



ESKİŞEHİR TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

**PETROL DOĞALGAZ ARAMA ÇALIŞMALARINDA ÇOK KRİTERLİ
KARAR VERME VE MAKİNE ÖĞRENMESİ İLE YÖNTEM ARAŞTIRMASI**

Tünay ÖZTÜRK

Doktora Tezi

Uzaktan Algılama ve Coğrafi Bilgi Sistemleri Anabilim Dalı

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Hakan UYGUÇGİL

Eskişehir

Eskişehir Teknik Üniversitesi

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü

Ocak 2022

DANIşMAN ONAYI

Danişmanlığını yürüttüğüm Doktora ğrencisi Tünay ÖZTÜRK, PETROL DOğALGAZ ARAMA çALIşMALARINDA ÇOK KRİTERLİ KARAR VERME VE MAKİNE ğRENMEşİ İLE YÖNTEM ARAşTIRMASI başlıklı tez çalışmasını tamamlamıştır. Hazırlamış olduğu tez tarafımca incelenmiş ve öğrencinin tez savunma sınavına alınması bilimsel ve etik açıdan uygun görülmüştür.

Tez Danişmanı

Dr. Öğr. Üyesi Hakan UYGUÇGİL

ÖZET

PETROL DOĞALGAZ ARAMA ÇALIŞMALARINDA ÇOK KRİTERLİ KARAR VERME VE MAKİNE ÖĞRENMESİ İLE YÖNTEM ARAŞTIRMASI

Tünay ÖZTÜRK

Uzaktan Algılama ve Coğrafi Bilgi Sistemleri Anabilim Dalı

Eskişehir Teknik Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Ocak 2022

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Hakan UYGUÇGİL

Petrol ve doğalgaz aramacılığı zaman, maliyet ve iş gücü açısından birçok kriterin beraber değerlendirilmesi gereken, uzun bir süreçtir. Çalışılacak alanda ruhsat alımı ile başlayan hidrokarbon faaliyetleri jeolojik, jeofizik, sondaj çalışmaları ile devam eder. Eğer söz konusu alanda hidrokarbon keşfi yapılmışsa bu alana ilişkin rezervuar belirleme çalışmaları yapılır. Petrol ve doğalgaz aramalarında hidrokarbon konumunu belirlemek için sismik, gravite ve manyetik tekniklerden faydalanılmaktadır. Bu çalışmada, Ergene Havzasında 27000 km²lik bir alanda hidrokarbon potansiyelli alanların tahmini için, en uygun yer seçimi, enerji politikası belirleme vb. gibi çalışmalarda sıklıkla kullanılan Çok Kriterli Karar Destek Analizlerinden (ÇKKDA) ve makine öğrenmesinden faydalanılmıştır. ÇKKDA'dan yaygın olarak kullanılan Analitik Hiyerarşi Süreci ve Bulanık Mantık Analitik Hiyerarşi Süreci tercih edilmiştir. Makine öğrenmesi yöntemlerinden biri olan Rastlantısal Orman Algoritması da petrol ve doğalgaz konumlarının belirlenmesi için kullanılmıştır. Analizler sonucunda çıkan ağırlıklara göre hidrokarbon potansiyeli bulunması muhtemel alanlar belirlenmiştir. Çalışma alanı için rastgele üretilen noktaların hidrokarbon içerip içermediği tahmin edilmiştir. Tahmin noktaları kullanılarak tahmin haritası üretilmiştir. Her üç yöntemden elde edilen tahmin haritaları kuyu sondaj verileri ile karşılaştırılarak doğruluk analizleri yapılmıştır. Üç yöntemin de hidrokarbon potansiyel tahmini için kullanılabileceği ortaya konmuş olup, Rastlantısal Orman Algoritmasından elde edilen tahmin noktalarının ortalamaları alınarak elde edilen sonuç %78 olup, FAHP %73 ve AHP ise %69'dur.

Anahtar Sözcükler: Coğrafi Bilgi Sistemleri, Analitik Hiyerarşi Süreci, Bulanık Mantık Analitik Hiyerarşi Süreci, Makine Öğrenmesi, Rastlantısal Orman.

ABSTRACT

MULTI-CRITERIA DECISION MAKING AND MACHINE LEARNING METHOD RESEARCH IN PETROLEUM NATURAL GAS EXPLORATIONS

Tünay ÖZTÜRK

Department of Remote Sensing and Geographic Information Systems

Eskişehir Technical University, Institute of Graduate Programs, January 2022

Supervisor: Asst. Prof. Dr. Hakan UYGUÇGİL

Oil and natural gas exploration is a long process in which many criteria should be evaluated together in terms of time, cost and workforce. Hydrocarbon activities start with purchasing a license in the area to be examined, then continue with geological, geophysical and drilling studies. If a hydrocarbon discovery has been made in the area, reservoir determination studies are carried out for this area. In oil and natural gas exploration, such as seismic, gravity and magnetic techniques are used to determine the hydrocarbon location. In this study, for the estimation of hydrocarbon potential areas in an area of 27000 km² in the Ergene Basin, Multiple Criteria Decision Analysis (MCDA) and machine learning were utilized, which are frequently used in studies such as the most appropriate site selection, energy policy determination etc. Analytical Hierarchy Process and Fuzzy Logic Analytical Hierarchy Process are preferred, which is widely used in MCDA. The Random Forest Algorithm, which is one of the machine learning methods, has also been used to predict the locations of oil and natural gas containing areas. It was estimated whether the randomly generated spots for the study area contain hydrocarbons. A forecast map was produced using forecast points. Accuracy analyzes were performed by forecast maps obtained from all three methods matched with drilling data. The result obtained by averaging the prediction points obtained from the Random Forest Algorithm is 78%, FAHP is 73% and AHP is 69%. It has been demonstrated that all three methods can be used for hydrocarbon potential estimation.

Keywords: Geographic Information Systems, Analytic Hierarchy Process, Fuzzy Analytic Hierarchy Process, Machine Learning, Random Forest.

TEŞEKKÜR

Tez çalışmam sırasında beni sürekli motive eden ve tez çalışmamın her aşamasında benden hiç bir yardımını esirgemeyen çok değerli hocam Sayın Dr. Öğretim Üyesi Hakan Uyguçgil'e teşekkür ederim.

Sayın Prof Dr. Alper Çabuk'a ve Sayın Prof Dr. Recep Bakış'a tez çalışmamı sürdürürken verdikleri görüş, destek, öneri ve tüm katkılarından dolayı teşekkürlerimi sunuyorum.

Görüşleri ile tezimin şekillenmesini sağlayan değerli jüri üyelerim Sayın Prof Dr. Adnan Konuk'a, Sayın Dr. Öğretim Üyesi Emrah Pekkan'a ve Sayın Dr. Öğretim Üyesi Resul ÇÖMERT'e teşekkür ederim.

Doktora çalışmam sırasında değerli yorumları ve yardımlarıyla katkı sağlayan Ayhan Karakadıoğlu, Aytekin Murathan, Mustafa Demirci, Burcu Selek, Kadir Barış Bakioğlu ve Hasan Salih Külünk'e teşekkür ederim.

Çalışmamı sürdürebilmem için gereken kaynakları sağlamam ve gerekli izinleri almam konusunda bana destek olan kurumum TPAO 'ya ve çalışma arkadaşlarıma teşekkürü borç bilirim.

Her zaman desteğini hissettiğim ve her koşulda yanımda olan dostum Asude Karlı Tuğaç'a teşekkür ederim.

Maddi manevi benden hiç bir desteğini esirgemeyen ve her zaman yanımda olan eşim Yavuz Selim Öztürk'e teşekkürlerimi sunarım.

Pozitif enerjisiyle beni motive eden, teknik olarak yaşadığım her sorunda koş koş yardımına koşan ve bana varlığıyla ilham kaynağı olan canım oğlum Onur Öztürk'e sonsuz teşekkür ederim.

Tünay ÖZTÜRK

ETİK İLKE VE KURALLARA UYGUNLUK BEYANNAMESİ

Bu tezin bana ait, özgün bir çalışma olduğunu; çalışmamın hazırlık, veri toplama, analiz ve bilgilerin sunumu olmak üzere tüm aşamalarında bilimsel etik ve kurallara uygun davrandığımı; bu çalışma kapsamında elde edilen tüm veri ve bilgiler için kaynak gösterdiğimi ve bu kaynaklara kaynakçada yer verdiğimi; bu çalışmanın Eskişehir Teknik Üniversitesi tarafından kullanılan “bilimsel intihal tespit programı”yla tarandığını ve hiçbir şekilde “intihal içermediğini” beyan ederim. Herhangi bir zamanda, çalışmamla ilgili yaptığım bu beyana aykırı bir durumun saptanması durumunda, ortaya çıkacak tüm ahlaki ve hukuki sonuçları kabul ettiğimi bildiririm.

Tünay ÖZTÜRK

İÇİNDEKİLER

Sayfa

BAŞLIK SAYFASI	i
JÜRİ VE ENSTİTÜ ONAYI.....	ERROR! BOOKMARK NOT DEFINED.
DANIŞMAN ONAYI	ii
ÖZET	iii
ABSTRACT.....	iv
TEŞEKKÜR	v
ETİK İLKE VE KURALLARA UYGUNLUK BEYANNAMESİ.....	vi
İÇİNDEKİLER	vii
TABLolar DİZİNİ	x
ŞEKİLLER DİZİNİ	xii
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ.....	xv
1.GİRİŞ	16
1.1. Çalışmanın Amacı	2
1.2. Çalışmanın Özgün Değeri.....	2
1.3. Yaygın Etki / Katma Değer	2
1.4. Çalışmanın Kapsamı.....	3
1.5. Çalışmanın Kısıtlılıkları	3
1.6. Literatür Özeti.....	3
2. KURAMSAL TEMELLER	16
2.1. Hidrokarbon	16
2.1.1. Petrol ve Doğalgaz Oluşumu	16
2.1.2. Kayaçlar	19
2.1.3. Petrolün Fiziksel Özellikleri	21
2.1.4. Hidrokarbon Aramacılığında Takip Edilen Aşamalar	23
2.2. Çok Kriterli Karar Destek Analizleri (ÇKKDA)	24

2.2.1. Analitik Hiyerarşi Süreci (AHP).....	25
2.2.2. Bulanık Analitik Hiyerarşi Süreci (AHP)	27
2.3. Makine Öğrenmesi	32
2.3.1. Sınıflandırma	32
2.3.1.1. <i>Kontrollü Sınıflandırma</i>	33
2.3.1.2. <i>KontROLSÜZ Sınıflandırma</i>	34
2.3.2. Sınıflandırma Algoritmaları.....	35
2.3.2.1. <i>KNN Algoritması</i>	35
2.3.2.2. <i>Bayes Sınıflandırma Yöntemi</i>	35
2.3.2.3. <i>Karar Ağaçları</i>	38
2.3.2.4. <i>Rastlantısal Orman Algoritması</i>	42
3. MATERYAL VE METOD	45
3.1. Çalışma Alanı	45
3.2. Kullanılan Veriler	48
3.2.1. Sayısal Yükseklik Verisi	48
3.2.2. Fay Verisi	48
3.2.3. Çizgisellik Analizi.....	49
3.2.3.1. <i>Kabartma Oluşturma</i>	49
3.2.3.2. <i>Çizgi Çıkarımı</i>	51
3.2.4. Formasyon Verisi	54
3.2.5. Kuyu Verisi	56
3.2.6. Gravite Verisi.....	60
3.2.6.1. <i>Bouger Düzeltmesi</i>	65
3.2.6.2. <i>Tamamlanmış Bouger Düzeltmesi</i>	66
3.2.6.3. <i>Topoğrafya/ Yerel Düzeltmesi</i>	66
3.2.7. Türetilen Veriler.....	67
3.2.6.4. <i>Reziduel ve Rejyonel Haritaları</i>	67
3.2.6.5. <i>Yatay Türev Haritaları</i>	68
3.2.6.6. <i>Basın Haritası</i>	71
3.2.6.7. <i>Düşey Türev Haritaları</i>	72
3.2.6.8. <i>Fay Haritaları</i>	75
3.2.8. Manyetik Duyarlılık Verisi.....	77

4. BULGULAR.....	78
4.1. Analitik Hiyerarşi Süreci.....	78
4.2. Bulanık Analitik Hiyerarşi Süreci	91
4.3. Rastlantısal Orman Algoritması.....	95
5. SONUÇLAR	102
6. ÖNERİLER	107
KAYNAKÇA	108
ÖZGEÇMİŞ	



TABLÖLAR DİZİNİ

Sayfa

Tablo 2.1. Doğrusal Üyelik Tablosu.....	28
Tablo 2.2. Bulanık Mantık Üyelik Tablosu	28
Tablo 2.3. Saaty Önem Ölçeği (Saaty,2003)	30
Tablo 2.4. FAHP Önem Ölçeği.....	30
Tablo 2.5. A Karşılaştırma Matrisi.....	31
Tablo 2.6. FAHP Karşılaştırma Matrisi	31
Tablo 2.7. FAHP Ağırlık Tablosu.....	31
Tablo 2.8. Bilgisayar Satın Alma Veri Seti (http-2).....	36
Tablo 2.9. Yaşa göre Bilgisayar Satın Alma Olasılık Tablosu	40
Tablo 3.1. Çalışmada kullanılan LINE parametreleri.....	51
Tablo 3.2. LINE parametrelerinden çıkan istatiki sonuç	53
Tablo 4.1. Saaty Karşılaştırma Ölçeği	81
Tablo 4.2. Karşılaştırma Matrisi (Uzman1)	82
Tablo 4.3. Ağırlıklar (Uzman1)	82
Tablo 4.4. Karşılaştırma Matrisi (Uzman2)	82
Tablo 4.5 Ağırlıklar (Uzman2)	83
Tablo 4.6. Karşılaştırma Matrisi (Uzman3)	83
Tablo 4.7. Ağırlıklar (Uzman3)	84
Tablo 4.8. Karşılaştırma Matrisi (Uzman4)	84
Tablo 4.9. Ağırlıklar (Uzman4)	84
Tablo 4.10. Karşılaştırma Matrisi (Uzman5)	85
Tablo 4.11. Ağırlıklar (Uzman5)	85
Tablo 4.12. Karşılaştırma Matrisi (Uzman6)	85
Tablo 4.13. Ağırlıklar (Uzman6)	86
Tablo 4.14. Ağırlıklar (AHP)	86
Tablo 4.15. Rassal İndeks Bölümlemesi	87
Tablo 4.16. Tutarlılık Tablosu	87
Tablo 4.17. FAHP Karşılaştırma Matrisi (Uzman1)	91
Tablo 4.18. FAHP Ağırlıklar (Uzman1)	91

Tablo 4.19. <i>FAHP Karşılaştırma Matrisi (Uzman2)</i>	92
Tablo 4.20. <i>FAHP Ağırlıklar (Uzman2)</i>	92
Tablo 4.21. <i>FAHP Karşılaştırma Matrisi (Uzman3)</i>	92
Tablo 4.22. <i>FAHP Ağırlıklar (Uzman3)</i>	92
Tablo 4.23. <i>FAHP Karşılaştırma Matrisi (Uzman4)</i>	93
Tablo 4.24. <i>AHP Ağırlıklar (Uzman4)</i>	93
Tablo 4.25. <i>FAHP Karşılaştırma Matrisi (Uzman5)</i>	93
Tablo 4.26. <i>FAHP Ağırlıklar (Uzman5)</i>	93
Tablo 4.27. <i>FAHP Karşılaştırma Matrisi (Uzman6)</i>	94
Tablo 4.28. <i>FAHP Ağırlıklar (Uzman6)</i>	94
Tablo 5.1 <i>Rastlantısal Orman Algortiması Parametreleri</i>	103
Tablo 5.2. <i>AHP/FAHP/RO Tahmin Sonucu & Kuyu Sondaj Entegrasyonu</i>	104
Tablo 5.3. <i>AHP/FAHP/RO Tahmin Sonucu & Kuyu bazında Değerlendirme</i>	105

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa

Şekil 2.1. Gaz ve Petrol Oluşumu	17
Şekil 2.2. <i>Petrol ve doğalgaz yataklarının oluşumu</i>	17
Şekil 2.3. <i>Green River Formasyonundan (Maun Zonu) petrol şistin'in ince kesit görüntüleri</i>	18
Şekil 2.4. Kaya Türleri.....	20
Şekil 2.5. <i>Bezelye büyüklüğünde taneciklere sahip Pisolitik kireçtaşı.</i>	20
Şekil 2.6. <i>Kayaç katmanlarının rezervuar gözenekliliği.</i>	21
Şekil 2.7. <i>Kayaç katmanlarının rezervuar geçirgenliği.</i>	22
Şekil 2.8. <i>Kumlu ve killi topraktaki gözenek boşluğu</i>	22
Şekil 2.9. <i>Kumlu ve killi topraktaki gözenek boşluğu</i>	23
Şekil 2.10. <i>Raster Veri Örneği</i>	25
Şekil 2.11. <i>AHP İşlem Adımları</i>	26
Şekil 2.12. <i>Klasik Üyelik Fonksiyonu</i>	28
Şekil 2.13. <i>Bulanık Mantık Üyelik Fonksiyonu</i>	29
Şekil 2.14. <i>Kontrollü Sınıflandırma İşlem Adımları</i>	33
Şekil 2.15. <i>KNN Veri Kümesi</i>	35
Şekil 2.16. <i>Karar Ağacı Örneği</i>	38
Şekil 2.17. <i>Rastlantısal Orman Karar Ağacı Yapısı</i>	42
Şekil 2.18. <i>ArcPro Rastlantısal Orman Algortiması Gösterimi</i>	44
Şekil 3.1. <i>Çalışma Alanı</i>	45
Şekil 3.2. <i>Ergene (Trakya) Havzasının Genelleştirilmiş Stratigrafik Kesiti</i>	47
Şekil 3.3. <i>Fay Haritası</i>	49
Şekil 3.4. <i>SRTM Rölyef Haritaları</i>	51
Şekil 3.5. <i>SRTM 0°, 45°, 90°, 135° çizgisellik (versiyon4)</i>	52
Şekil 3.6. <i>SRTM 180,225,270,315 çizgisellik (versiyon4)</i>	53
Şekil 3.7. <i>Formasyon Sınırı Verisi</i>	54
Şekil 3.8. <i>Osmancık Formasyonu görüntüsü</i>	54
Şekil 3.9. <i>Hamitabat Formasyonu görüntüsü</i>	55
Şekil 3.10. <i>Mezardere Formasyonu görüntüsü</i>	55

Şekil 3.11. <i>Mezardere, Osmancık ve Hamitabat formasyonlarının görüntüsü</i>	56
Şekil 3.12. <i>Toplam Kuyu Derinlikleri</i>	56
Şekil 3.13. <i>Hidrokarbon Emareli Kuyu Derinlik Dağılımı</i>	57
Şekil 3.14. <i>Kuyuların Derinliklere göre yer altındaki görüntüsü</i>	57
Şekil 3.15. <i>Hamitabat formasyonundaki Kuyuların derinliklerine göre gösterimi</i>	58
Şekil 3.16. <i>Hamitabat formasyonundaki kuyuların derinliklerine</i>	58
Şekil 3.17. <i>Osmancık formasyonundaki kuyuların derinliklerine göre gösterimi</i>	58
Şekil 3.18. <i>Osmancık formasyonundaki kuyuların derinliklerine</i>	59
Şekil 3.19. <i>Mezardere formasyonundaki kuyuların derinliklerine göre gösterimi</i>	59
Şekil 3.20. <i>Mezardere formasyonundaki kuyuların derinliklerine</i>	60
Şekil 3.21. <i>Gravite Anamolisi</i>	61
Şekil 3.22. <i>Manyetik Anomalisi</i>	62
Şekil 3.23. <i>Serbest Hava Düzeltmesi yapılmış Gravite Verisi</i>	64
Şekil 3.24. <i>Noktasal Gravite Verisi</i>	64
Şekil 3.25. <i>Bouguer Düzeltmesi yapılmış Gravite Verisi</i>	66
Şekil 3.26. <i>Gravite Verisinden Türetilen Veriler</i>	67
Şekil 3.27. <i>Reziduel (-2000m) Haritası</i>	68
Şekil 3.28. <i>Yatay Türev Tanımı</i>	69
Şekil 3.29. <i>Yatay Türev Haritası (Hg 1 km)</i>	69
Şekil 3.30. <i>Yatay Türev Haritası (Hg 3 km)</i>	70
Şekil 3.31. <i>2000 m. ' den derin kuyular ile yatay türev haritası entegrasyonu</i>	70
Şekil 3.32. <i>1000 - 2000 m arası kuyular ile yatay türev haritası entegrasyonu</i>	71
Şekil 3.33. <i>Basen Haritası</i>	71
Şekil 3.34. <i>Basen Haritası ve Bouguer Haritası Entegrasyonu</i>	72
Şekil 3.35. <i>Düşey Türev Haritası</i>	73
Şekil 3.36. <i>Düşey Türev Haritası</i>	74
Şekil 3.37. <i>Düşey Türev ve Basen Haritası Entegrasyonu</i>	74
Şekil 3.38. <i>Düşey Türev, Basen ve Kuyu Verisi Entegrasyonu</i>	75
Şekil 3.39. <i>Yatay türev (HG0km) ' den elde edilen faylar</i>	76
Şekil 3.40. <i>Yatay türev (HG1km) ' den elde edilen faylar</i>	76
Şekil 3.41. <i>Yatay türev (HG2km) ' den elde edilen faylar</i>	77
Şekil 3.42. <i>Manyetik Duyarlılık Haritası</i>	77
Şekil 4.1. <i>AHP/FAHP Akış Şeması</i>	78

Şekil 4.2 <i>Analitik Hiyerarşi Süreci Aşamaları</i>	79
Şekil 4.3. <i>Uzman Ağırlıkları</i>	80
Şekil 4.4 <i>Yeniden Sınıflandırılmış Veriler</i>	89
Şekil 4.5. <i>AHP Tahmin Haritası</i>	90
Şekil 4.6. <i>AHP Tahmin Haritası ve Kuyu Sondaj Veri Entegrasyonu</i>	90
Şekil 4.7. <i>FAHP Tahmin Haritası</i>	95
Şekil 4.8. <i>FAHP Tahmin Haritası ve Kuyu Sondaj Veri Entegrasyonu</i>	95
Şekil 4.9. <i>Kuyu Sondaj Verisi/Eğitim Verisi</i>	96
Şekil 4.10. <i>Test Verisi</i>	97
Şekil 4.11. <i>Rastlantı Orman Algoritması Akış Şeması</i>	98
Şekil 4.12. <i>Eğitim Veri Seti Karar Ağacı Örneği</i>	99
Şekil 4.13. <i>Rastlantısal Orman Algoritması Tahmin Haritası</i>	100
Şekil 4.14. <i>Rastlantısal Orman Algoritması Tahmin Haritası</i>	100
Şekil 4.15. <i>Rastlantısal Orman Algoritması Tahmin Haritası ve Kuyu</i>	101
Şekil 5.1 <i>AHP/FAHP/RO Tahmin Sonuçlarının Karşılaştırılması</i>	104
Şekil 5.2. <i>AHP/FAHP/RO Tahmin Sonuçlarının Her bir Sondaj Verisi için</i> <i>Karşılaştırılması</i>	105
Şekil 5.3. <i>Analitik Hiyerarşi Süreci Model Doğruluğu</i>	106
Şekil 5.4. <i>Bulanık Mantık Analitik Hiyerarşi Süreci Model Doğruluğu</i>	106
Şekil 5.5. <i>Rastlantısal Orman Algoritması Model Doğruluğu</i>	107

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

CBS	: Coğrafi Bilgi Sistemleri
TPAO	: Türkiye Petrolleri Anonim Ortaklığı
AHP	: Analitik Hiyerarşi Süreci
FAHP	: Bulanık Analitik Hiyerarşi Süreci
ÇKKDA	: Çok Kriterli Karar Destek Analizi
NASA	: National Aeronautics and Space Administration
SRTM	: Shuttle Radar Topography Mission
ASTER	: Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer
DTM	: Digital Terrain Model
SYM	: Sayısal Yükseklik Modeli
DEM	: Digital Elevation Model
IHS	: Information Handling Services
MTA	: Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü
KNN	: K-Nearest Neighbors
GRACE	: Gravity Recovery and Climate Experiment
LMMI	: Lineament Majority-Minority Index
LRAI	: Lineament Relative Abundance Index

1. GİRİŞ

Yerküre içerisinde organik materyalin başkalaşımı ile oluşmuş ve gözenekli kayalar içerisinde depolanmış sıvı haldeki hidrokarbonlara petrol adı verilir (<http-11>). Petrol, neft ya da yer yağı, hidrokarbonlardan oluşmuş, sudan yoğun kıvamda, koyu renkli, arıtılmamış, kendisine özgü kokusu olan, yer altından çıkarılmış doğal yanıcı mineral yağı. Latince taş anlamına gelen "petra" ile yağ anlamına gelen "oleum" sözcüklerinden oluşmuştur (Petra oleum = Petrol) (<http-11>).

