Resection with Zenith Angles, International Journal Of Research- Granthaalayah, cilt.6, sa.2, ss.331-338.
5. Bektas S., Karaahmetoglu N., Yildirim R., Uyar A., Kirici Yildirim U., Pakel E., 2018, Three Point Resection in 3D with Distances, International Journal Of Research- Granthaalayah, cilt.6, sa.2, ss.292-298.

Bildiriler

1. Kirici Yildirim U., Şişman Y., 2023, Compliance Analysis in Polynomial Surface Determination with ANOVA, The 6th Intercontinental Geoinformation Days, Baku, Azerbaijan.
2. Kirici Yildirim U., Şişman Y., 2022, Using The Particle Swarm Optimization for Geoid Determination, 5th Intercontinental Geoinformation Days, New Delhi, Hindistan.

3. Kirici Yildirim U., Şişman Y., 2022, Using the Firefly Algorithm for Geoid Determination, 4th Intercontinental Geoinformation Days, Tabriz, İran.
4. Kirici Yildirim U., Şişman Y., 2019, Georeferencing in 3D Point Clouds with L1 Norm (Least Absolute Value) Method, Modern Technologies ,Education And Professional Practice in Geodesy And Related Fields, Istanbul, Turkey.
5. Şişman Y., Kirici Yildirim U., 2019, Landslide Monitoring with Fuzzy Logic, a Case Study, International Conference on Civil, Environmental, Geology and Mining Engineering, Trabzon, Turkey.
6. Kirici Yildirim U., Şişman Y., 2019, The Availability Investigation for Regional Transformation Parameters: Samsun Example, International Conference on Civil, Environmental, Geology and Mining Engineering, Trabzon, Turkey.
7. Şişman Y., Kirici Yildirim U., 2018, Kadaastro Paftalarının Polinomsal Dönüşüm Yöntemleri ile Sayısalaştırılması, ITESDES, Giresun, Türkiye.
8. Kirici Yildirim U., Şişman Y., 2018, Coğrafi Bilgi Sistemleri Yaklaşımı ile Bölgesel Dönüşüm Parametrelerinin Belirlenmesi: Giresun Örneği, ITESDES, Giresun, Türkiye.