Hidrokarbonların ve dolayısıyla petrol ve gazın yeraltında nasıl oluştuğu kesinlikle bilinmemekle birlikte, 20. yüzyılın başından beri süregelen bilimsel araştırma sonuçları, tüm hidrokarbonların yaşamını yitirmiş canlıların artıklarının durgun deniz ve göl gibi ortamların tabanında birikmesiyle oluşmaya başladıklarını ortaya koymaktadır. Deniz, göl veya akarsularda yaşamını yitirmiş olan canlılar (yani ölü organizmalar) akarsuların bu ortamlara taşıdığı kum, kil ve mineral tanecikleri ile birlikte dibe çökerek yığılırlar (<http-1>).

Milyonlarca yıl içerisinde bakteriler tarafından çürütülmüş bu kalıntılar yer altında ezilip kerojen ve bitüm adı verilen maddeler haline gelir. Bu maddeler ısı ve basınç etkisiyle petrol ve doğalgaz balonlarına dönüşürler. Bulunduğu yere göre petrolün renk ve yoğunluğu değişse de tüm dünyada yeraltının derinliklerinde bulunur (Walters, 2007).

Hidrokarbon aramacılığı detaylı ve yoğun çalışma gerektiren maliyetli bir iştir. Yapılan yatırımların karşılanması arama yapılan sahada petrol veya doğalgaz bulunması ve miktarı ile orantılı olduğundan risk yüksektir. Hidrokarbon aramacılığı saha ve laboratuvar çalışmaları olarak ikiye ayrılır. Yapısal ve tektonik araştırmalar, yeraltı ve yerüstü jeolojik haritaların hazırlanması gibi jeolojik çalışmalar, saha çalışması olarak sayılabilir. Bunun yanı sıra jeofizik saha çalışmaları ise gravite, manyetik ve sismik çalışmalar olarak listelenebilir. Araziden toplanan numunelerin jeokimya analizleri ise laboratuvar çalışmaları kapsamına girmektedir. Ayrıca haritalarının üretilmesi, yeraltı ve yerüstü modellerin oluşturulması, çizgisellik analizi vb. çalışmalar uzaktan algılama ve coğrafi bilgi teknolojileri kullanılarak gerçekleştirilmektedir.

1.1. Çalışmanın Amacı

Çalışmanın amacı Ergene Havzası'nın hidrokarbon potansiyelini araştırmak ve olası petrol veya doğalgaz konumlarını tahmin ederek haritalamaktır.

Bu amaç doğrultusunda çalışma kapsamında Çok Kriterli Karar Destek Analizleri ve Makine Öğrenmesi yöntemleri uzaktan algılama ve coğrafi bilgi teknolojileri entegre edilerek hidrokarbon aramacılığında standart oluşturulması hedeflenmiştir.

Uzaktan Algılama ve Coğrafi Bilgi Teknolojileri kullanılarak hidrokarbon aramacılığında standart oluşturulabilir.

Bu bağlamda deneyim ve kişisel öngörü ile belirlenen nitel ve nicel değişkenlere bağlı olarak üretilen sonuçların bir standarda oturtulabileceği düşünülmektedir.

1.2. Çalışmanın Özgün Değeri

Uzaktan algılama ve coğrafi bilgi teknolojileri kullanarak hidrokarbon arama faaliyetleri için standart oluşturulması çalışmanın özgün değerleri olarak sunulabilir. Ayrıca olası hidrokarbon lokasyonlarının haritalanmasının uzman görüşlerine dayalı çok kriterli karar destek analizleri ve veriye dayalı makine öğrenmesi tekniklerinin entegrasyonu ile gerçekleştirilmesinin çalışmanın özgün değerine katkı sağladığı düşünülmektedir.

1.3. Yaygın Etki / Katma Değer

Çalışmada uzaktan algılama ve coğrafi bilgi teknolojileri ile makine öğrenmesi yöntemlerinin kullanılması olası hidrokarbon konumlarının daha pratik ve hassas belirlenmesini, hidrokarbon aramacılığında standart bir yöntemin ortaya konması geleneksel yöntemlere kıyasla daha fazla kullanım alanı bulacaktır. Hidrokarbon aramacılığı ile ilgili böyle bir çalışmanın çalışmaya konu olan yöntemle yapılmamış olması bu alana sağlayacağı yegâne katma değerdir.

1.4. Çalışmanın Kapsamı

Çalışma Ergene Havzası'nda yaklaşık 2400 km²'lik alanı kapsamaktadır. Bölgeden elde edilen jeolojik ve jeofizik veriler, sayısal yükseklik modelleri kullanılmış, tahmin haritaları üretmek için kullanılan yöntemlere ilişkin sonuçlar ile eğitim setleri arasındaki konumsal otokorolasyonu belirlemek için mekânsal istatistik yöntemlerine başvurulmuştur. Makine Öğrenmesi ve Çok Kriterli Karar Destek Analizleri (ÇKKDA)'nin petrol ve doğalgaz arama çalışmalarında kullanılabilirliği araştırılmıştır. ÇKKDA'ndan Analitik Hiyerarşi Süreci ve Bulanık Hiyerarşi Süreci yöntemleri kullanılmış olup, bu yöntemlerle sunulan hidrokarbon potansiyel tahmin haritaları makine öğrenmesi yöntemlerinden biri olan Rastlantısal Orman Algoritması ile bulunan tahmin haritası ile karşılaştırılmıştır. Her üç yöntem için kuyu sondaj verileri kullanılarak doğrulama yapılmıştır.

1.5. Çalışmanın Kısıtlılıkları

Çalışmanın en önemli kısıtı veri setlerine ulaşamamaktır. Çalışma alanına ilişkin hidrokarbon potansiyel tahmin alanlarının yüksek doğrulukla ortaya konulabilmesini sağlamak için sismik yansıma değerleri kullanılarak yapılan sismik yorum sonrası yer altı gömülü fay izleri, , sismik hız bilgileri ve kuyu log bilgileri verilerinin kullanılması ile ilgili gereken veri kullanım izinleri alınamamıştır.

1.6. Literatür Özeti

Yeni hidrokarbon keşifleri için yapılan arama çalışmalarında yer altındaki hidrokarbon kapanlarının yüzeyde işaretlerinin araştırılması oldukça önemlidir. Yeryüzündeki en önemli işaretlerden biri yüzeyde bulunan çizgiselliklerdir. Coğrafi analizler için kullanılacak olan çizgisellik verisinin otomatik ve yarı otomatik edinimi ile ilgili çeşitli yöntemler uygulanmıştır.

Lineer ve lineer olmayan 2 boyutlu filtrelerin kullanıldığı yöntemler kullanılarak çizgisellik çıkaran (Süzen vd., 1998), standart ve değiştirilmiş Hough Dönüşümü kullanan (Fitton vd., 1998), kenar izleme algoritmaları ve jeolojik yapıları Canny Algoritması kullanarak çıkaran (Marghany vd., 2010) birçok çalışma mevcuttur.

Ancak hidrokarbon aramacılığında çizgiselliğin otomatik olarak optimum şekilde çıkarımı ile ilgili herhangi bir çalışma mevcut değildir.

Hobbs Çizgiselliği 1904’de kaya tabanının gizli mimarisini açığa vuran yer yüzeyinin belirgin çizgileri olarak tanımladı. Günümüzde ise; bir çizgi uydu görüntüsünde arka plandaki piksellerle karşılaştırıldığında dikkate değer şekilde açık veya koyu bir çizgi ya da lineer bir formasyon olarak tanımlanır (Kocal vd., 2004; Vassilas, 2002). Çizgisel yapılar çeşitli jeomorfolojik ve jeolojik süreçlerle oluşturulur. Çizgisellik akarsu ya da kuru akarsu yatakları, vadiler, köprüler, dağ tepeleri, jeolojik faylar ya da kırıklar olabilir. Çizgiselliğin genellikle pozitif ve negatif olarak tanımlanan iki ana topoloji grubu nehir yataklarına ve sırt yönüne uyumludur. Negatif çizgisellik bağlantıları, fayları ve kesme zonunu gösterirken, pozitif çizgisellik kanal ve hendek yığınlarını gösterir. Çizgiselliğin doğası yer kabuğunda fayların varoluşu ve bu fayların derinliğiyle ilgilidir. Yüzeye yakın bir fay yüksek kontrastlı bir çizgi olarak görünür. Yüksek çözünürlüklü görüntülerde daha da iyi görünür. Dipte konumlanmış bir fay daha az belirgindir ve sıklıkla çizgiler bulanıktır(Silhavy vd., 2016).

Çizgisellikler otomatik ve yarı otomatik çıkarımı için birçok algoritma geliştirilmiştir (Mah vd., 1995; Morris, 1991; Süzen vd., 1998). Bunlar doğrusal ve doğrusal olmayan iki boyutlu filtreler, standart ve değiştirilmiş Hough Dönüşümü (Fitton, 1998; Wang vd., 1990; Zlatopolsky, 1992, 1997), sınır takip etme algoritmaları (Koike, 1998) ve Canny Algoritması kullanılarak jeolojik yapıların haritalanması (Marghany vd., 2010) çalışmalarıdır.

Konumsal alan filtreleme yöntemleri yukarıda sayılan algoritmaların içinde çizgisellik belirlemek için uygundur. Bu filtreler yapay çizgilerin ayrıştırılmasında ve aynı çizgiselliğe bağlı düzensiz piksellerin ilişkilendirilmesine izin verir. Çizgisellik yapısının sadece jeolojik zaman ölçeği ile değiştiği varsayımlarının aksine Bondur vd. (2005) sismik hareketlerin uydu görüntülerinden çıkarılan çizgiselliği güçlü bir şekilde etkilediğini öne sürmüşlerdir. Araştırmacılar Güney Kaliforniya’nın deprem bölgelerinde yaptıkları testlerde çok sayıda çizginin depremden 1 ay önce belirginleştiğini ve deprem olduktan 1 ay sonra da eski haline geldiğini gözlemlemişlerdir. (Soto-Ponto vd., 2013) çizgisellik dokusundaki değişiklikleri saptamak ve çizgisellik dokusundaki değişimi zaman, yer ve kaydedilen depremin büyüklüğü ile ilişkilendirmek için bir yazılım tasarladılar.

Seleem (2013) Sina Yarımadası'nda yaptığı çalışmada, jeolojik ortamının doğal kaynaklar ve afetlerin dağılımını etkileyen yapısal çizgisellik çeşitliliğini göstermektedir. SRTM mozaiklerinden üretilen gölgeli kabartma haritaları, bu yapısal çizgiselliği belirlemek, çıkarmak ve haritalamak için kullanılmaktadır. İstatistik parametreler özellikle azimut frekansı, çizgisellik kesişimi, uzunluğu ve yoğunluk dağılımı SPSS yazılımı kullanılarak analiz edilmiştir. İki yeni istatistik endeksi LRAI (çizgisellik göreceli çokluk endeksi) ve LMMI (çizgisellik ana ara endeksi) uygulanmıştır. Ayrıca farklı istatistik parametrelerin dağılımı CBS ortamında yükseklik haritası olarak sunulmuştur. Gölge kabartma tekniğinin, özellikle farklı güneş azimut değerlerinde yapısal çizgiselliğin çıkarımı ve geliştirilmesi için büyük önem taşıdığı ifade edilmiştir. Çizgiselliğin azimut frekansı, ortalama uzunluklara ilişkin bilgiler içerdiği ve yoğunluk dağılımı hakkında da fikir verdiği belirtilmiştir. Bu çalışmanın sonuçlarının farklı yer altı sistemlerinin konumsal ve genetik ilişkilerini iyi bir şekilde yansıttığından jeolojik ve çevresel etki çalışmalarında uygulanabildiği belirtilmiştir. Bu yönleriyle hidrokarbon, maden ve yeraltı su kaynakları arama çalışmalarında kullanılabileceği ifade edilmiştir.

Marghany vd. (2010) uydu görüntülerini kullanarak çizgiselliklerin depremde önce belirginleştiğini depremde bir ay sonra ise çizgiselliklerin eski haline geldiğini gösteren bir çalışma yapmıştır.

Soto-Pinto vd. (2013) sismik ve volkanik hareketlerin sebep olduğu çizgisellik değişikliklerinin otomatik analizi ve belirlenmesi için yeni bir yöntem sunmuşlardır. Bu yöntemde görüntü kontrastının normalize edilmesi, küçük lineer objelerin çıkarımını Canny Algoritması ve dairesel maskeleme yöntemi ile birlikte sağlamışlardır.

Ibanez vd. (2016) SRTM (Shuttle Radar Topography Mission) verisinin hidrokarbon aramacılığında kullanımı SRTM verisinden direnç anomalilerini elde etmişler ve jeomorfolojik yapıları da yarı otomatik olarak belirleyen bir çalışma yapmışlardır. Jeoloji ve jeofizik verileri entegre ederek, yorumlanmış verileri özellikle hidrokarbon arama için potansiyel teşkil eden yapısal alanları çıkarmışlardır. Bu yapılar sismik planlama çalışmaları için bilgi sağladığını ve arama çalışma maliyetini düşürdüğünü belirtmişlerdir. Ayrıca tropik yağmur ormanları bölgesinde böyle bir çalışmanın yapılması olası çevresel etkileri de minimize edebilmiştir. SRTM verisinden direnç anomalileri elde edilmesi için jeomorfolojik objeler yarı otomatik olarak

belirlenmiştir. Yükseklik, Topografik ıslaklık indeksi, vadi derinliği ve çok çözünürlüklü vadi taban diklik indeksi, topografik ortalamalardan olan farkı gibi belirlenen yer yüzeyi parametreleri SRTM verisinden türetilmiştir. Bu parametrelerin seçilme nedeni morfolojideki gizli değişiklikleri ve belirlenen bölgedeki rölyepleri vurgulamaktır. Amazon sedimanter baseninde gerçekleşen çalışma, SRTM verisinin yarı otomatik ve kontrolsüz jeomorfolojik sınıflandırılmasını içermektedir.

Masoud vd. (2011) çeşitli özelliklerdeki birçok kaynaktan elde edilen uzaktan algılama görüntülerinden tektonik özelliklerin otomatik çıkarımı için topografi, batimetri, gravite ve manyetik verileri kullanarak bir dizi teknik öne sürmüşlerdir. Ayrıca çizgiselliğin belirlenmesi ve ilişkilendirilmesi için de yeni bir metot geliştirmişlerdir. Çalışmalarında farklı jeolojik özellikleri tanımlayabilmişlerdir ve farklı kaynaklardan elde edilen verilerden çıkarılan çizgiselliklerin efektif bir şekilde entegrasyonunun sağlanmasını amaçlamışlardır.

Bonetto vd. (2015) yarı otomatik bir yaklaşım kullanarak, çizgisel objelerin çıkarımı için Sayısal Arazi Modeli (DTM) yüzeyinden çizgileri konkav ve konveks kenarları olarak algılayan yeni bir metot tanımlamışlardır. Bu yöntem Sayısal Arazi Modelinden lineer obje belirlemeyi gerçekleştirme varsayımını temel almaktadır. Bu yaklaşıma göre jeolojik bir çizgisellik, bir DTM yüzeyinin konkav ya da konveks bir kenarı olarak tanımlanmaktadır.

Sarp vd. (2007) Ankara'nın kuzeybatısına ait ve Kuzey Anadolu Fayının (KAF) bir bölümünü kapsayan Landsat ETM uydu görüntüsünden, çizgiselliklerin otomatik olmayan yöntemler kullanılarak çıkarılması amacıyla, kenar belirleme filtreleri, Temel Bileşenler Analizi, Bantların Bölünmesi ve Renk Bileşenleri olmak üzere otomatik olmayan dört metot kullanmıştır. Otomatik olmayan yöntemler kullanılarak elde edilen aynı bölgeye ait dört farklı çizgisellik haritasını birleştirilerek sonuç çizgisellik haritasını elde etmiştir. Elde edilen bu haritayı bölgede daha önceden yapılmış sekiz farklı çalışmadan derlenen fay haritası ile CBS yöntemleri kullanılarak karşılaştırmıştır.

Henden (2015) Landsat TM görüntülerini kullanarak Türkiye'nin 1/500 000 ölçekli çizgisellik haritasını oluşturmuştur. Önemli yer altı kaynakları büyük kıvrım sistemlerinin kesişim noktalarında konumlandığı vurgulanmış olup, sadece yüzey çizgiselliklerinin (fay, kıvrım gibi litolojik dokanakların) belirlenmesi amaçlanmıştır.

Dairesel çizgisellikler morfoloji ve ton değişimine göre belirlenmiş, tektonik konuma göre belirli yönlerde yoğunluk kazandığı gözlenmiştir. Uydu görüntülerinde bu yapılar daire, eliptik veya içiçe halkalar şeklinde kendini göstermiştir. Hazırlanan çizgisellik ve dairesel yapıları gösteren harita ile maden sahalarının paralellik gösterdiği anlaşılmıştır.

Kiran vd. (2014) çalışmalarında kenar bulma için ASTER DEM ve Landsat uydu görüntülerini kullanmışlardır. Canny algoritmasını baz alarak, yeni bir grid operatör tasarlayarak tamamen otomatik bir yaklaşım sunmuşlardır. Çizgisellik farklı yönlerde farklı azimutlarda topografyanın gösterimi sağlanarak geliştirilmiş ve haritalanmıştır. Çıkarılan çizgiler benzer bir yön ve yoğunluktaki farklılıkları gösterir. 0, 45, 90 ve 135 derece 4 güneş azimut yönünde farklı rölyef haritasının birleşimi Kuzey-Güney, Doğu-Batı, Kuzey Batı-Güney Doğu, Güney Batı-Kuzey Doğu yönleri için eğilimi verir. Sonuçlar mevcut haritalarla ve saha çalışmalarıyla desteklenmiş olup, yüksek derecede tutarlılık göstermektedir. Çizgisellik gül diyagramlarının sonuçları ve çıkarılan çizgiselliklerin yoğunluk haritası maden arama, nükleer enerji tesis seçimi, petrol ve yer altı su arama çalışmaları gibi yapısal çalışmalara uygulanabilir olduğunu göstermektedir.

Abarca (2006) Küba'nın güney doğusunda 60 km² lik bir bölgesinde DEM verisi kullanarak Hough transform yardımıyla otomatik olarak çizgisellikleri çıkarmıştır. DEM verisini topografik haritalardan ve SRTM verisinden elde etmiştir. 1/50 000 ölçekli topografik haritalardan elde ettiği çizgisellikleri yersel ölçmelerle karşılaştırdığında DEM grid boyutu 35 m. olanın doğruluğunun, DEM grid boyutu 15 m. olana göre %12 daha az olduğunu belirtmiştir. SRTM verisinden elde edilen çizgiselliğin doğruluk oranının ise %5.7 daha az olduğu ortaya konmuştur.

Slimen vd. (2016) Tunus'un Kuzey batısında Landsat-7 ETM görüntülerini kullanarak çizgisellik çıkarmışlardır. İlk aşamada, görüntüye 4 farklı yönde (N-S, E-W, NE-SW ve NW-SE) Sobel filtresi uygulanmıştır. Bu filtre ile görüntünün kontrastı artırılmış olup, çizgiselliğin haritalanmasına zemin hazırlanmıştır. İkinci aşamada, çizgisellik haritası PCI Geomatica Line Modülü ile hazırlanmıştır. Farklı yönlerde elde edilen çizgisellik haritaları sonuç çizgisellik haritasını oluşturmak için kullanılmıştır. Sonuçta elde edilen harita ile yapısal jeoloji haritası arasında pozitif bir korelasyon saptanmıştır. Elde edilen çizgiler eğilim, uzunluk ve yoğunluk çeşitliliğine göre değerlendirilmiştir.

Kusak vd. (2017) ArcGIS 10.1 ve PCI Geomatica programlarını kullanarak SRTM verisinden otomatik olarak çizgisellikleri çıkarmışlardır. Etiyopya'da tektonik açıdan dünyanın en hareketli bölgesi olan Etopya Yaylasında çalışmayı test etmişlerdir.

Anwar vd. (2013) SRTM ve Landsat ETM-7 verilerini kullanarak, Yemen'de potansiyel fay zonlarını belirlemek için çizgisellik çıkarma çalışmaları yapmışlardır. Topografik haritalar, jeoloji hartaları ve yersel ölçmelerden de faydalanılmıştır. Çalışmada PCI Geomatica kullanılmıştır. Potansiyel fay zonlarını gösteren sonuç tahmin haritası drenaj, faylar, çizgisellik ve litoloji verilerine ağırlıklar verilerek, bu verilerin entegrasyonundan elde edilmiştir. Sonuç haritasında potansiyel alan tanımı için 5 farklı (çok düşük, düşük, ortalama, yüksek, en yüksek) seviye kullanılmıştır. Çalışma alanının %2,73 ü yüksek potansiyel taşıyan alanlar olarak belirlenmiştir. CBS yardımıyla bulunan 75 adet fay, saha çalışmaları ile karşılaştırıldığında bunlardan sadece 39'u arasında korelasyon saptanmıştır.

Hung vd. (2005) Vietnam bölgesinde Son La şehrinin kuzey batısında bir alanda ASTER ve Landsat ETM verilerini kullanarak otomatik olarak çizgisellik çıkarımı konusunda çalışmışlardır. Çizgi çıkarımı için en iyi bantları seçmek için birçok farklı bant kombinasyonu denenerek çizgisellik araştırılmış olup, en uygun bant olarak ASTER'de 3. bant olan VNIR ve Landsat için ise 4. Bantın uygun olduğu sonucuna varılmıştır. Çizgi çıkarımındaki doğruluğun, uydu görüntüsündeki konumsal çözünürlüğe bağlı olduğu sonucuna ulaşmışlardır. Ne kadar yüksek çözünürlüklü veriyle çalışılırsa o kadar iyi sonuçlar elde edileceğini savunmuşlardır. Daha yüksek çözünürlüğe sahip ASTER (15m) verisinden üretilen çizgisellik haritasının Landsat'a (30m) göre çok daha az gürültü içerdiğini vurgulamışlardır.

Akinwumiju vd. (2016) Güney batı Nijerya'da, Osun direnaja basenine ait DEM (SPOT DEM ve ASTER DEM) ve Landsat OLI (Operational Land Imager) (band6) görüntü verilerinden Prewitt filtresi, yüksek geçirgenli filtre, PCI Line algoritması ve Obje tabanlı görüntü analizi (Object-based Image Analyses) kullanarak çizgisellikleri çıkarmışlardır. Landsat OLI'nin Landsat ETM ye göre litolojik ve yapısal jeolojik ayırım açısından daha dar bant aralıklı iki termal kanala sahip olduğundan daha kullanışlı olduğunu savunmuşlardır. SPOT DEM'den elde edilen çizgiler sayı olarak daha fazladır. Çizgisellikleri topografik haritalardan insan yapımı olan yapılar ve ARCGIS programı hydrology modülünden elde edilen drenaj çizgileri ile

karşılaştırılarak morfolojik jeotektonik, hidroçizgiler ve karma olarak sınıflandırmışlardır.

El-Sawy K vd. (2016) Mısır'da kuzey doğu çölünde bulunan Cario-Suez bölgesinde Landsat-8 OLI pankromatik bant görüntüsünü kullanarak, çizgisellikleri bulmaya çalışmışlardır. Çalışmalarında otomatik çizgi çıkarımı için PCI Geomatica Line modülünü, manuel çizgi çıkarımı için ise Erdas Imagine programında Sobel filtresini kullanmışlardır. Çıkarılan çizgisellikleri değerlendirmek için uzunluk, yoğunluk ve yönsel olmak üzere 3 farklı mekânsal analizden faydalanmışlardır. Otomatik çizgi çıkarımı metodu ile elde edilen çizgilerin doğruluğu manuel olarak elde edilen çizgilere göre %30 olarak belirtilmiştir.

Alshayef vd. (2017) Yemen bölgesinde Landsat ETM kullanarak çizgisellikleri incelemişlerdir. Çalışma alanları yaklaşık 1500 km²'dir. Çizgisellikleri, hem false color composition, Sobel ve Laplacian filtre geçirilmiş görüntü ve jeoloji haritasından elle sayısallaştırarak hem de otomatik olarak temel bileşenler analizi yöntemi kullanarak elde etmişlerdir. Her bir yöntemi de yoğunluk, uzunluk ve yönsel olarak karşılaştırmışlardır.

Anwar vd. (2013) cevher yataklarına, heyelanlara ve yer altı su hareketlerine sahip bir alan olan Malzezya'da 2340 km²'lik bir alanda çizgisellik çıkarımı ile ilgili bir çalışma yapmışlardır. Sayısal yükseklik modelinden üretilen kabartma haritalarının farklı azimut açılarında belirginleştirilmesinin topografyadaki çizgilerin tanımlanması için yararlı olduklarını savunmuşlardır. Kullandıkları yöntemin farklı ışık yönlerinde topografik aydınlatmayı simüle ederek ve farklı güneş azimut açılarında üretilen 4 farklı kabartma haritasını birleştirilerek farklı yönlerde çizgileri belirlemeye katkı sağladığını belirtmişlerdir. 0, 45, 90 ve 135 azimut açılarından üretilen kabartma haritalarının birleşiminden çıkarılan çizgiselliklerin pozitif, 180, 225, 270 ve 315 'den elde edilen kabartma haritalarının birleşiminden çıkarılan çizgiselliklerin ise negatif çizgiselliği belirlemede etkili olduğunu ortaya koymuşlardır. Bulunan çizgiselliklere ilişkin mekânsal analizler yapılmış olup, söz konusu alanda öne çıkan yön Kuzey Batı- Güney Doğu'dur. Araştırmacılar, otomatik çizgi çıkarımı sırasında insan yapımı objeleri ve jeolojik olmayan yapıları ayırt edemediklerini ifade etmişlerdir.

Anwar vd. (2013) daha önce kullanmış oldukları yöntemi Irak'ın kuzey doğusundaki bir alanda uygulamışlardır. Söz konusu çalışmada SRTM ve ASTER verilerinden 8 farklı azimut açısına göre kabartma haritaları kullanarak, Malezya'da çalıştıkları alan için kullandıkları Line algoritma parametreleri ile çizgisellikleri çıkarmışlardır. Elde edilen sonuç çizgisellikleri ise yoğunluk, uzunluk ve yönsel olarak değerlendirmişlerdir.

Bu çalışma kapsamında potansiyeli yüksek hidrokarbon içeren alanları belirlemek için Çok Kriterli Karar Destek Analizleri (ÇKKDA) kullanılmıştır. Literatürde Analitik Hiyerarşi Süreci, Analitik Hiyerarşi Süreci, ELECTRE, PROMETHEE gibi klasik yöntemlerin yanı sıra En Çok Benzerlik Algoritması, Hızlandırma ve Rastlantısal Orman Algoritmaları gibi makine öğrenmesi algortimaları ÇKKDA için kullanılmaktadır.

Asakereh vd. (2017) İran'ın Huzistan bölgesinde güneş enerji çiftlikleri kurmak için Bulanık Mantık, Bulanık üyelik fonksiyonları ve Analitik Hiyerarşi Süreci'ni kullanarak, ekonomik ve çevre açısından en uygun alanların saptanması çalışmasını gerçekleştirmişlerdir. Çalışma kapsamında kullandıkları ikili karşılaştırma matrisinde dikkate alınan kriterler güneş enerji potansiyeli, çevresel kısıtlar ve mevcut ulaşım ağıdır. Çalışma alanı olan Huzistan'ın %71,47'si bulanık üyelik değeri sıfır, %8.32'si bulanık üyelik değeri 1 (potansiyelli alan) ve kalan alanlarda ise bulanık üyelik değeri 0-1 arasındadır. Güneş çiftliklerinin kurulması için potansiyelli alanlar ova ve düz araziler olarak saptanmış olup, çalışma alanının güney kesiminde yer almaktadır.

Ayodele vd. (2018) Nijerya'da rüzgar enerjisi çiftlikleri kurmak için uygun yerlerin belirlenmesi çalışmasını çevresel, ekonomik ve sosyal faktörleri de değerlendirme sürecine dahil ederek ele almışlardır. Öne sürdükleri model, rüzgar enerjisi çiftlik yer seçimindeki belirsizlik, muğlaklık ve tutarsızlık konularını ele almak amacıyla uzmanların görüşlerini temsil etmek için bulanık kümelerden faydalanmışlardır. Rüzgar hızı, eğim, yerleşim yerlerine yakınlık ve yola yakınlık kullanılan kriterler olup, söz konusu çalışmanın tutarlılık oranı 0,0056 olarak sunulmuştur. Çalışmanın sonucunda, rüzgar enerjisi çiftliği için en uygun alanların Nijerya'nın kuzey kesiminde yaklaşık %2'lik bir alanda, çok uygun alanların ise yine kuzey kesiminde %22'lik bir alanda ve uygun alanların ise %75'lik bir alanda olduğu öne sürülmüştür.

Feizizadeh vd. (2014) Bulanık üyelik fonksiyonunu Çok Kriterli Karar Verme Analizi ile birlikte İran'ın güneybatısındaki Izeh Nehri havzasına uygulamıştır. Heyelan uzmanları tarafından belirlenen eğim, bakı, direnaj yoğunluğu, faylara uzaklık, yola uzaklık, akışlara uzaklık, yağış miktarı, litoloji ve arazim kullanımı olmak üzere 9 farklı heyelan kriteri belirlenmiştir. Bulanık Analitik Hiyerarşi Süreci kullanılarak İran'da İzeh baseni için heyelan duyarlılık haritası oluşturulmuştur. Çalışma alanının %53'ü çok yüksek heyelan duyarlılığında sınıflandırılmıştır. Sonuçların bulanık kümelerin AHP ile entegrasyonunun, oldukça yüksek düzeyde güvenilirlikle heyelan duyarlılık haritalarının üretilmesine katkıda bulunabileceğini gösterdiğini öne sürmektedirler. Önerilen Bulanık Analitik Hiyerarşi Süreci (FAHP) yönteminin objektif ağırlık değerlendirmesi avantajına sahip olduğunu, sadece heyelan duyarlılık, deprem ve sel riski haritalaması gibi benzer tehlikelere ilişkin risk analizi ve haritalama alanlarında değil, aynı zamanda risk unsurlarının daha fazla olduğu çalışmalarda da kullanılabileceği sonucuna vardıklarını belirtmişlerdir.

Behara S. vd. (2019) çalışmalarında Hindistan, Sonakhan Greenstone Belt'teki altın potansiyelini haritalamak için FAHP ve Konsantrasyon Alanı (C-A) fraktal modelini CBS ortamında birlikte kullanmışlardır. Çalışma alanının bir bölümü için elde edilen tortul jeokimyasal veriler, altın mineralizasyon potansiyel bölgelerini belirlemek için kullanılmıştır. Bu tortul jeokimyasal verilerde Au, As, Ag, Hg, Sb ve Se elementlerinin varlığı araştırılmış olup, bağımsız kriterler olarak belirlenmişlerdir. Sonucun güvenilirliğinin, bilinen altın mineralizasyonunun (Baghmara Altın Bloğu) analizler sonucu elde edilen altın potansiyeli tahmin haritasında belirtilen potansiyelli alanlarla çakışmasıyla sağlandığını ortaya koymuşlardır.

Shao vd. (2020) Çin'in Shanxi eyaletinde, yeraltı suyu potansiyel bölgelerinin araştırılması ile ilgili bir çalışma yapmışlardır. Araştırmacılar Uzaktan Algılama ve CBS kombinasyonunun, su kaynaklarının yönetiminde uzaktan algılamanın kullanımı, hidrojeolojik modelleme ve haritalama, tuzlanmadan etkilenen bölgelerin tanımlanması ve izlenmesi, biyokütle tayini, arazi kullanımı/ürün sınıflandırma ve çevre koruma ve izleme dahil olmak üzere hidrojeolojik haritalar üretmek için çok önemli bir veri kaynağı olarak kullanılabileceğini belirtmişlerdir. SRTM verisi eğim ve drenaj yoğunluğu belirlemede ve Landsat 8 verisi ise arazi kullanım sınıflarını belirlemek ve NDVI için kullanılmıştır. Analizde kullanılan yağış oranı, toprak ve jeomorfoloji

verileri ise jeomorfoloji atlasından elde edilmiştir. 7 kriter için FAHP kullanılarak üyelik değerleri belirlenmiş olup; verilerin tutarlılık oranı 0.0077 olarak bulunmuştur. Söz konusu çalışmaya ilişkin bulgular toplam suyun %82,5'ini (47 kuyu) ve %12,3'ünü (7 kuyu) çok iyi ve iyi yer altı su bölgeleri olarak ortaya çıkarmıştır.

Das vd. (2019) Hindistan'daki Goghat-II bloğundaki yeraltı suyu beslenme potansiyel bölgelerini göstermeye çalışmışlardır. Çok kriterli karar verme analizinde yaygın olarak kabul edilen tekniklerden biri olan FAHP ilgili bölgeleri ortaya çıkarmak için uygulanmış olup; jeoloji, jeomorfoloji, eğim, toprak dokusu, arazi kullanımı arazi örtüsü, net beslenme ve havuz frekansı gibi kriterler ikili karşılaştırma matrisleri ile değerlendirilerek analize sokulmuştur. Çok düşük, düşük, orta, yüksek ve çok yüksek potansiyele sahip alanlar çıktı olarak sunulmuştur ve çalışma alanının kuzey doğusu %12.80'i yüksek ve % 10.13'ü çok yüksek potansiyelli olarak bulunmuştur. Yöntemin uygunluğu muson sonrası yeraltı suyu derinliği ile kontrol edilerek doğrulanmış olup; söz konusu zonları belirlemek için kullanılabilir olduğunu öne sürmüşlerdir.

Passalari vd. (2019) depolama alanı yer seçimi için FAHP ve Analitik Hiyerarşi Süreci(AHP) entegrasyonunu İran'ın güney bölgesinde gerçekleştirdikleri çalışmalarında kullanmışlardır. AHP analizi için uzman bilgisine dayalı olarak yüzey suyu, yeraltı suyu, arazi kullanımı, kuyuya uzaklık, toprak tipi, eğim, sit alanı gibi sosyo-ekonomik, fay, yerleşim yeri, yol, havaalanı, köy, altyapı, tarihi alan, rüzgar yönü gibi çevre grubunda yer alan kriterler değerlendirilerek ağırlıklandırılmıştır. Depolama sahaları için en iyi altı muhtemel saha seçilmiştir. Yaygın rüzgar algılama ve depolama için gerekli alan göz önüne alındığında Shraz'ın güney doğusunda 430 hektarlık bir alan gerekmektedir. Araştırmacılar ayrıca uygulanan metodolojinin etkili, basit ve kullanıcı dostu olduğunu savunmuşlar ve ayrıca gelişmekte olan ülkelerdeki yetkililer tarafından hem zamanı hem de maliyeti düşürmek için kullanılabileceğini öne sürmüşlerdir.

Chai vd. (2019) Yifeng, Jiangxi Eyaleti'nde 11.42 km²'lik bir alanda çok indeksli bulanık kapsamlı değerlendirme modeli ile sel felaketleri için bir risk değerlendirmesi yapmışlardır. Söz konusu model ,su baskını derinliği, alanı ve süresi verilerini içeren tehlike, yükseklik, eğim ve sızdırmazlık alt kriterlerini içeren maruz kalma ve bina ve önemli nokta yoğunluklarını içeren ana faktörlere göre ağırlıkların belirlenmesi ile çalıştırılmıştır. Analiz sonucunda çok düşük risk, düşük risk, orta risk, yüksek risk ve

çok yüksek risk alanları belirlenmiştir. Araştırmacılar önerdikleri modelin sel riskinin dağılımını analiz etmek ve yöneticilerin bu noktada daha etkin kararlar alması için yardımcı olacağını belirtmişlerdir.

Du vd.(2018) Çin'in Wensu kentinde dünya koruma mirası olan Tomur'u izlemek için en uygun alanların belirlenmesi amacıyla FAHP kullanarak çalışmalarını gerçekleştirmişlerdir. Biyolojik (biyoçeşitlilik, orman ve otlak) , jeolojik (kırmızı yeryüzü şekli ve buzul), estetik değerler (turizm kaynakları ve görünürlük) , tehditler (toplumun gelişimi ve measen arama) ve yönetim (öncelik ve koruma derecesi) şeklinde uzmanlar, yöneticiler ve orda yaşayanlarca kriterleri değerlendirilmiştir. Yapılan analiz sonucunda uygun, daha az uygun, sınırlı uygunluk, en az uygun ve uygun olmayan alanları içeren izlemeye uygun yerler haritası sunulmuştur. Çalışma alanında yaklaşık %15'lik bir alan uygun ve daha az uygun olarak belirlenmiştir. Sonuçlar, FAHP'nin Tomur'u izlemek amacıyla uygun yerlerin belirlenmesi ve Tomur'un korunması için makul bir yöntem olduğunu ortaya koymuştur.

Emrouznejad vd. (2018) 2007 ve 2016 yılları arasında FAHP ile yapılmış olan 20 çalışmayı inceleyerek özetlemişlerdir. FAHP'nin eğitim, mühendislik, hükümet, endüstri, yönetim, imalat, kişisel, politik, sosyal ve spor gibi birçok alanda kullanılabilirliğini vurgulamış olup, incelediği çalışmalar genellikle yönetim, imalat ve endüstri alanındadır.

Hidrokarbon aramacılığında fasiyes ve kırıkların tanımlanması ve tahmini yerbilimciler için büyük önem taşımaktadır. Bhattacharya vd. (2018) kuyu loglarından faydalanarak tortul kayaçlardaki farklı fasiyes ve kırıkları tahmin etmek için Bayes Ağ Teorisi ve Rastlantısal Orman makine öğrenme algoritmalarını kullanmışlardır. Eğitimli makine öğrenimi modelleri, sağlamlıklarını kontrol etmek için Kuzey Amerika'da Appalachian basenindeki Clinton formasyonundan 15 kuyu ve Copper Ridge formasyonunda 7 kuyu ile 10 kez çapraz doğrulanmıştır. Yapılar %71.2-75.2 aralığında doğrulukla tahmin edilmiştir. Çalışmanın formasyon değerlendirmesi ve rezervuar karakterizasyonu için kullanılabileceği ortaya koyulmuştur.

Masoudi P. vd.. (2012) çalışmalarında basen alanı çıkarmak için üretim bölgeleri bulmak ve geliştirilen bu yöntem için en uygun girdi verilerini seçmek için İran'ın güney batısında Abadan ovasında bir alanda Bayesian ağ yöntemini kullanılmışlardır.

İki Bayes ağ yöntemi kullanılmıştır. Bunlardan birincisi için kullanılan girdi verileri şeyl yüzdesi, gözeneklilik ve su doygunluğu iken ikinci yöntemde Bayesian ağ tarafından gözeneklilik ve su doygunluğu girdileri olarak belirlenmiştir. Kuyu log veri setine iki Bayes yöntemi de uygulanmış olup, söz konusu çalışma kapsamında bir kuyu Bayes ağ yöntemini eğitmek ve test etmek için, diğer kuyu ise kontrol etmek amacıyla kullanılmıştır. Geliştirilen Bayes yönteminin en belirgin avantajının daha yüksek sınıflandırma hassasiyeti olmasının yanı sıra kesintileri tanımlamaya gerek kalmadan bulanık bir şekilde üretken bölgeleri belirleyebildiği belirtilmiştir. Çalışmanın sonucunda üretim bölgelerinin belirlenmesinde %30 hassasiyet ile doğruluğa ulaşılmış olduğu görülmektedir.

Matheus vd. (2021) çalışmalarında petrol ve doğal gaz kuyuları ile ilgili ve sismik çalışmalar esnasında oluşan fayların belirlenmesi ve sınıflandırılması için Rastlantısal Orman Algoritmasını kullanmışlardır. Yeraltındaki rezervuarlardan petrol doğalgaz üretiminin, kuyu sondaj ve kuyu operasyonlarını etkileyebilecek mekanik ve kimyasal işlemleri içerdiğini, bu işlemlerin birçoğunun ekipman arızası ya da üretimi düşürmeyle sonuçlanan bir probleme sebep olabileceğini belirtmişlerdir. Bu nedenle kuyuların mekanik durumları, akışkanlığı ve üretim oranlarının düzenli analizi sayesinde erken aşamada farkedilen ya da önleyici bakım teknikleri sayesinde bu tür problemlerden kaçınılabileceğini vurgulamışlardır. Petrobras'ın 2017 yılında önerdiği bir projede yer alan 8 farklı sondaj ve operasyon probleminin otomatik olarak saptanması ve sınıflandırılması için Rastlantısal Orman Algoritması kullanmışlardır. Operasyonlar sırasında oluşan fay türlerini belirlemek ve sınıflandırmak için Petrobras 3W veritabanı verilerini kullanarak çıkardıkları tahmin modeli %94 doğrulukla sonuç vermiş olup, bu sayede operasyon sırasında üretim kayıpları ve risklerin önlendiğini ortaya koymuşlardır.

Chen vd.(2018) heyelan duyarlılığı değerlendirmesi için Çin'in Longhai bölgesindeki üç veri madenciliği tekniğini, en iyi ilk karar ağacını, Rastgele Orman'ı ve Bayes ağacını karşılaştırmışlardır. Bu çalışma sonucunda Rastgele Orman Algoritması, eğitim veri seti için en küçük standart hatayı (0.025) ve en yüksek doğruluk değerini (0.774) vermiş olup, heyelan duyarlılık haritalaması için kullanılabilecek umut verici bir teknik olarak önerilmiştir. Heyelan duyarlılığı için rastlantısal orman uygulaması birçok

araştırmacı tarafından önerilen bir yöntemdir (Abbaspour, 2021; Catani vd. ,2013; Deliang vd. , 2021 ; Kim vd. ,2017).

Xue vd. (2021) şeyldeki gaz rezervuarlarının dinamik üretim davranışını tahmin etmede veri odaklı bir sistem olarak çok amaçlı Rastgele Orman Algoritması'nı önermektedir. Bu yöntemin birden çok ağaç tabanlı yapıyı bağımsız olarak uygulayabileceğini ve büyük veri kümelerini verimli şekilde işlemenin mümkün olacağını sunmuşlardır. Bu araştırma, petrol mühendisleri için statik rezervuar özellikleri ve kaya gazı üretim dinamiği verileri arasındaki ilişkiyi çok amaçlı rastgele orman yöntemini kullanarak ortaya çıkarmak ve şeyl gaz üretim tahmin doğruluğunu arttırmada nasıl kullanılacağını ortaya koymuştur.

Attanasi vd. (2020) Bakken formasyonundan üretim yapan petrol kuyularının yatayda üretkenliğini arttırmak için Kuzey Dakota bölgesindeki dokuz farklı alanda Rastlantısal Orman Algoritması ile makine öğrenmesi uygulamasını açıklamaktadır. Çalışmada 7311 adet kuyu verisi kullanılmıştır. Derinlik, aşama sayısı, propant hacmi ve enjekte edilen sıvıların hacmi gibi kuyu tamamlama değişkenlerinin yanı sıra 180 günlük su kesintisi ve kuyu üretiminden en önemli rol oynayan ilk 30 günlük gaz üretim değerleri gibi diğer değişkenlerin kuyu üretkenliği tahminlerinde nasıl kullanıldığını öne süren bir yöntem sunulmuştur. Rastlantısal Orman Algoritması ile tahmin sonuçlarına göre 9 bölge için yıllık tahmin sonuçları ortaya konulmuş olup, %50 ile %82 arasında değişen tahmin doğruluk sonucuna ulaşılmıştır.

Literatür araştırmaları incelendiğinde Çok Kriterli Karar Destek Analizlerinden Analitik Hiyerarşi Süreci ve Bulanık Analitik Hiyerarşi Süreci'nin sıklıkla kullanıldığı tespit edilmiştir. Makine Öğrenmesi algoritmalarından biri olan Rastlantısal Orman Algoritması Leo Braiman tarafından 2001 yılında sunulmuş olup, bu çalışmada petrol ve doğalgaz potansiyel tahmin haritaları üretmek için kullanılacaktır.

2. KURAMSAL TEMELLER

2.1. Hidrokarbon

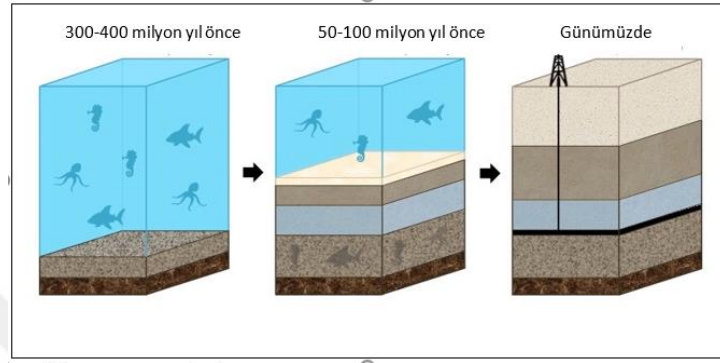
Bu çalışmada kullanılan kuramsal temeller üç ana bölümden oluşmaktadır. İlk bölümde petrol ve doğalgaz oluşumu, kayaçlar, petrolün fiziksel özellikleri ve hidrokarbon aramacılığında takip edilen aşamalar anlatılmaktadır. İkinci bölümde ise Çok Kriterli Karar Destek Analizlerinden olan Analitik Hiyerarşi Süreci (AHP) ve Bulanık Mantık Hiyerarşi Sürecine(FAHP) yer verilmektedir. En uygun alanların tespiti için en sık kullanılan yöntemlerden biri olan AHP (Ayodele vd. , 2018; Passalari vd. , 2019) ve karar vericilerin karar verme süreçlerinde yaşanacak belirsizlikleri en iyi modelleyen yöntemlerden biri olan FAHP (Feizizadeh vd. ,2014; Shao vd. ,2020) hidrokarbon aramacılığında tahmin haritalarının üretilmesi problemi için seçilmiştir. Kuramsal temellerin son bölümünde ise makine öğrenmesinde sınıflandırma ve sınıflandırma algoritmalarına değinilmektedir. Makine öğrenmesi sınıflandırma algoritmalarından biri olan Rastlantısal Orman Algoritması yüksek sınıflandırma doğruluğu sunduğundan (Abbaspour, 2021; Attanasi vd. , 2020; , Catani vd. , 2013; Chen vd. , 2018; Deliang vd. , 2021; Kim vd. , 2017; Matheus vd. , 2021; Xue vd. , 2021) tercih edilmiş olup, bu çalışmada makine öğrenmesi yöntemi olarak tercih dilmiş olup, üçüncü bölüm sonunda detaylı bir şekilde açıklanmaktadır.

2.1.1. Petrol ve Doğalgaz Oluşumu

Petrol sözcüğü Latince de kayaç anlamına gelen “petra” ve yağ anlamındaki “oleum” kelimelerinin birleşiminden oluşur. Ham petrol (taş yağı) milyonlarca yıl önce okyanuslarda yüzen planktonların ve bitkilerinin taşlaşmış kalıntısı olarak da adlandırılır (<http-11>).

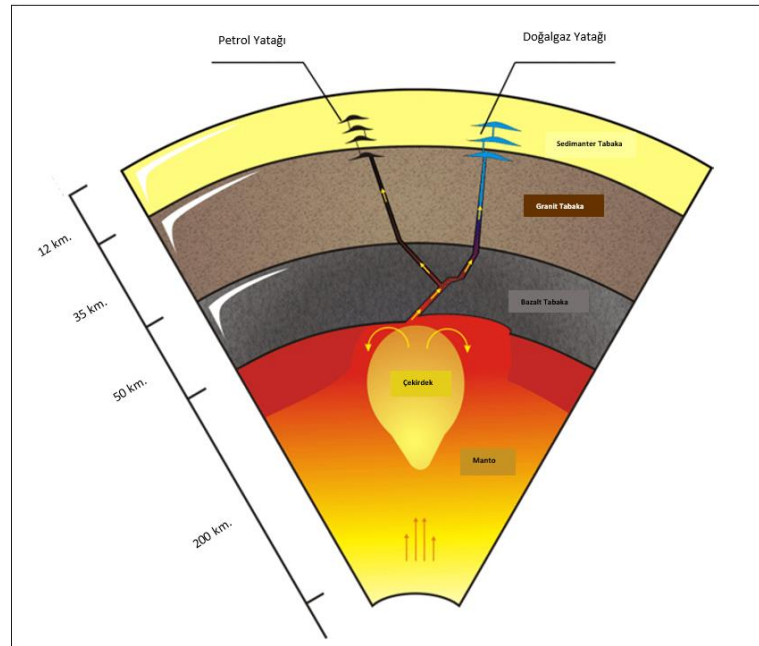
Şekil 2.1’deki gibi ölen canlılar okyanus tabanına batarlar. Bu canlılar milyonlarca yıl içerisinde bakteriler tarafından çürütülmüş kalıntılara dönüşür ve yer

altında ezilip kerojen ve bitüm adı verilen maddeler haline gelir. Zamanla bu çürüyen kalıntıların üzerini çamur ve kum kaplar. Ağırlık ve basınç, kalıntıları ham petrole çevirip yukarı ve dışarıya doğru sıkıştırır. Petrol, kum taşı ve kireç taşı gibi delikli kayalardan yukarı doğru sızar (Walters, 1995).



Şekil 2.1. Gaz ve Petrol Oluşumu (http-7)

Ancak petrolün inorganik olduğunu ve petrolün büyük kısmının yerin derinliklerinde bulunan kayalardaki mineraller arasında gerçekleşen kimyasal tepkimelerle oluştuğunu düşünen Berthelot (1866) , Mendeleyev (1877 ve 1902) ve Nikolai Kudryavtsev (1951) gibi bilim insanları da vardı (Bjorlykke, 2010; Walters, 1995).

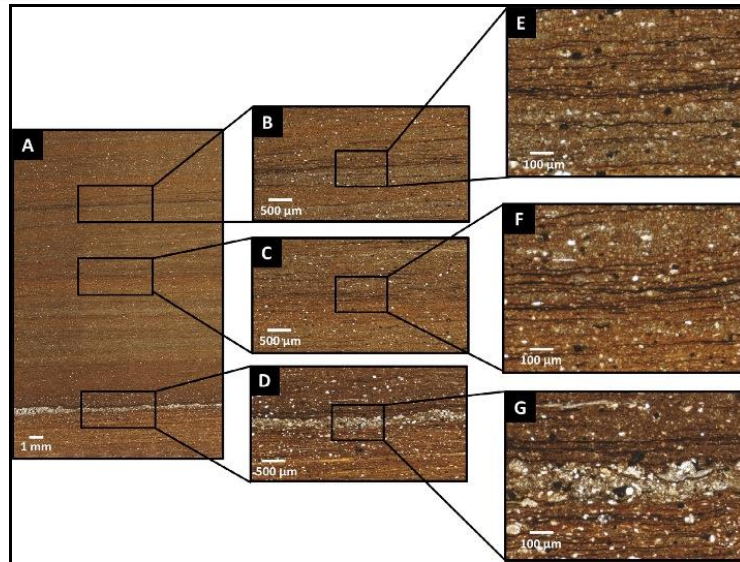


Şekil 2.2. Petrol ve doğalgaz yataklarının oluşumu (Kutcherov,2011)

Koyu renkli ve yağsı bir madde olan petrol genellikle sıvı olan, ancak katı ve gaz halinde de bulunan bir maddedir. Ham petrol, yer altından sıvı halde ve berrak olarak çıkmış hali, asfalt katı hali, bitüm ise yarı katı halde çıkmış hali olarak adlandırılır. Kolayca buharlaşabilen petrollere hafif, yoğun ve akışkanlığı iyi olmayan petrollere de ağır petrol denir (Bjorlykke 2010). Ham petrol rafine edilerek bitüm, fuel oil, ağır/orta/hafif motor yağı, mazot, parafin(jet yakıtı) ve benzin gibi farklı hidrokarbon ürünlerine ayrılabilir.

Mikroskobik deniz canlıların yalnızca küçük bir kısmı petrole dönüşür. Kalan kısmı ise sadece kerojene dönüşür. Kerojen diğer kayaçların ve canlıların artıklarından oluşan kayaçlarda bulunan kahve-siyah renkli katı bir maddedir. Yer altında yüksek basınç ve 600C'den daha yüksek sıcaklıkta ısıtıldığında kerojen petrole dönüşür (Bjorlykke, 2010).

Şekil 2.3.'de organik bakımdan zengin tabakalar kerojen formunda gözlemlenmektedir. Koyu renkli alanlar organik zengin mineralleri içerirken, organik yönden zayıf olan bölgeler daha açık renkte görünür ve inorganik maddelerin zenginliğini gösterir (Saif vd. , 2017).



Şekil 2.3. Green River Formasyonundan (Maun Zonu) petrol şistinin ince kesit görüntüleri (Saif vd. , 2017)

2.1.2. Kayaçlar

Petrol sadece bir enerji kaynağı değildir aynı zamanda birçok farklı alanda ham madde olarak da kullanılır. Bu kullanım alanlarından bazıları asfalt, gübre plastik, kozmetik ürünler, ilaçlar, deterjanlar ve polyester vb. dir.

Farklı minerallerden meydana gelen yapılara kayaç denir. Petrolün çoğu sert kayaç tabakalarınınca hapsedilir. Kayaçlar üç temel tipte incelenir:

1. Volkanik (Magmatik) Kayaçlar, sıcak ve ergimiş kayaçların soğumasıyla oluşur. Bir yanardağ patladığında, Dünya'nın yüzeyinin altında bulunan ergimiş kayaçlar yüzeye çıkar, sonra soğur ve katılaşır. Bu patlama sonucunda volkanik kayaçlar oluşur. Granit, Pegmatit, Serpantinit, Gabro, Obsidiyen, Bazalt, Tüf, Ponza taşı, Aglomera ve Tüf volkanik kayaçlara örnektir.

2. Çökel (Tortul) Kayaçlar, sedimanter kayaçlar olarak da bilinirler. Kayaç parçaları, bitki ve hayvan kalıntıları'nın deniz dibine çökmesi ve yıllar içinde birbiri üstüne biriken tabakaların çökmesi i rüzgar ve su etkisiyle yüzeye sürüklenmesiyle oluşur. Kumtaşı, Breş, Kireçtaşı, Grit, Şeyl, Çamurtaşı ve çakmaktaşı bu kayaç tipine örnek verilebilir (Saif vd., 2017).

3. Başkalaşım (Metamorfik) kayaçları, başka bir kayaç türünün yüksek sıcaklık veya basınç etkisiyle değişime uğraması sonucu oluşur. Dünya'nın iç kısımlarında kayalar parçalanıp hareket ettiğinde, başkalaşım kayaçları da bazen yüzeye doğru itilirler. Mermer, Arduvaz, Kuvarsit, Filit, Amfibolit, Gnays ve Şist gibi kayaçlar başkalaşım kayaçlarına örnektir (Dülger, 2011).



Şekil 2.4. Kaya Türleri (http-8)

Petrol açısından kayaç çeşitleri ise ana (kaynak) kaya, rezervuar (hazne) kaya ve örtü (kapan) kaya şeklinde sınıflandırılır (Dülger, 2011).

Hidrokarbonun erişebilirliği hareket edebileceği ve birikebileceği çok sayıda gözenekleri ve çatlakları olan kayaçlara göç ettiğinde mümkün olmaktadır. Hidrokarbonun biriktiği kayaçlara rezervuar kayaçlar adı verilir (Saif vd. , 2017). Kireçtaşı ve kumtaşı gibi rezervuar kayaçlarının oldukça iri taneleri vardır. Tanelerin arasında bulunan boşluklar hidrokarbonun aralarından sızmasına izin verir (Dülger, 2011).



Şekil 2.5. Bezelye büyüklüğünde taneciklere sahip Pisolitik kireçtaşı (http-13)

Örtü kayaçlar ise ne petrolün ne de su gibi başka akışkan bir sıvının sızamayacağı kadar küçük gözenekleri ya da dar ve bağlantısız çatlakları olan geçirimsiz kayaçlardır (Saif vd. ,2017). Kapan adı da verilen bu kayaçlar petrol rezervuarının üstündeki kapak gibi görev görür (Dülger, 2011). En yaygın kapan şisttir (Bjorlykke, 2010, Walters, 1995, Dülger, 2011).

Petrolün yeraltında hareketini engelleyen kapanlar antiklinal, fay, tuz tümseği ve kıstırma kapan olmak üzere 4 farklı türde kapan bulunmaktadır. (Bjorlykke, 2010)

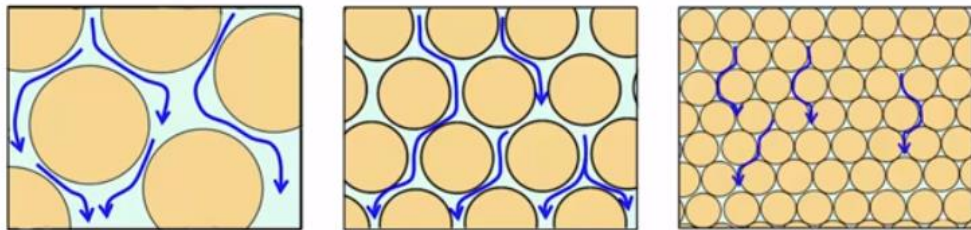
1. Antiklinal Kapan: Yerkabuğunun hareketi sonucu kayaç katmanları bükülerek kemer oluşturan yerler antiklinal olarak adlandırılır. Kemer oluşturan bu yapılar geçirimsiz ise petrol oradan yüzeye sızamaz ve olduğu yerde birikir. Antiklinal kapanlar, dünyadaki petrolün çoğunu barındırır (Dülger, 2011).

2. Fay Kapan: Kayaç katmanlarının kırılarak ayrılan iki parçasının birbiri üzerine kaymasına fay denilir. Faylar da petrol kapanları olabilmektedir (Dölger, 2011; Saif vd. , 2017).
3. Tuz Tümseği Kapan: Yerin derinliklerinde oluşan tuz yığınları sıcaklık ve basınç etkisiyle kubbe şeklinde tümsekler oluşmasına sebep olur. Yükselen bu kubbeler, üzerlerindeki kayaç katmanlarını yanlara iterek kayaç katmanlarını keserler. Bu sayede petrolün yukarı göçü engellenerek bir petrol kapanı oluşur(Dölger, 2011).
4. Kıştırma Kapan: Antiklinal, fay ve tuz tümseği kapanları kayaç katmanlarının hareketiyle oluşurlar ve bu kapanlara yapısal kapanlar denir. Stratigrafik kapanlar ise, kayaç katmanlarının kendi içlerindeki değişimler sonucunda oluşur. Kıştırma kapanlar stratigrafik kapanlar arasında en çok bilinendir (Dölger, 2011; Walters, 1995).

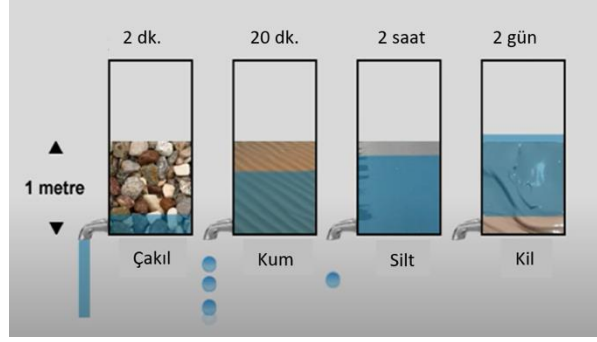
2.1.3. Petrolün Fiziksel Özellikleri

İyi bir rezervuarın iki önemli fiziksel özelliği vardır. Bunlardan biri geçirgenlik (permeability) diğeri ise gözenekliliktir (porosity) (Bjorlykke, 2010; Saif vd. 2017; Walters, 1995).

Farklı nem ortamlarında toprakta tutulacak su miktarını belirleyen faktör toprağın dokusudur. Şekil 2.7’de killi toprakların çok küçük gözeneklere sahip olduğu, kumlu toprakların ise daha büyük mineral parçacıklarına bir başka deyişle daha büyük gözenek boşluklarına sahip olduğu görölmektedir. Şekil 2.8’de de göröldüğü gibi killi topraktaki daha küçük gözenek boşlukları aynı hacme sahip kumlu toprağa göre çok daha büyük bir alan oluşturmaktadır. Daha az toplam gözenek hacmi daha az gözeneklilik demektir (Selley vd. , 2015). Daha çok toplam gözenek hacmi ise daha çok gözeneklilik demektir (Dölger , 2011)

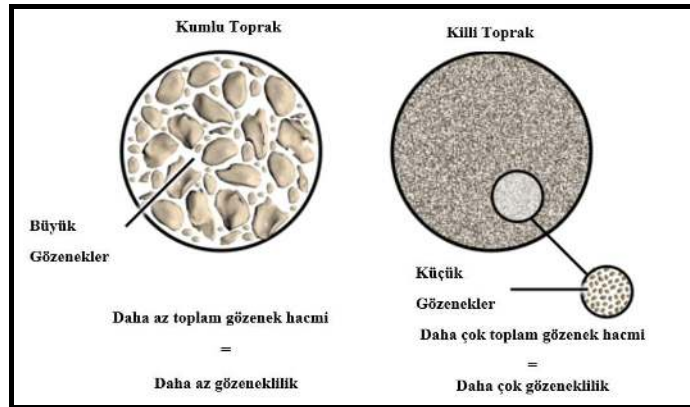


Şekil 2.6. Kayaç katmanlarının rezervuar gözenekliliği (<http-14>)

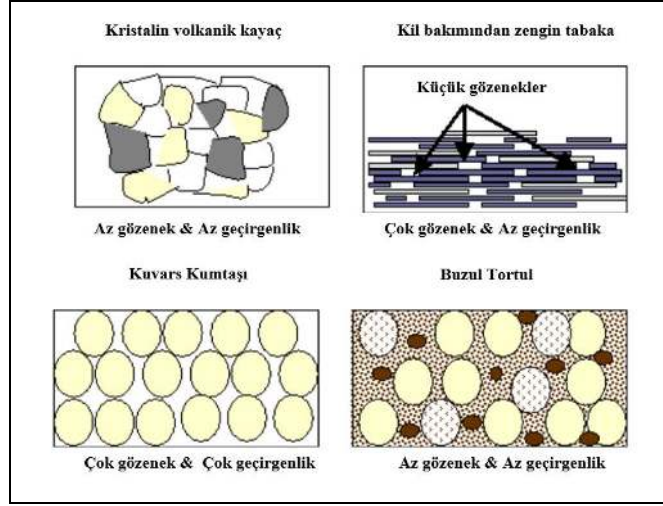


Şekil 2.7. Kayaç katmanlarının rezervuar geçirgenliği (http-14)

Bir kayanın geçirgenliği, gözenek alanı miktarını, gözeneklerin düzenini ve özellikle çok yüksek yüzey alanına sahip küçük (mikron boyutlu) kil minerallerinden kaynaklanan yüzey gerilimi miktarını içeren bir dizi faktöre bağlıdır (Saif vd., 2017). Gözenek alanı ne kadar büyükse, taneler o kadar çok bağlanır ve kil ne kadar az olursa, geçirgenlik o kadar yüksek olur ve su o kadar kolay akar (Dülger, 2011). Gözenek alanının küçük olduğu, tanelerin birbirine zayıf bir şekilde bağlı olduğu ve çok fazla kil olduğu yerlerde, geçirgenlik düşüktür ve su kolayca akamaz ((Bjorlykke, 2010). En iyi akiferler genellikle hem yüksek gözenekliliğe hem de kumtaşı gibi yüksek geçirgenliğe sahip kayalardan meydana gelir (Dülger, 2011). Şekil 2.8 ve Şekil 2.9’da görüldüğü gibi daha düşük gözenekliliğe sahip kayalar genellikle daha geçirgen olurlar. Örneğin, kireçtaşı yeraltı suyu tarafından kolaylıkla çözülerek kayayı oldukça geçirgen hale getirir. Granit ve bazalt gibi kayaçlar ise suyun kolayca akmasına izin verecek şekilde kırılır (Selley vd., 2015). Yaygın su kütleleri şeyl ve çamurtaşı katmanlarıdır (Walters, 1995).



Şekil 2.8. Kumlu ve killi topraktaki gözenek boşluğu (http-16)



Şekil 2.9. Kumlu ve killi topraktaki gözenek boşluğu (http-17)

2.1.4. Hidrokarbon Aramacılığında Takip Edilen Aşamalar

Hidrokarbon aramacılığı maliyet, para ve emek gerektiren uzun bir süreci kapsar. Hidrokarbon aramacılığında takip edilen aşamalar aşağıdaki şekildedir:

- Ruhsat alımı
- Jeolojik çalışmalar
 - o Genel jeoloji: Çalışılacak alana ilişkin daha önce yapılan rapor, harita ve diğer belgelerin toplanarak, ön etüd yapılır.
 - o Saha Jeolojisi: Çalışma alanına ilişkin yapısal jeoloji ve stragrafi incelenir. Söz konusu alanda kesit ölçümü ve numune alımı gerçekleştirilir. Alanın jeolojik haritası yapılır.
- Jeofizik çalışmalar

Kayaçların yüzeylenmediği örtülü alanlarda yer altı jeolojisini ve yeraltındaki kütle dağılımını belirleyebilmek için jeolojik verilere yardımcı bazı verilere ihtiyaç duyulmaktadır. Bu veriler jeofizik yöntemleriyle elde edilir (NASA Report, 2011).

 - o Sismik: Sismik programlama, aplikasyon, yöntem belirleme (dinamit, vibro, vs.) ve sismik sinyal kayıt işlemlerini içerir.
 - o Sismik olmayan: Gravite ve Manyetik yöntemlerini içerir.
 - Manyetik: Kayaçlardaki farklı mıknatıslanma özelliklerinden yararlanılarak farklı kayaçların belirlenmesi için kullanılan bir yöntemdir.

- Gravite: Newton'un çekim yasasına dayanan, kayaçların yerkürenin gravite alanına olan etkilerini ve dağılımlarının çıkarılmasını sağlayan bir yöntemdir.
- Sondaj çalışmaları
Jeolojik, jeofizik ve basen değerlendirmesinden sonra lokasyona karar verilerek, belirlenen lokasyonun araziye aplike edilmesi sonrası sondaj işlemi başlatılır. Log alımı ve yorumu, numune alımı, test ve karot alımı işlemleri sondaj süresince devam eder (Dülger, 2011).
- Rezerv belirleme çalışmaları
Hidrokarbon içeren kuyularda keşif sonrası rezervuar belirleme çalışmaları yapılır (NASA Report, 2011).

2.2. Çok Kriterli Karar Destek Analizleri (ÇKKDA)

Literatürde petrol ve doğalgaz aramalarında hidrokarbon konumunu belirlemek için birçok yöntem kullanılmıştır. Özellikle arama çalışmalarında sismik, gravite ve manyetik yöntem kullanılmaktadır. Mühendislik uygulamalarının çoğu matematiksel ölçütleri temel alır. Ancak hidrokarbon aramacılığında öznel düşünceler ve tecrübe ön plandadır. Bu çalışmada hidrokarbon konumlarını belirlemek için Çok Kriterli Karar Destek Analizleri'nden en yaygın kullanılan Analitik Hiyerarşi Süreci ve Bulanık Mantık Analitik Hiyerarşi Süreci tercih edilmiştir.

ÇKKDA CBS'de kullanılan en önemli temel karar destek sistemidir. ÇKKDA uzman kişiler tarafından belirlenen alternatifler arasından en uygun seçeneği yine daha önceden belirlenen birçok kriter açısından değerlendirerek, optimum seçeneği kullanıcıya sunmayı amaçlayan bir kavramdır. ÇKKDA için Çok Nitelikli Fayda Teorisi, Analitik Hiyerarşi Süreci, Bulanık Küme Teorisi, Vaka Tabanlı Akıl Yürütme, Veri Zarflama Analizi, Basit Çok Nitelikli Değerlendirme Tekniği, Hedef Programlama, ELECTRE, PROMETHEE ve Basit Katkı Ağırlığı gibi birçok yöntem kullanılmaktadır (Malczewski, 1999; Malczewski ve Rinner, 2015).

2.2.1. Analitik Hiyerarşi Süreci (AHP)

Alternatifleri sıralamak için etkin bir şekilde kullanılan ÇKKDA yöntemleri geleneksel ve bulanık olarak sınıflandırılır. Geleneksel ÇKKDA methodları, belirsizliği ele almak için yeterli görülmemektedir (Malczewski , 1999). Bu belirsizliğin karar verme sürecinde bulanık setlerle çözüleceği öngörülmektedir. Bulanık mantık yöntemleri ile daha somut sonuçlar elde edilebilmektedir (Kou vd., 2013)

Enerji alanında bulanık ÇKKDA çalışmaları, yer seçimi, güzergah seçimi , enerji yatırımı, enerji politikası ve enerji stratejisinin belirlenmesi olarak örneklenebilir.

Enerji sorunlarını çözerken dikkate alınan bazı kriterler teknik, çevresel, ekonomik, sosyal ve politiktir. Enerji ile ilgili karar verme problemlerinde seçenekleri söz konusu kriterler açısından değerlendirmek gerekir. Karar verirken önceden belirlenmiş olan farklı kriterleri değerlendirmek için ÇKKDA yöntemleri etkin bir şekilde kullanılabilir.

AHP, literatürde çoklu kriter karar verme yöntemleri arasında en yaygın olarak kullanılanıdır. AHP yönteminin temel özelliği, kullanılan ikili karşılaştırmaların kullanılmasıdır (Kou vd. , 2013). Muhtemel alternatifleri çeşitli kriterlere göre karşılaştırmak ve kriter ağırlıklarını tahmin etmek için kullanılır. Kullanımı kolay; ölçeklenebilir ve hiyerarşik yapısı birçok probleme uyum sağlayacak şekilde kolayca ayarlanabilir. Yoğun bir veri ile çalışmak gerekmez. Fakat karar verme ve kriterlere ağırlık verme arasındaki tutarsızlıklara yol açan problem belirlenen kriterler ve alternatifler arasındaki bağımlılıktır (Malczewski ve Rinner, 2015). Kaynak yönetimi, kurumsal politika ve strateji, kamu politikası, siyasi strateji ve planlama alanlarında kullanılmaktadır (Malczewski , 1999, Wang vd. 2019).

80	80	100
90	90	100
90	100	100

 $+$

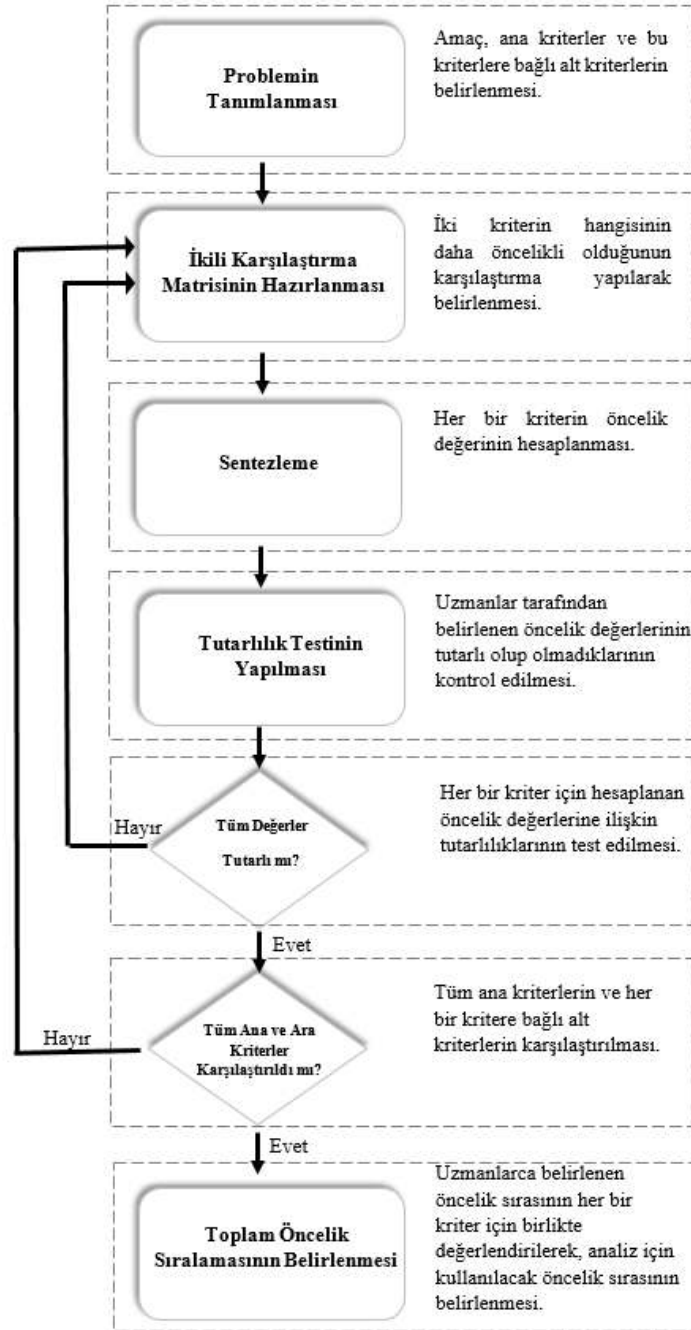
100	100	90
80	80	90
80	80	90

 $=$

90	90	100
90	90	100
90	90	100

Şekil 2.10. Raster Veri Örneği

AHP yöntemiyle belirlenen ağırlıklara göre Ağırlıklı Çakıştırma Yöntemi kullanılarak girdi verilerden analiz sonuçları elde edilmektedir. Ağırlıklı Çakıştırma Yöntemi'ne göre Şekilde 2.110. 'da 1. raster verinin ağırlığının 0.6, 2. Raster verinin ağırlığının ise 0.40 olarak belirlenmiş olduğu düşünülürsen çıktı raster değerleri $(R1n*0.60) + (R2n*0.40) = R3n$ formülüyle hesaplanır.



Şekil 2.11. AHP İşlem Adımları (Emrouznejad vd., 2018)

2.2.2. Bulanık Analitik Hiyerarşi Süreci (AHP)

Belirsiz ve kesin olmayan birçok kavram günlük hayatta karşımıza çıkmaktadır. Kişiye özgü olan duygu, düşünce ve yargı içeren her şeyin içinde aynı zamanda bir belirsizlik vardır. Bu belirsizlik bulanıklık olarak adlandırılır. Mesela, bir şehrin yaşamak için güvenli olup olmadığı, bir kişinin güzel olup olmadığı, bir filmin süresinin uzun olup olmadığı, bir kitabın ilgi çekici olup olmadığı gibi durumlar için bir belirsizlik yani bulanıklık söz konusudur. Bu soruların yanıtlarını bulmak için bir karar mekanizması kullanılmaktadır. Bulanık mantık ise ortaya atılan problemlerin çözümlerine ilişkin insanların karar alma mekanizmasına benzer bir işleyişle çözüm arayışına girer.

Bulanık Mantık küme teorisine dayanmaktadır. Küme teorisine göre bir eleman bir kümenin elemanıdır ya da değildir. X evreninde bir A Fuzzy kümesi tanımlanmış olsun.

$$X = \{x_1, x_2, \dots, x_n\} \quad (2.1)$$

$$A = \{x, \mu_x \mid x \in X\} \text{ (Emrouznejad vd. ,2018)} \quad (2.2)$$

Yukarıdaki eşitlikte $\mu_x, \mu_x(x) : X \rightarrow [0,1]$ olarak tanımlanan üyelik fonksiyonudur ve x ögesinin A kümesine üyelik derecesini gösterir. Eğer bir eleman A kümesine elemanı değilse 0 değerini alır. Üyelik derecesi 1 ve 0 olabileceği gibi iki değer arasında herhangi bir değer de olabilir.

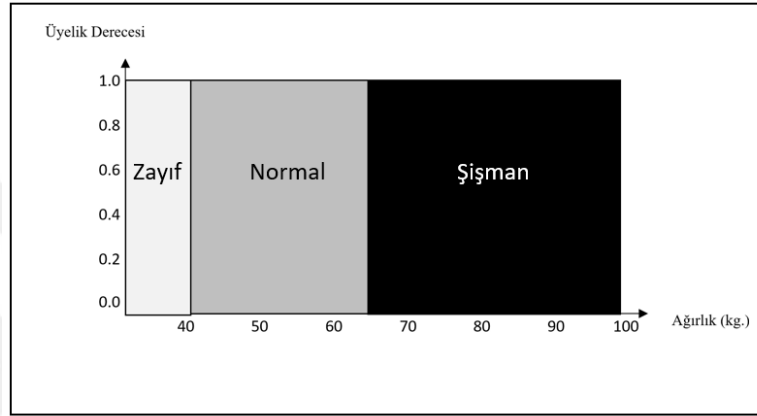
Mesela , yetişkin K,L,M kişileri sırasıyla 40 kg. , 65 kg. ve 100 kg. ağırlığında olsunlar. Söz konusu kişiler zayıf, normal ve şişman olarak aşağıdaki gibi tanımlanırlar.

$$f(x) = \begin{cases} \text{zayıf} & x \leq 40 \text{ kg.} \\ \text{normal} & 40 \text{ kg.} < x \leq 65 \text{ kg.} \\ \text{şişman} & x > 65 \text{ kg.} \end{cases} \quad (2.3)$$

Klasik küme tanımına göre Tablo 1’de görüldüğü gibi K kişisi zayıf, L kişisi normal ve M kişisi de şişman kümesine aittir. Bu kilo tanımını bir grafikte gösterecek olursak; 40 kg ağırlığındaki bir kişi zayıf kümesinin elemanıdır ve üyelik derecesi bu küme için 1’dir (Tablo 2.1). Ancak bu kişinin normal ve şişman kümelerindeki üyelik derecesinin 0 olduğu Şekil 2.12’de görülmektedir.

Table 2.1. Doğrusal Üyelik Tablosu

	Zayıf	Normal	Şişman
K	1	0	0
L	0	1	0
M	0	0	1

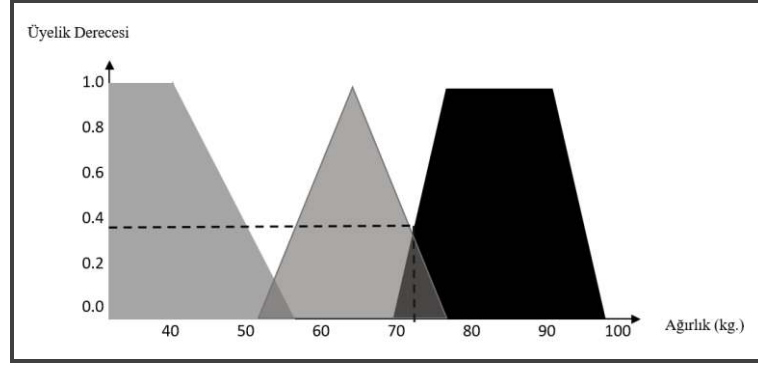


Şekil 2.12. Klasik Üyelik Fonksiyonu

Bulanık mantık küme tanımına göre ise Tablo 2.2’de 75 kg ağırlığındaki M kişisi 0 oranında zayıf kümesinin bir üyesi, 0.30 oranında normal kümesinin üyesi ve 0.40 oranında şişman kümesinin üyesidir. Kümeler arasında keskin bir ayırım bulunmamaktadır.

Tablo 2.2. Bulanık Mantık Üyelik Tablosu

	Zayıf	Normal	Şişman
K	0.80	0.15	0.00
L	0.15	0.60	0.05
M	0.00	0.30	0.40



Şekil 2.13. Bulanık Mantık Üyelik Fonksiyonu

Saaty'nin öncelik teorisini kullanarak birçok araştırmacı AHP yaklaşımını kullanmıştır. Chang D. (1996)'da yaptığı çalışmada Laarhoven ve Pedrycg tarafından 1983 yılında geliştirilen Bulanık Analitik Hiyerarşi Süreci (FAHP) için yeni bir yöntem öne sürmüştür. Geliştirdiği yeni Bulanık Mantık Analitik Hiyerarşi Süreci yönteminin klasik AHP'den en önemli farklı kullanıcıların olumlu ve olumsuz olan öznel görüşlerinin beraberce değerlendirilmesine olanak sağlamasıdır. Uzmanların belirlemiş olduğu ağırlıklar ve üçgen bulanık sayılar kullanılarak ikili karşılaştırma matrisleri oluşturulur.

FAHP ikili karşılaştırma matrisleri kullanılarak kriterlerin ve seçeneklerin subjektif olan önem değerlerini hesaplamak için uygulanır. Öte yandan, Bulanık TOPSIS ve Bulanık VIKOR metotları, mesafeye dayalı yöntemler olarak sınıflandırılır. Bulanık ELECTRE ve Bulanık PROMETHEE metotlarını içeren geçiş metotlarıdır. Bulanık ELECTRE yöntemi, seçenekleri değerlendirmek için geçiş ilişkilerini kullanır.

Bu çalışmada, hidrokarbon potansiyel tahmini için ÇKKDA'ndan olan Bulanık Analitik Hiyerarşi Süreci metodu kullanılmış olup, geleneksel ve bulanık ÇKKDA metotları, bu alanda çalışma yapan araştırmacılara bir yol haritası sağlamak amacıyla incelenmiştir.

Bulanık küme teorisi, klasik küme teorisinin bir uzantısıdır. Kesin olmayan girdiye izin vermesi ve yetersiz bilgiyi dikkate alması bu yöntemin avantajlarından. Ancak geliştirilmesi zordur ve kullanmadan önce çok sayıda simülasyon gerektirebilir. Mühendislik, ekonomi, çevresel, sosyal, tıp ve birçok alanda sıklıkla kullanılmaktadır.

Bulanık AHP' de AHP ile aynı işlem adımlarını izler ancak matematiksel olarak işlem yoğunluğu AHP'ye oranla daha fazladır. Saaty ölçeğine göre değerlendirilen

öncelik değerleri bulanık sayılar şeklinde ifade edilir (Emrouznejad vd. , 2018) (Tablo 2.3).

Tablo 2.3. Saaty Önem Ölçeği
(Saaty,2003)

Önem Derecesi	AHP Ölçeği	
Eşit derecede önemli	1	(1,1,1)
Orta derecede önemli	3	(2,3,4)
Yüksek derecede önemli	5	(4,5,6)
Çok yüksek derecede önemli	7	(6,7,8)
En yüksek derecede önemli	9	(9,9,9)
Orta Değerler	2	(1,2,3)
	4	(3,4,5)
	6	(5,6,7)
	8	(7,8,9)

AHP’de kullanılan ikili karşılaştırma matrisinde kesirli ifadeler ise Tablo 2.4.’deki gibi ağırlıklandırılır (Emrouznejad vd. ,2018).

Tablo 2.4. FAHP Önem Ölçeği

AHP Ölçeği	FAHP Ölçeği
1	(1/1,1/1,1/1)
1/2	(1/3,1/2,1/1)
1/3	(1/4,1/3,1/2)
1/4	(1/5,1/4,1/3)
1/5	(1/6,1/5,1/4)
1/6	(1/7,1/6,1/5)
1/7	(1/8,1/7,1/6)
1/8	(1/9,1/8,1/7)

Uzman tarafından m olarak değerlendirilmiş bir kriter için bulanık mantık değeri aşağıdaki şekilde hesaplanır. A karşılaştırma matrisindeki A_{ij} elemanı (l,m,u) ise A_{ij}^{-1} elemanı $\left(\frac{1}{u}, \frac{1}{m}, \frac{1}{l}\right)$ şeklinde tanımlanır (Emrouznejad vd. ,2018).

$$A_{ij} = (l, m, u) \quad (2.4)$$

$$A_{ij}^{-1} = (l, m, u)^{-1} = \left(\frac{1}{u}, \frac{1}{m}, \frac{1}{l}\right) \quad (2.5)$$

C1, C2, C3 ve C4 kriterlerine göre bir A karşılaştırma matrisi oluşturulur.

Tablo 2.5. A Karşılaştırma Matrisi

	C	C	C	C
	1	2	3	4
1	1	2	2	4
2	1/2	1	1	3
3	1/2	1	1	3
4	1/4	1/3	1/3	1

Bu karşılaştırma matrisi için bulanık sayılardan oluşan ikinci bir matris yaratalım.

Tablo 2.6. FAHP Karşılaştırma Matrisi

	C ₁	C ₂	C ₃	C ₄
1	C (1,1,1)	(1,2,3)	(1,2,3)	(3,4,5)
2	C (1/3,1/2,1/1)	(1,1,1)	(1,1,1)	(2,3,4)
3	C (1/3,1/2,1/1)	(1,1,1)	(1,1,1)	(2,3,4)
4	C (1/5,1/4,1/3)	(1/4,1/3,1/2)	(1/4,1/3,1/2)	(1,1,1)

Bu matristeki her bir satır için bulanık mantık geometrik ortalamalar

hesaplanır.

$$r_1 = ((1 * 1 * 1 * 3)^{\frac{1}{4}}, (1 * 2 * 2 * 4)^{\frac{1}{4}}, (1 * 3 * 3 * 5)^{\frac{1}{4}}) = (0.75, 4, 11.25) \quad (2.6)$$

Bulanık Ağırlıklar ise:

$$\tilde{w}_l = \tilde{r}_l \otimes (\tilde{r}_1 \otimes \tilde{r}_2 \otimes \dots \otimes \tilde{r}_n)^{-1} \quad (2.7)$$

$$A_1 \otimes A_2 = (l1, m1, u1) \otimes (l2, m2, u2) = (l1 + l2, m1 + m2, u1 + u2) \quad (2.8)$$

$$r_1 \otimes r_2 \otimes r_3 \otimes r_4 = (3.091, 4.154, 5.382) \quad (2.9)$$

$$(r_1 \otimes r_2 \otimes r_3 \otimes r_4)^{-1} = (1/5.382, 1/4.154, 1/3.091) \quad (2.10)$$

Tablo 2.7. FAHP Ağırlık Tablosu

Fuzzy Geometrik Ortalama	Fuzzy Ağırlıkları
(1.316, 2.2.59)	(1.316, 2.2.59) x (1/5.382, 1/4.154, 1/3.091)
(0.904, 1.107, 1.414)	(0.904, 1.107, 1.414) x (1/5.382, 1/4.154, 1/3.091)

$$\begin{matrix} (0.537,0.639,0.841) \\ (0.334,0.408,0.537) \end{matrix}$$

$$\begin{matrix} (0.537,0.639,0.841) \times (1/5.382, 1/4.154, 1/3.091) \\ (0.334,0.408,0.537) \times (1/5.382, 1/4.154, 1/3.091) \end{matrix}$$

Her bir satır için COA (Center of Area) değerleri üç gensel bulanık mantık değer ortalamaları alınarak hesaplanır. Klasik AHP yönteminde olduğu gibi sütun toplamalarına bakılır, 1'den farklı bir değerdeyse sonuçlar normalize (w_n) edilir (Emrouznejad vd. , 2018).

$$COA = w_i = (l+m+u)/3 \quad (2.11)$$

$$w_t = w_1 + w_2 + w_3 + \dots + w_n \quad (2.12)$$

$$w_n = w_i / w_t \quad (2.13)$$

2.3. Makine Öğrenmesi

2.3.1. Sınıflandırma

Veri madenciliğinde sistemin problemin çözümüne giden yolu öğrenmesi ve bu yeni öğrendiği yolu diğer problemlerde de kullanması için tahmin modeli kullanılır. Sistemin kullandığı tahmin etme modeli ise geçmişte yaşanan olaylardan gelecekte yaşanacak durumlara ulaşmayı amaçlamaktadır. Bir pazar araştırması yaparken insanları gelir seviyelerine göre ayırmak istediğimizi varsayalım. Yaşı, araba modeli, eğitim seviyesi, medeni durumu gibi veri setlerinden gelir seviyesini tahmin edebiliriz.

Tahmin etme için sınıflandırma ve regresyon modelleri olmak üzere iki farklı model kullanılmaktadır. Sınıflandırma, verilen bir örneğin önceden belirlenmiş gruplar içerisinde hangi gruba dahil edileceği kararının verilmesi işlemidir. Regresyon ise iki ya da daha fazla değişkenin birbirleriyle olan ilişkisini matematiksel olarak ifade eden bir tahmin tahmin etme yöntemidir (http-18). Problemin tanımlanması, verilerin anlamlandırılması, verilerin hazırlanması, algoritmaların değerlendirilmesi, sonuçların geliştirilmesi ve sunulması aşamalarını içerir (Han vd. , 2012).

Veri madenciliğinde kullanılan sınıflandırma algoritmaları öğrenme sürecinin önemli bir parçasıdır. Örneğin, bir bankacı hangi kredi başvuru sahiplerinin banka için "güvenli" ve hangilerinin "riskli" olduğunu öğrenmek için, bir pazarlama şirketi belirli

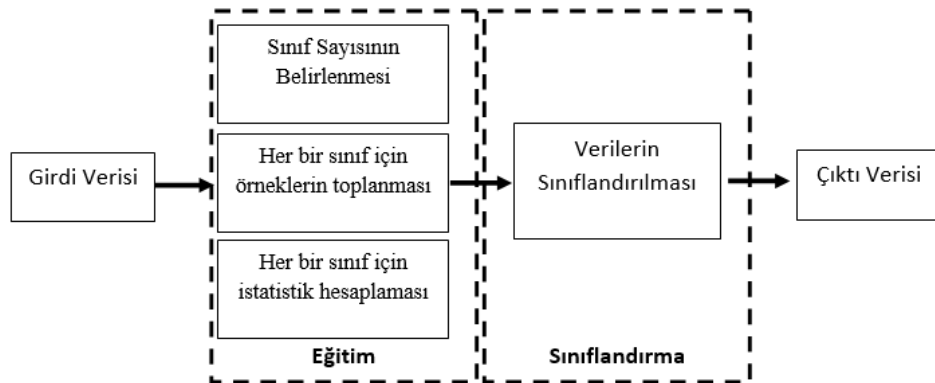
bir profile sahip bir müşterinin yeni bir bilgisayar satın alıp almayacağını tahmin etmeye yardımcı olması için, bir tıp araştırmacısı bir hastanın üç özel tedaviden hangisini alması gerektiğini tahmin etmek için geçmişteki meme kanseri verilerinin analizine ihtiyaç duyar. Bu örneklerin her birinde veri analizi sonunda kredi başvuru verileri için "güvenli" veya "riskli", pazarlama verileri için "evet" veya "hayır", veya tıbbi veriler için "tedavi A", "tedavi B" veya "tedavi C" şeklinde sınıf etiketlerini tahmin etmek için bir model oluşturularak sınıflandırma yapılır. ". Bu sınıflardaki etiketler, değerler arasındaki sıralamanın hiçbir anlamı olmadığı ayrık değerlerle temsil edilebilir. Örneğin, tedavileri temsil etmek için "tedavi A", "tedavi B" ve "tedavi C" yerine 1, 2 ve 3 değerleri kullanılabilir.

2.3.1.1. Kontrollü Sınıflandırma

Kontrollü sınıflandırma yönteminde bir uzmanın sürekli olarak sisteme bilgi sağlaması söz konusudur. Sistemde hangi sınıfların ve kaç sınıfın olacağı sınıflandırma işlemi yapılamadan önce belirlenir. X verisinin sınıfı A, Y verisinin sınıfı B şeklinde sisteme hangi verinin hangi sınıfa dahil edileceği bir uzman tarafından öğretilir.

Eğitim verileri kullanılarak çıkarılan sınıflandırma kuralı kullanılarak bir sınıflandırma modeli oluşturulur ve test verileri ile kontrol ederek bu modeli uygularız.

Kontrollü sınıflandırma yöntemlerinden en yaygın olarak kullanılan En Kısa Uzaklık (KNN Algoritması) , Paralelkenar , Maksimum Olabilirlik, Mahalanobis Uzaklığı Karar Kuralı gibi algoritmalar (Han vd., 2012).



Şekil 2.14. Kontrollü Sınıflandırma İşlem Adımları

2.3.1.2. Kontrolsüz Sınıflandırma

Kontrolsüz sınıflandırma yönteminde sistemin kendi kendine eğitilmesi söz konusudur. Sistemde hangi sınıfların olduğu ve kaç sınıfın olacağı gibi sorulara sistemin girdi verilerini kullanarak kendisinin bulması ve sınıflandırmayı da bu verilere dayanarak kendisinin yapması beklenir. Öncelikle doğal veri kümeleri kullanılarak her bir sınıf için oluşan örüntüler yardımıyla sınıflandırma işlemi gerçekleştirilir. Daha sonra hava fotoğrafı, uygu görüntüsü gibi referans veriler kullanılarak sınıflandırılan veri yorumlanır. Son olarak da istatistiki hesaplar yapılarak çıktı verisi üretilir. En sık kullanılan kontrolsüz sınıflandırma yöntemi bir örneğin küme merkezlerine olan uzaklıkları hesaplanarak, bu örneğin en yakın olduğu küme merkezinin bulunduğu kümeye atanması yaklaşımına sahip olan K-Ortalamlar Algoritmasıdır. RGG kümeleme, ISODATA ve İstatistiksel Kümeleme Yöntemi en sık kullanılan kontrolsüz sınıflandırma yöntemlerindendir (Han vd., 2012, ve Whei vd. ,2018).

Veri madenciliğinde kullanılan yapay zeka insan zekasını taklit ederek verilerin sınıflandırılmasını esas alır. Makine bazı durumlarda kontrollü sınıflandırma yöntemi kullanarak, bazı durumlarda kontrolsüz sınıflandırma yöntemi ile ve bazı durumlarda da her iki yöntemi de kullanarak sınıflandırma işlemini gerçekleştirir.

Sınıflandırma algoritmaları:

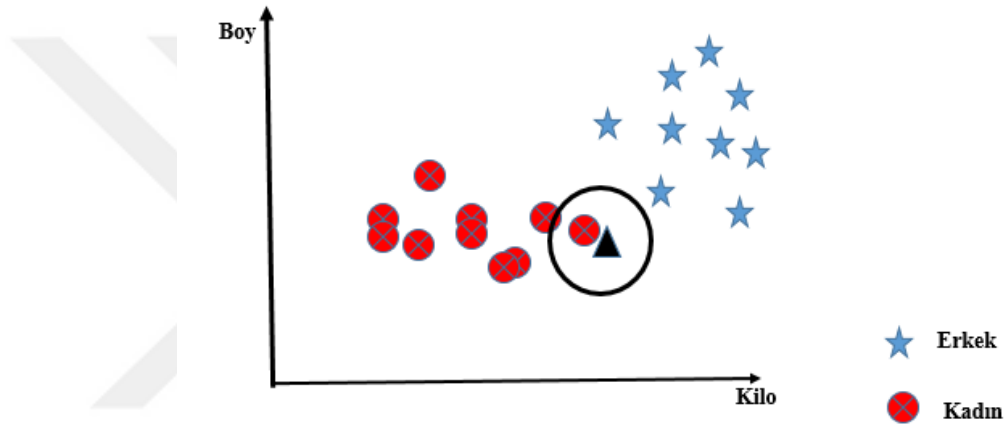
- Sınıflandırma işlemini gerçekleştirmek için,
- Bir veriye ilişkin sayısal tahmin yapmak (gelir düzeyi, vs.) için,
- Kredi onayları, deprem risk tahmini, tıbbi araştırmalar, Pazar araştırmaları, suçlu kişilerin ortak özelliklerinin çıkarılması gibi özel uygulamalar için de kullanılabilir.

Makine öğrenmesi, veri biliminde kullanılan girdi verilerine dayalı tahmin etme işlemini sınıflandırma ve regresyon kullanarak otomatize eden bir algoritmalar bütünüdür. Makine öğrenmesinde en sık kullanılan yöntemler ise KNN Algoritması, Naive Bayess ve Karar Ağaçlarıdır (Han vd. , 2012).

2.3.2. Sınıflandırma Algoritmaları

2.3.2.1. KNN Algoritması

K-NN Algoritması bir örneği en yakın komşuluğunu kullanarak sınıflandırma yapan bir kontrollü sınıflandırma yöntemidir. Bu algoritma Şekil 2.15'deki gibi kişilerin boy ve kilo bilgisi ile oluşturulan bir veri setinden cinsiyeti tahmin etmek kullanılabilir. Şekilde üçgen şeklinde ifade edilen bir örneğin cinsiyetini tahmin etmek için en yakın mesafede olduğu kırmızı daire ile ifade edilen kadın veri kümesine daha yakın olduğundan bu veri sınıfına atanarak sınıflandırma işlemi gerçekleştirilir (Han vd., 2012).



Şekil 2.15. KNN Veri Kümesi

2.3.2.2. Bayes Sınıflandırma Yöntemi

Bayes Sınıflandırma Yöntemi olasılık teorisine dayanarak sınıflandırma yapan istatistiksel bir sınıflandırma yöntemidir. Bir örneğin hangi sınıfa dahil olduğu olasılık hesaplarına göre belirlenir. Bayes sınıflandırma yönteminin kolaylaştırılmış versiyonu Naif (naive) Bayes Yöntemi olarak adlandırılır. Sistemi eğitim sürecinde yapılan hesaplamalar karmaşıktır (Han vd., 2012).

Naive Bayes Sınıflandırma Yöntemini Tablo 2.8'de görülen bilgisayar satın alma istatistiklerine dayanan bir veri seti üzerinde incelemek yöntemin anlaşılması açısından faydalı olacaktır.

Tablo 2.8'de verilen veri setini eğitim seti olarak kullanarak verilen bir örneğin Naive Bayes Sınıflandırma yöntemi ile örneğin hangi sınıfa dahil edileceği, her bir

öznitelik için olasılık hesabi yapılarak bulunur. (Han J. vd. ,2012) Tablo 2.8.'de bilgisayar satın alan kişi sayısı 9 satın almayan kişi sayısı da 5'tir. Bilgisayar satın alma olasılığı bilgisayar satın alan kişi sayısının toplam kişi sayısına bölünmesiyle (9/14) bulunur.

Tablo 2.8.
Bilgisayar
Satın Alma
Veri Seti
(http-2)

yaş	gelir	öğrenci	kredi puanı	bilgisayar satın alma
<=30	yüksek	hayır	düşük	hayır
<=30	yüksek	hayır	yüksek	hayır
31...40	yüksek	hayır	düşük	evet
>40	orta	hayır	düşük	evet
>40	düşük	evet	düşük	evet
>40	düşük	evet	yüksek	hayır
31...40	düşük	evet	yüksek	evet
<=30	orta	hayır	düşük	hayır
<=30	düşük	evet	düşük	evet
>40	orta	evet	düşük	evet
<=30	orta	evet	yüksek	evet
31...40	orta	hayır	yüksek	evet
31...40	yüksek	evet	düşük	evet
>40	orta	hayır	yüksek	hayır

$$P(X|C_i) = \prod_{k=1}^n P(x_k|C_i) \quad (2.14)$$

Bilgisayar satın alma: Evet □ 9

Bilgisayar satın alma: Hayır □ 5

P (bilgisayar satın alma= Evet) = 9/14 = 0.643

$$P(\text{bilgisayar satın alma} = \text{Hayır}) = 5/14 = 0.357$$

$$P(\text{yas} \leq 30 \text{ ve bilgisayar satın alma} = \text{Evet}) = 2/9 = 0.222$$

$$P(\text{yas} \leq 30 \text{ ve bilgisayar satın alma} = \text{Hayır}) = 3/5 = 0.6$$

$$P(\text{gelir} = \text{orta ve bilgisayar satın alma} = \text{Evet}) = 4/9 = 0.444$$

$$P(\text{gelir} = \text{orta ve bilgisayar satın alma} = \text{Hayır}) = 2/5 = 0.4$$

$$P(\text{öğrenci} = \text{Evet ve bilgisayar satın alma} = \text{Evet}) = 6/9 = 0.667$$

$$P(\text{öğrenci} = \text{Evet ve bilgisayar satın alma} = \text{Hayır}) = 2/5 = 0.4$$

$$P(\text{kredi puanı} = \text{düşük ve bilgisayar satın alma} = \text{Evet}) = 6/9 = 0.667$$

$$P(\text{kredi puanı} = \text{düşük ve bilgisayar satın alma} = \text{Hayır}) = 2/5 = 0.4$$

$$A = P(\text{yas} \leq 30, \text{gelir} = \text{orta}, \text{öğrenci} = \text{Evet}, \text{kredi puanı} = \text{düşük})$$

$$P(A | \text{bilgisayar satın alma} = \text{Evet}) = 0.222 \times 0.444 \times 0.667 \times 0.667 = 0.044$$

$$P(A | \text{bilgisayar satın alma} = \text{Hayır}) = 0.6 \times 0.4 \times 0.2 \times 0.4 = 0.019$$

Yaşı 30'dan küçük, gelir seviyesi orta, öğrenci ve kredi puanı düşük bir kişiye A dersek, A durumunda birinin bilgisayar satın alma eğilimi 0.044, bilgisayar satın almama eğilimi 0.019'dur.

A durumunda birinin bilgisayar satın alma eğilimi ile herhangi bir durumdaki kişinin bilgisayar satın alma eğilimi ise:

$$P(A | \text{bilgisayar satın alma} = \text{Evet}) \times P(\text{bilgisayar satın alma} = \text{Evet}) = 0.044 \times 0.643 = 0.028$$

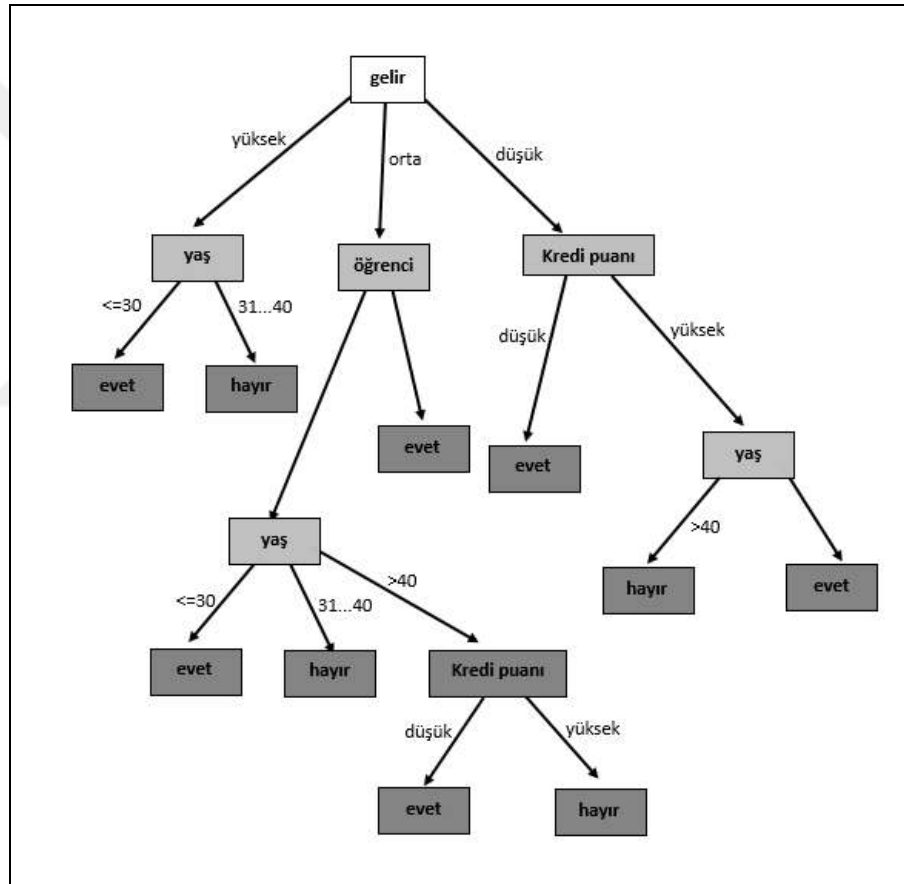
A durumunda birinin bilgisayar satın almama eğilimi ile herhangi bir durumdaki kişinin bilgisayar satın almama eğilimi ise:

$$P(A | \text{bilgisayar satın alma} = \text{Hayır}) \times P(\text{bilgisayar satın alma} = \text{Hayır}) = 0.019 \times 0.357 = 0.007$$

Yaşı 30'dan küçük, gelir seviyesi orta, öğrenci ve kredi puanı düşük bir kişinin bilgisayar satın alma olasılığı satın almama olasılığından fazla olduğundan bu özelliklerdeki bir kişi bilgisayar alabilir şeklinde sınıflandırılır (http-2).

2.3.2.3. Karar Ağaçları

Makine öğrenmesinde kullanılan sınıflandırma yöntemlerinden biri de Karar Ağaçlarıdır. Karar ağaçları bir veri setinde daha önceden oluşan durumlara göre yeni bir veriyi sınıflandırmak için kullanılmaktadır. Veri kümesinden bir karar ağacı çıkarmak ve elimizdeki veri kümesine göre ağacın nasıl dallandığını çıkarmak karar ağaçlarının yapısını anlamak için önemlidir. Elimizdeki bilgisayar satın alma veri seti ile örnekleme yapacak olursak şekil 2.16'daki gibi bir karar ağacı oluşturmak mümkündür (Han vd., 2012 ve http-2).



Şekil 2.16. Karar Ağacı Örneği (http-2)

Bir karar ağacı 3 ana bileşenden oluşur.

- **Kök düğüm:** Ağacın dallanmaya başladığı ana kök olarak adlandırılır. Şekil 2.17'deki gelir örnek veri setindeki kök düğümdür..

- Alt düğüm: Kök düğümünden sonra ağacın hangi yöne doğru gideceğini belirledikten sonraki düğümdür. Her bir düğüm belirlenen kriterler olarak düşünülebilir.
- Yapraklar: Her bir kriter için sunulan seçenek sayısıdır.

Bir karar ağacı oluşturduğumuzda, kök düğümünden başlayarak seçenekler kontrol edilir ve kontrol durumuna göre genişleyen yapraklardan biri seçilerek bir sonraki düğüm atanır. Tüm karar koşulları bir yaprak düğüme yol açtığında karar ağacının tamamlandığı söylenir. Yaprak düğüm ise karar doğrultusunda ya da tam tersi oy veren sınıf etiketini içermektedir (Han vd., 2012).

En iyi düğüm belirleme ya da bölme işlemi Greedy algoritması kullanılarak yapılmaktadır. Aynı sınıfa ait örnekler bir düğümün altında toplanmaktadır. Greedy yaklaşımında örneklerin çoğunluğunun bir sınıfa atanması o düğümün kalitesini göstermektedir (Han vd., 2012).

Algoritmalar karar ağacını en iyi bölen özneliği belirlemek için bilgi kazancı, bilgi oranı ve gini indeksi gibi farklı iyilik fonksiyonları kullanabilir.

Bilgi Kazancı ID3/C4.5 algoritması olarak da bilinir. Bütün sistemlerde bilgi değerleri ve sınıflandırma problemindeki sınıf etiketlerine göre sınıflandırma değerleri hesaplanır. Entropiye dayalı çalışan bir algoritmadır (Han vd., 2012).

Her bir öznelik için bilgi değerleri aşağıdaki formüle göre hesaplanır.

$$Info(D) = - \sum_{i=1}^m p_i \log_2 p_i \quad (2.15)$$

Hesaplanan bilgi değerleri toplam bilgi değerinden çıkarılarak her öznelik için ne kadar bilgi kazancı sağlandığı hesaplanır. En yüksek kazanç getiren öznelik ağacın en tepesinde olan kök düğüm olarak belirlenir.

$$Gain(A) = Info(D) - Info_A(D) \quad (Han \text{ vd.}, 2012) \quad (2.16)$$

Örnek veri kümesi için bilgi kazancı :

Bilgisayar satın alma: Evet → 9

Bilgisayar satın alma: Hayır → 5

$$\text{Info}(D) = I(9,5) = -\frac{9}{14} + \log_2\left(\frac{9}{14}\right) - \frac{5}{14} + \log_2\left(\frac{5}{14}\right) = 0.940 \text{ olarak hesaplanır.}$$

Bir sistemin entropisi, sistemin ne kadar belirsiz olduğu bilgisini içerir. Her bir öznitelik için entropi hesaplamamız gerekmektedir. Hesaplanan bu entropi değeri karar ağacını ilk önce hangi özniteliği kullanarak böleceğimizi bulmamızı sağlar. Entropi değeri 0 ile 1 arasında bulunan bir değerdir. Eğer bir veri kümesindeki tüm örnekler bir sınıfa aitse entropi değeri 0, örnekler eşit bir şekilde dağılmışsa entropi değeri 1, örnekler rastgele dağılmışsa entropi değeri 0 ile 1 arasında bir sayıdır (Han vd., 2012).

Tablo 2.9. Yaşa göre Bilgisayar Satın Alma Olasılık Tablosu

yaş	pi	ni	I (pi,ni)
<=30	2	3	0.971
31...40	4	0	0
>40	3	2	0.971

$$\text{Infoyaş}(D) = \frac{5}{14} I(2,3) + \frac{4}{14} I(4,0) + \frac{5}{14} I(3,2) = 0.694$$

Tablo 2.9. 'da yaşa göre kişilerin bilgisayar satın alma sayısı ve olasılıkları görülmektedir. Örnek veri kümesinde 30 yaş altı kişi sayısı 5, 31-40 yaş arasında bulunan kişi sayısı 4 ve 40 yaş üstü kişi sayısı da 5 olarak verilmiştir. Her bir öznitelik için hesaplanan bilgi kazancı değerleri:

$$\text{Gain (yaş)} = \text{Info}(D) - \text{Infoyaş}(D) = 0.940 - 0.694 = 0.246$$

$$\text{Gain (gelir)} = \text{Info}(D) - \text{Infogelir}(D) = 0.029$$

$$\text{Gain (öğrenci)} = \text{Info}(D) - \text{Infoöğrenci}(D) = 0.151$$

$$\text{Gain (kredi_puanı)} = \text{Info}(D) - \text{Infokredipuanı}(D) = 0.048 \text{ 'dir.}$$

En yüksek bilgi kazancı değeri yaş özniteliği için çıktığından dolayı kök düğüm olarak yaş özniteliği tanımlanır. Bu tanımlamaya göre karar ağacının daha dengeli bölüneceği öngörülür.

Karar ağacı bölme algoritmalarından bir diğeri IBM tarafından geliştirilen GINI indeksi'dir (CART, IBM IntelligentMiner). Bu algoritma CART (Classification and Regression Tree) algoritması olarak da adlandırılır.

$$\text{gini}(D) = 1 - \sum_{j=1}^n p_j^2 \quad (2.17)$$

GINI indeksi için gereken hesaplama bilgi kazancı yönteminden çok daha kolaydır. Örnek veri setindeki bilgisayar satın alma olasılıklarının hesaplanarak karelerinin alınıp, bu değerlerin toplanması sonucu GINI indeks değerleri bulunur.

Bilgisayar satın alma: Evet → 9

Bilgisayar satın alma: Hayır → 5

$$\text{gini}(D) = 1 - \left(\frac{9}{14}\right)^2 - \left(\frac{5}{14}\right)^2 = 0.459$$

Karar ağaçlarında sistemin aşırı eğitilmesi sonucunda ezberlemeye yakın bir durum oluşması aşırı uyum (overfitting) problemini ortaya çıkarmaktadır. Aşırı uyum probleminden kaçınmak için ise karar ağacına ilk budama ya da son budama işlemi yapılmaktadır. İlk budama işlemi ile karar ağacı oluşturulurken gereksiz dallanmaları en baştan tespit edip önlemek mümkündür. Son budama işlemi ise karar ağaç yapısı oluştuktan sonra gereksiz dallanmaları kesmek üzerine kurulu bir yöntemdir (Han vd. , 2012).

Karar ağaçları toplu öğrenme yöntemlerinde birlikte çalışma prensibine göre çalışır. Birlikte çalışma yöntemleri torbalama (bagging) ve hızlandırma (boosting) yöntemleridir.

- Torbalama: Karar ağaçlarından çıkan sonuçlara göre çoğunluğun oy eğilimini dikkate alan toplu öğrenme yöntemidir.
- Hızlandırma: Karar ağaçlarından çıkan sonuçlara ağırlık verilerek sınıflandırma yapan bir yöntemdir (Han J. ve diğerleri (2012)).

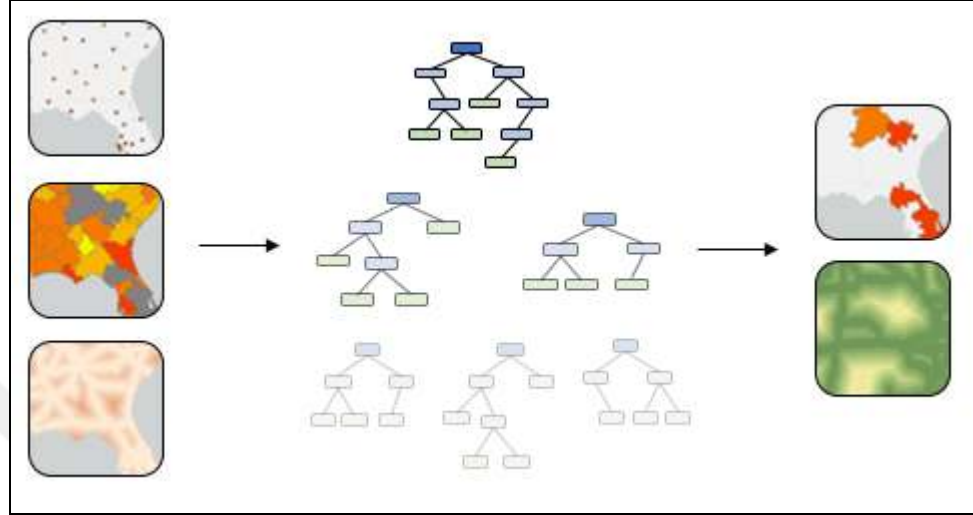
Algoritmanın doğru çalışabilmesi için her model eğitim gerektirir. Şekil 2.17'deki mavi daireler modeli eğitebilmek için belirlenen kriterlerin bilinen değerleridir. Örneğin, Arazi Kullanım Tahmin Haritası üretmek için bu değer bir alana düşen piksel değerlerinin orman ya da tarım arazisi olup olmadığı bilgisi iken, Seçmen Tercihi Tahmini Haritası için çalışma alanında daha önce yapılmış olan seçim bilgileridir. Rastgele Orman Algoritması, sınıflandırma sonucunu karar ağaçlarından oluşan ormanı kullanarak tahmin eder. Karar ağaçları akış şemaları gibidir ve önceden belirlenen kriterlere ait özniteliklere göre bir özelliğin sınıfını veya değerini tahmin etmek için bir dizi kural oluştururlar (http-4). Örneğin bir karar ağacı herhangi bir sınıflandırma probleminde yeni bir örneğin sınıfını tahmin etmek için kullanıldığında açıklayıcı değişken olarak girdiğimiz değerler hakkında bir sürü soru yanıtlayarak örneğin sınıfını tahmin edecektir (Han vd. , 2012).

Rastgele Orman Algoritmasını en güçlü kılan şey, birçok karar ağacından oluşan bir topluluk oluşturmaktır. Bu nedenle adına orman denir. Rastlantısal olarak adlandırılmasının nedeni ise her ağacın eğitim verilerinin yalnızca rastgele bir alt kümesi ve açıklayıcı değişkenlerin de rastgele bir alt kümesi kullanılarak eğitilmesidir.

Her ağaç, kendisine verilen rastgele veri ve değişken alt kümelerini tahmin etmek için elinden gelenin en iyisini yapar. Herhangi bir tekil karar ağacı tek başına güçlü bir belirleyici değildir. Çünkü eğitim verilerine aşırı uyma eğilimindedir. Aşırı uyum, modelin bir eğilimi genellemek yerine eğitim veri setini çok yakından taklit ettiğinde meydana gelir. Böylece model yalnızca eğitildiği verileri tahmin edebilir. Her bir ağacın rastgele bir veri ve değişken alt kümesiyle eğitilmesi nihai bir tahmin oluşturmak için tek bir ağaç yerine tüm ormanın kullanılması, eğitim verilerine aşırı uyumun önlenmesine yardımcı olur. Modeli eğitmek için kullanılmayan yeni özelliklerin değerlerini tahmin edebilmek için genelleştirilmiş bir model oluşturmak çok önemlidir. Model performansını değerlendirmenin önemli bir yolu, modeli eğitim veri kümesine dahil edilmeyen özelliklerin değerlerini tahmin etmek için kullanmaktır (http-4).

ESRI yazılımlarından biri olan ArcGIS Pro makine öğrenim yöntemlerinden biri olan Leo Breiman'ın Rastlantısal Orman Algoritmasını kullanarak sınıflandırma yaparak tahmin modelleri üretmektedir. Modelin ürettiği tahminler hem sınıflandırmada

kullanılan kategorik değişkenler hem de regresyonda kullanılan sürekli değişkenler içindir. Açıklayıcı değişkenler mesafe analizleri, vs gibi coğrafi analizler kullanılarak ek değişkenlere dönüştürülebilir ve bu değişkenler modeli iyileştirmek için kullanılabilir (http-4).



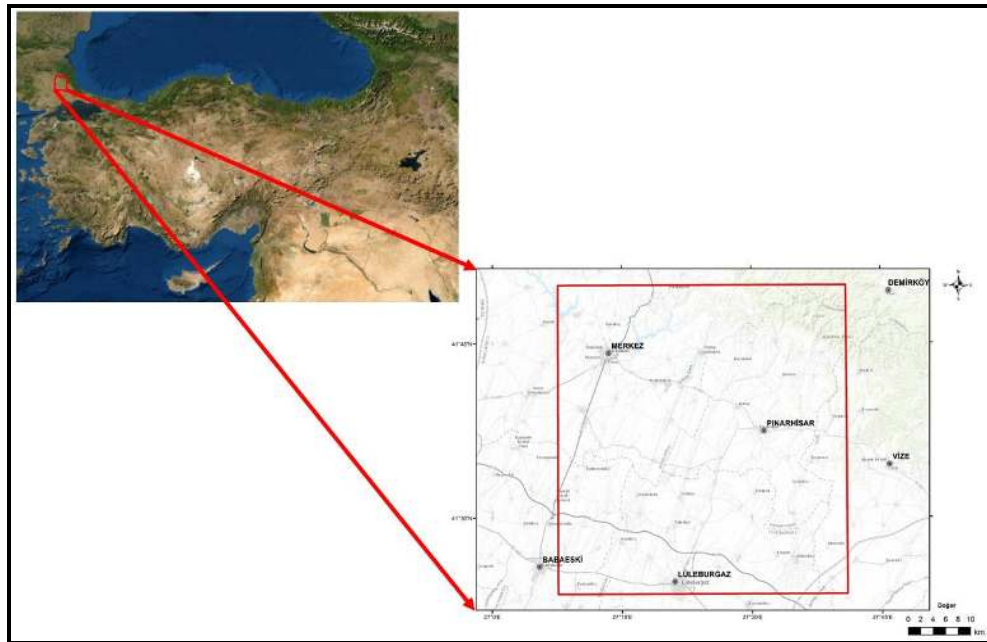
Şekil 2.18. ArcPro Rastlantısal Orman Algoritması Gösterimi (http-4)

ArcPro yazılımında kullanılan sınıflandırma tahmin modeli oluşturmak için karar ağaçları topluluğu olarak adlandırılan yüzlerce ağacı barındırır. Her karar ağacı, eğitim verilerinden rastgele oluşturulmuş bir veri setiyle eğitilir. Her ağaç kendi tahminini üretir ve bu tahmin sonrasında bir sınıf için oy verir (http-4). Karar ağaçları topluluğunun oluşturduğu Orman modeli, bilinmeyen bir örneğin hangi sınıfa dahil olduğunu bulmak için tüm karar ağaçlarından gelen oyları dikkate alır. Tüm ağaçlardan gelen oyların dikkate alınması önemlidir çünkü karar ağaçlarının tek başına değerlendirilmesi modele aşırı uyum sorununu da beraberinde getirir (Han vd. , 2012).

3. MATERYAL VE METOD

3.1. Çalışma Alanı

Bu çalışma Trakya bölgesi, Kırklareli İlinde yaklaşık 2400 km²'lik alanı kaplayan bir sahada yapılmıştır. Söz konusu alan Ergene havzası içinde bulunmaktadır. Ergene havzası hidrokarbon ve diğer yer altı kaynakları bakımından zengin bir havza olup, ekonomik değeri olan önemli havzalarımızdandır. MTA ve TPAO gibi kurum, kuruluş ve şirketlerin çalışma alanında birçok çalışması bulunmaktadır.



Şekil 3.1. Çalışma Alanı

Çalışma alanının bulunduğu Trakya Ergene Havzasına ilişkin stragrafik ve litolojik bilgileri içeren jeolojik yapı Şekil 3.2' de özetlenmiştir (Siyako, 2006). Çalışma alanında TPAO sondaj verilerinden elde edilen bilgilere göre Osmancık, Mezardere, Hamitabat ve Ceylan formasyonlarında hidrokarbona rastlanılmıştır.

Trakya Havzası, Paleozoyik ve Mesozoyik temel kayaçlar üzerine gelen Tersiyer yaşlı birimlerden oluşan üçgen şekilli bir havzadır (Siyako, 2006). Temel kayaçlar , doğuda İstanbul Paleozoği, kuzeyde Istranca Masifi ve Ü. Kretase ada yayı magmatikleri, batıda Rodop Masifi ve güneyde Sakarya Kıtası birimleri ve Ofiyolitik Melanjı olmak üzere 4 ayrı grupta toplanmaktadır yapılmıştır (Perinçek vd. ,2015).

Trakya Havzasını oluşumu A.-O Eosende başlamıştır. Oluşan bu havzaya çökelen Tersiyer birimleri, çoğunlukla kırıntılı sedimanlardan oluşmakla beraber karbonat seviyeleri de içermektedir yapılmıştır (Siyako, 2006). Hidrokarbon aramacılığı bu Tersiyer istifi içerisinde yapılmaktadır. Havza içerisinde TPAO ile birlikte yerli ve yabancı firmalar tarafından 1000'den fazla kuyu kazılmış ve 10 milyar m³'ten fazla gaz üretimi yapılmıştır.

Daha önceki çalışmalar incelendiğinde, Trakya Ergene havzasındaki kaynak kayalar Hamitabat (Alt-Orta Eosen) formasyonu ve Mezardere formasyonu (Alt Oligosen), rezervuar kayalar ise Hamitabat (Alt-Orta Eosen), Soğucak (Üst-Eosen) Osmancık formasyonu (Üst Oligosen), Danişmen formasyonu (Alt Miyosen), Kirazlı formasyonudur (Üst Miyosen) (Perinçek vd. , 2015).

YAŞ	FORMASYON	KALINLIK (m)	L İ T O L O J İ	ÇÖKELME ORTAMI
KUATERNER	ALÜVYON		Kum, kil, silt	Güncel
PLİYOSEN	TRAKYA FORMASYONU	50	Çakıltı, kumtaşı	Akarsu ve alüvyon yelpazesi
MİYOSEN	ERGENE FORMASYONU	100-500	Kumtaşı, kilitaşı ve silttaşı	Acı sulu göl ve akarsu
	ÇEKMECE FORMASYONU	100-200	Çamurtaşı, kumtaşı, marn ve kireçtaşı	Akarsu ve göl
	ÇANAKKALE FORMASYONU	40-100	Kilitaşı, kumtaşı ve silttaşı	Akarsu, göl, lagün, kıyı ve kıyı ötesi
	HİSARLIDAĞ VOLKANİTLERİ	?	Tüf ve aglomera	Kaletepe erüpsiyonu (?)
OLİGOSEN	DANIŞMEN FORMASYONU	200-600	Gri-yeşil renkli kilitaşı, kumtaşı, çakıltı, tüf ve linyit	Akarsu Delta bataklığı Delta
	OSMANCIK FORMASYONU	300-600	Kumtaşı, şeyl, yer yer çakıltı, kireçtaşı ve ince linyit bantları	Delta, akarsu ve göl
	MEZARDERE FORMASYONU	500-1200	Yeşil-gri renkli şeyl, marn ve tüf	Delta ve sahil yakını
EOSEN	CEYLAN FORMASYONU	400-1000	Tüf arakatlı gri renkli marn, şeyl, kumtaşı ve killi kireçtaşı	Açık deniz ve türbiditik
	SOĞUCAK FORMASYONU	40-300	Gri-bej renkli mikritik yer yer resifal kireçtaşı	Şelf ve paleoyükselim
	KEŞAN FORMASYONU	500-1500	Marn, şeyl ve kumtaşı	Akarsu-göl, delta ve türbiditik (litoral-neritik)
	GAZİKÖY FORMASYONU	600-1000	Koyu gri-siyah renkli şeyl ve kumtaşı	Türbiditik ve derin deniz

Şekil 3.2. Ergene (Trakya) Havzasının Genelleştirilmiş Stratigrafik Kesiti

(Şengüler, 2013)

3.2. Kullanılan Veriler

Bu çalışmada kuyu, formasyon, fay, karbon biomass yoğunluğu, gravite ve manyetik verileri ile çizgisellik için SRTM ve ASTER Sayısal Yükseklik Modeli (DEM) verileri kullanılmıştır.

3.2.1. Sayısal Yükseklik Verisi

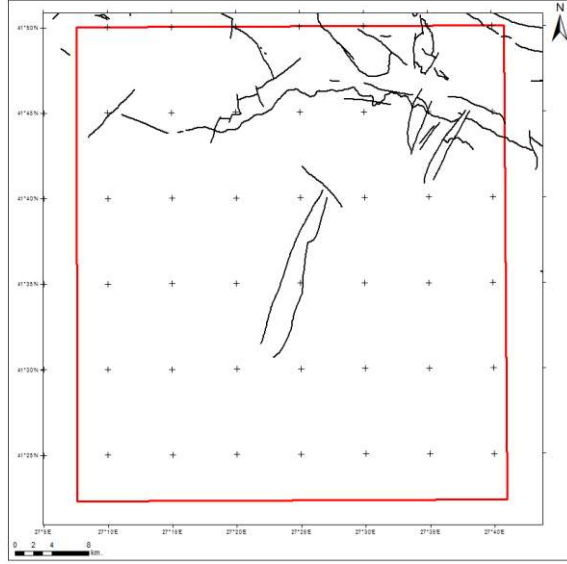
SRTM; dünyanın ihtiyaç duyduğu radar verisinin yaklaşık olarak %80'ini toplamayı hedefleyen ABD, Almanya ve İtalya arasındaki ortak bir projenin ürünüdür. SRTM, interferometri ile yüksek kalitede üç boyutlu topografik veri üreten aktif bir radar sistemidir. SRTM'nin en önemli özelliklerinden biri elde edilen 3'' x 3'' çözünürlüğe sahip sayısal yükseklik modeli verilerinin erişime açık olmasıdır.

3.2.2. Fay Verisi

Yüzey jeolojisi çalışmaları ile yüzeydeki yapılar, faylar ve bunlara bağlı olarak hidrokarbon içeren alanların saptanması mümkün olmaktadır. Bu alanların tespit edilmesiyle yer altında incelenmesi öngörülen alanlar jeofizik yöntemlerle desteklenir.

Çalışma alanına ilişkin yersel ölçmelerden elde edilen fay verisi IHS (International Handling Services)'den edinilmiştir (Şekil 3.3). Ayrıca sayısal yükseklik modelinden çizgisellikler çıkarılarak da fay verisi elde edilmiştir.

Hidrokarbonun göçerek yerleştiği alanlara kapan adı verilmektedir. En yaygın olan kapan ise antiklinallerdir. Faylar da kapan oluşturabilir ancak bu geçirimsiz bir süreksizlikle mümkün olmaktadır. Bazı faylar geçirimli bazıları ise geçirimsizdir.

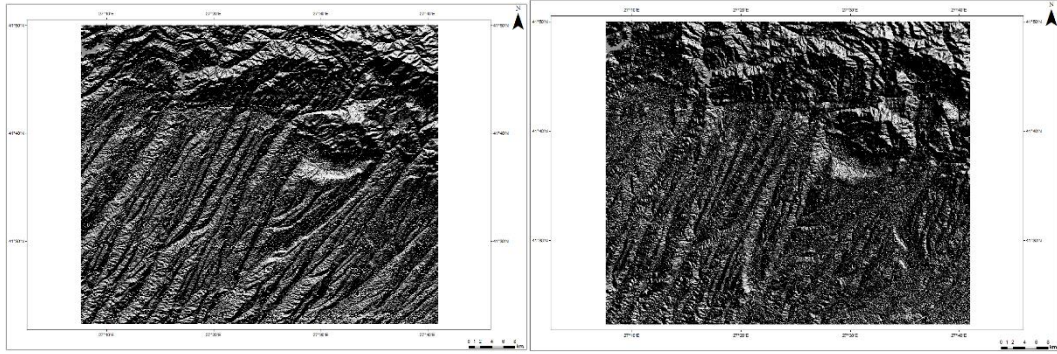


Şekil 3.3. Fay Haritası

3.2.3. Çizgisellik Analizi

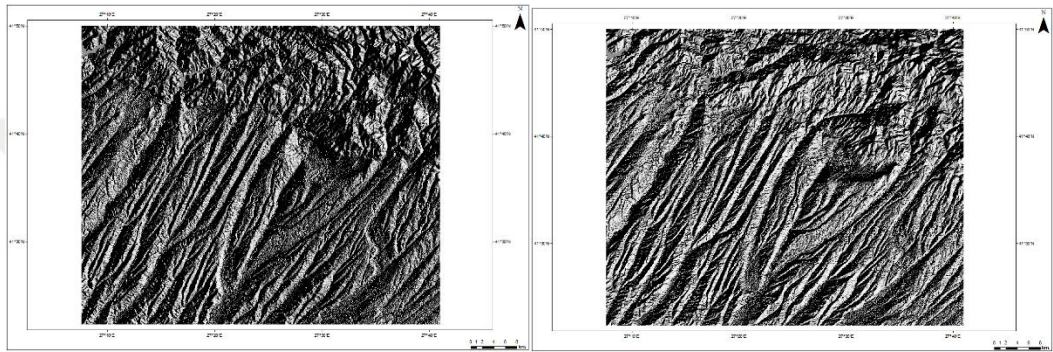
3.2.3.1. Kabartma Oluşturma

Farklı yönlerde aydınlatılmış ve insan yapımı eserlerin belirlenmesi için farklı şekilde döndürülmüş kabartma (rölyef) haritaları kullanılmıştır. 0, 45, 90, 135, 180, 225, 270, 315 derece azimut açılarıyla kabartma haritaları SRTM Sayısal Yükseklik Modeli(SYM) için hazırlanmıştır. 0, 45, 90, 135 derece azimut açıları için hazırlanan kabartma haritaları ve 180, 225, 270, 315 derece azimut açıları için hazırlanan kabartma haritaları birleştirilmiştir. SRTM DEM için birleştirilmiş rölyef haritaları şekil 3.4’de görülmektedir.



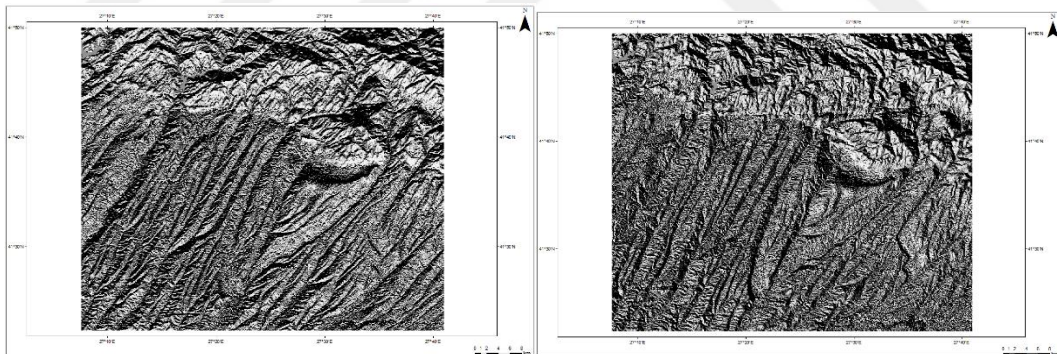
a) *Rölyef: 0°*

b) *Rölyef: 45°*



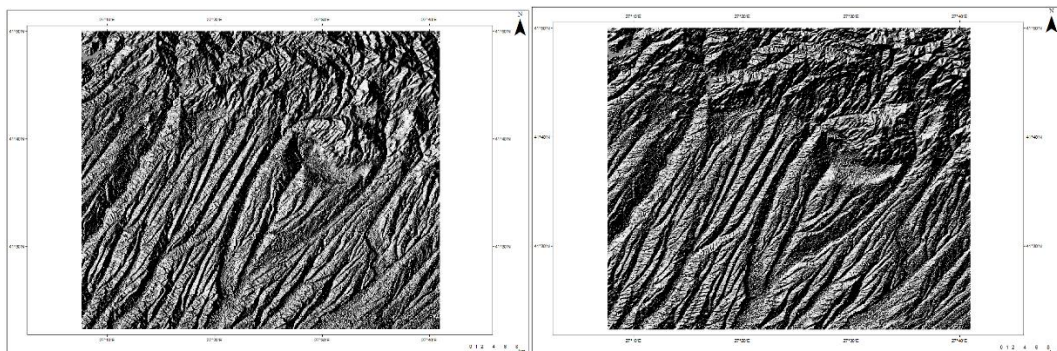
c) *Rölyef: 90°*

d) *Rölyef: 135°*



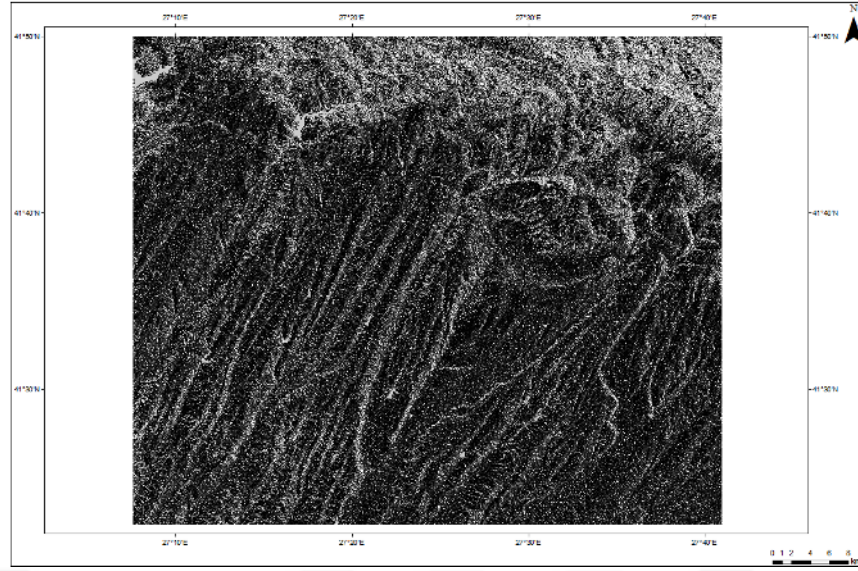
e) *Rölyef: 180°*

f) *Rölyef: 225°*

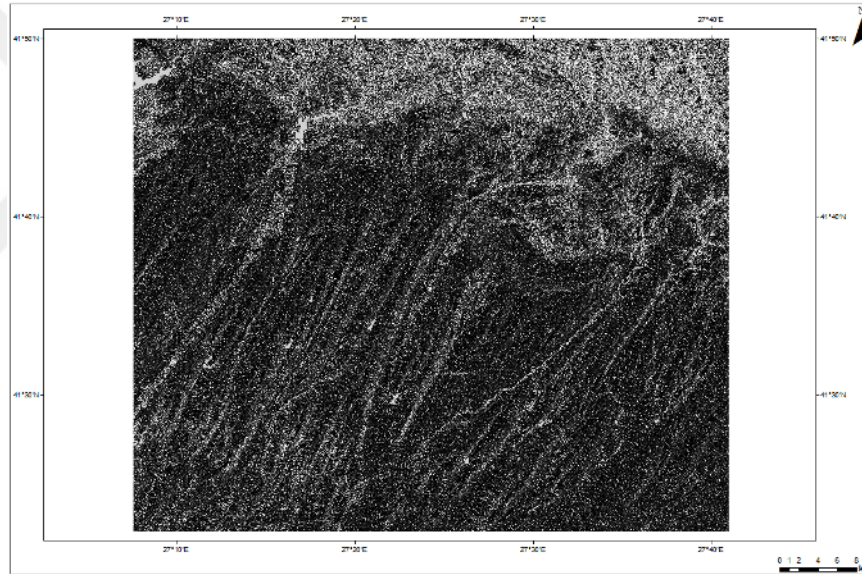


g) *Rölyef: 270°*

h) *Rölyef: 315°*



g) 0° , 45° , 90° , 135° kombinasyonu



h) 180° , 225° , 270° , 315° kombinasyonu

Şekil 3.4. SRTM Rölyef Haritaları

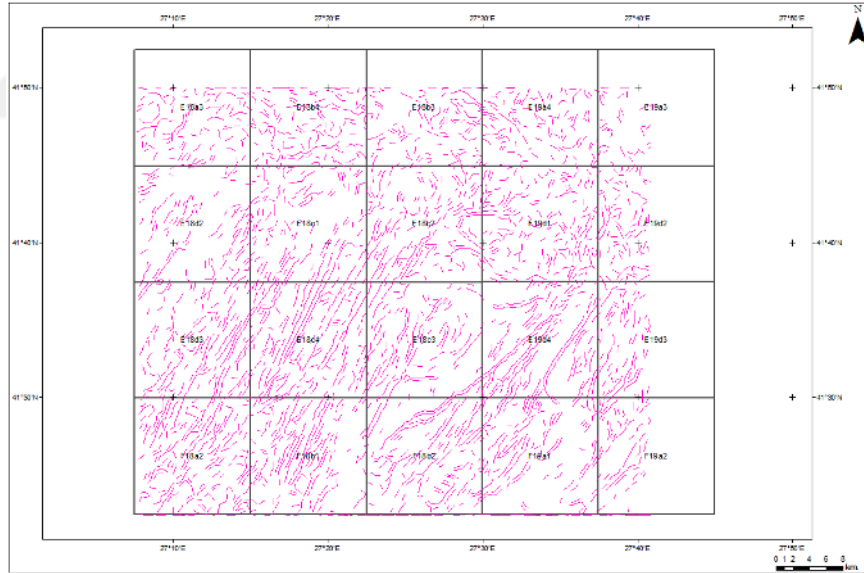
3.2.3.2. Çizgi Çıkarımı

Çizgisellik çıkarımı için PCI Geomatica yazılımının LINE modülü kullanılmış olup, 12 farklı versiyon için kullanılan parametreler Tablo 3.1 'de özetlenmiştir.

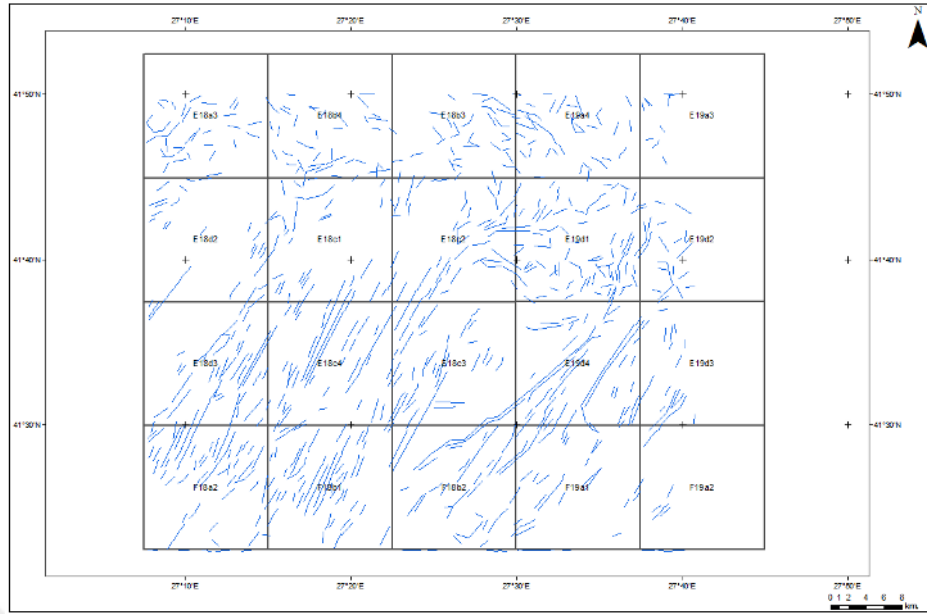
Tablo 3.1. Çalışmada kullanılan LINE parametreleri

PARAMATRELER						
VERSİYON	RADI	GTHR	LTHR	FTHR	ATHR	DHTR
1	12	60	30	3	20	1
2	5	20	20	2	20	1
3	10	100	30	3	30	20
4	12	40	20	2	30	1
5	12	80	30	10	30	15
6	12	20	30	3	20	1
7	12	100	30	3	20	1
8	12	60	20	3	20	1
9	12	60	40	3	20	1
10	7	60	30	3	20	1
11	20	60	30	3	20	1
12	12	60	30	3	20	20

Tablo 3.1'deki versiyon 4 parametreleri kullanılarak 0, 45, 90, 135 azimut açılarının kombinasyonu ile elde edilmiş rölyef için çıkarılan çizgisellik haritası şekil 3.5'de, 180, 225, 270, 315 kombinasyonu için elde edilen rölyeflerden çıkarılan çizgisellik haritası ise şekil 3.6'da görülmektedir.



Şekil 3.5. SRTM 0°, 45°, 90°, 135° çizgisellik (versiyon4)



Şekil 3.6. SRTM 180,225,270,315 çizgisellik (versiyon4)

Farklı azimut açılarına göre birleştirilmiş rölyeflerden çıkarılan çizgisellik haritasındaki çizgi sayıları ilk 5 versiyon için Tablo 3.2 'de özetlenmiştir.

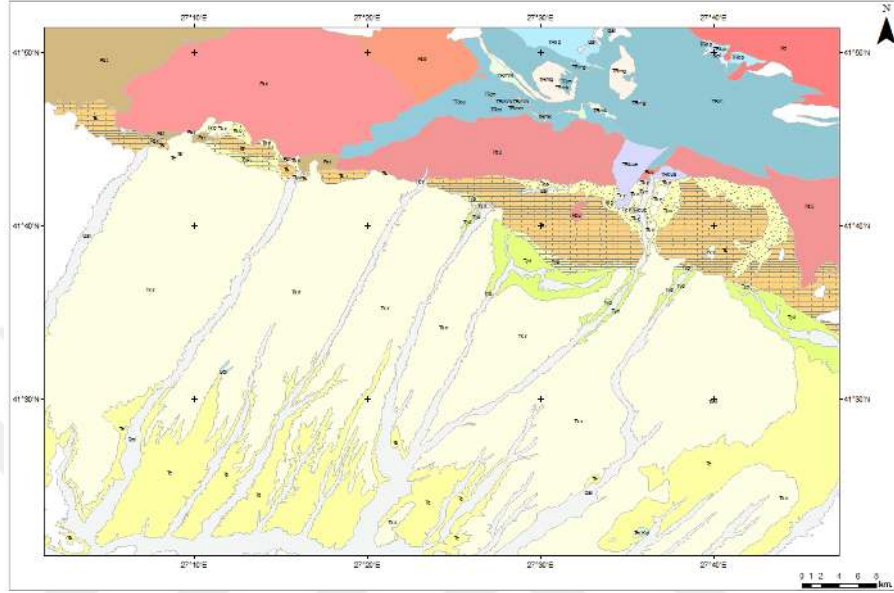
Tablo 3.2. LINE parametrelerinden çıkan istatiki sonuç

	Parametre	çizgi sayısı
srtm (0,45,90,135)	parametre1	991
	parametre2	1750
	parametre3	578
	parametre4	2655
	parametre5	1149
srtm (180,225,270,315)	parametre1	683
	parametre2	1194
	parametre3	192
	parametre4	2180
	parametre5	686

Yersel ölçmelerden elde edilen fay haritası ile SRTM verisinden elde edilen çizgisellik konusunda uzmanlaşmış kişilerce karşılaştırıldığında hidrokarbon tahmin haritası için yersel ölçmelerden elde edilmiş olan fay çizgisellik haritasının kullanılmasına karar verilmiştir.

3.2.4. Formasyon Verisi

Çalışma alanında görülen başlıca formasyonlar Pınarhisar, Enez, Kıracasalılı, Soğucak, Koyunbaba, Danişmen, Alüvyon ve Magmatik Birimlerdir. IHS'den elde edilen formasyon verisi Şekil 3.7'de görüldüğü gibidir.

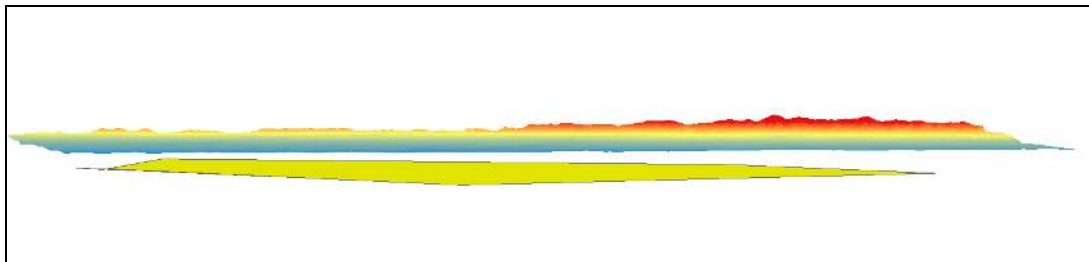


Şekil 3.7. Formasyon Sınırı Verisi

Söz konusu alanda bulunan petrol ve doğalgaz içeren oncaj kuyularının yer altında kestiği formasyon bilgisi kullanılarak bu formasyonların yer altında modellemesi Uzaklığın Tersine ile Ağırlıklandırma yöntemiyle modellenmiştir. Formasyonların yer altındaki görüntüleri ArcMap jeoistatistik araçları ve ArcScene programı yardımıyla sunulmuştur.

OSMANCIK FS:

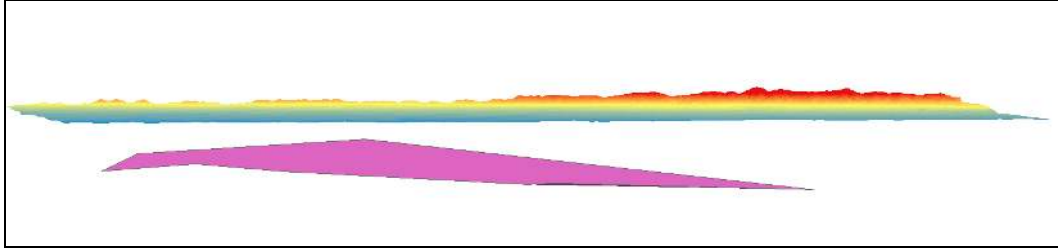
Çalışma alanındaki kuyuların yerin altında kestiği derinliklere göre Osmancık formasyonunun yer altındaki görüntüsü Şekil 3.8'deki gibidir. Osmancık formasyonu altında Mezardere üstünde Danişmen formasyonu olan geçişli bir formasyondur.



Şekil 3.8. Osmancık Formasyonu görüntüsü

HAMİTABAT FS:

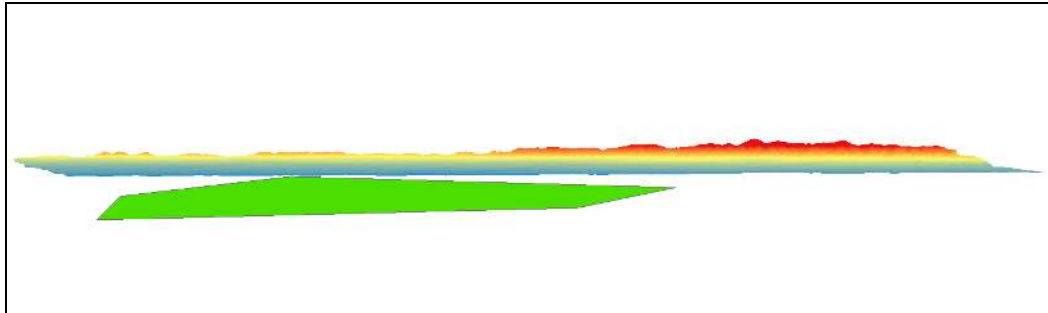
Hamitabat formasyonu organik maddece zengin, poroziteli kumtaşlarından oluşmaktadır. (Siyako 2006) Hidrokarbon üretimi yapılan önemli bir formasyon olup, çalışma alanındaki kuyuların yerin altında kestiği derinliklere göre görüntüsü Şekil 3.9'daki gibidir.



Şekil 3.9. *Hamitabat Formasyonu görüntüsü*

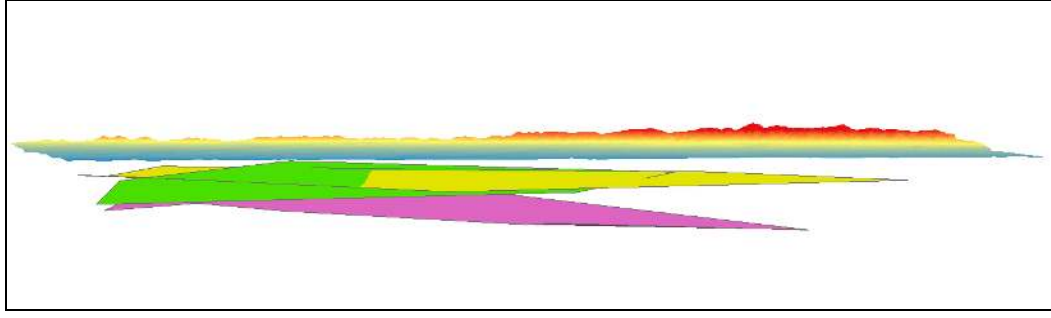
MEZARDERE FS:

Mezardere Formasyonu ile başlayan Oligosen çökelleri üzerinde kumtaşı, şeyl ve kireçtaşı içeren Osmancık Formasyonu ve onun da üstünde kıltaşı, kumtaşı ve çakıltaşı içeren Danişmen Formasyonu yer alır (Şengüler, 2013). Çalışma alanındaki kuyuların yerin altında kestiği derinliklere göre Mezardere formasyonun yer altındaki görüntüsü Şekil 3.10'deki gibidir.



Şekil 3.10. *Mezardere Formasyonu görüntüsü*

Mezardere, Osmancık ve Hamitabat formasyonlarının üst üste çakıştırıldığı, yerin altında derinliklere göre kestiği alanların görüntüsü Şekil 3.11'deki gibidir.

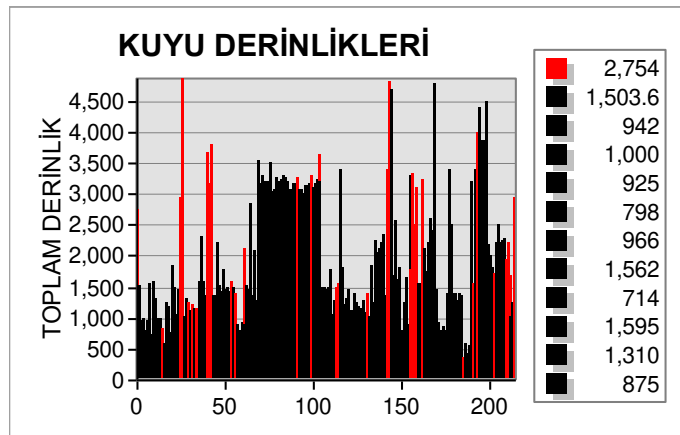


Şekil 3.11. Mezardere, Osmancık ve Hamitabat formasyonlarının görüntüsü

3.2.5. Kuyu Verisi

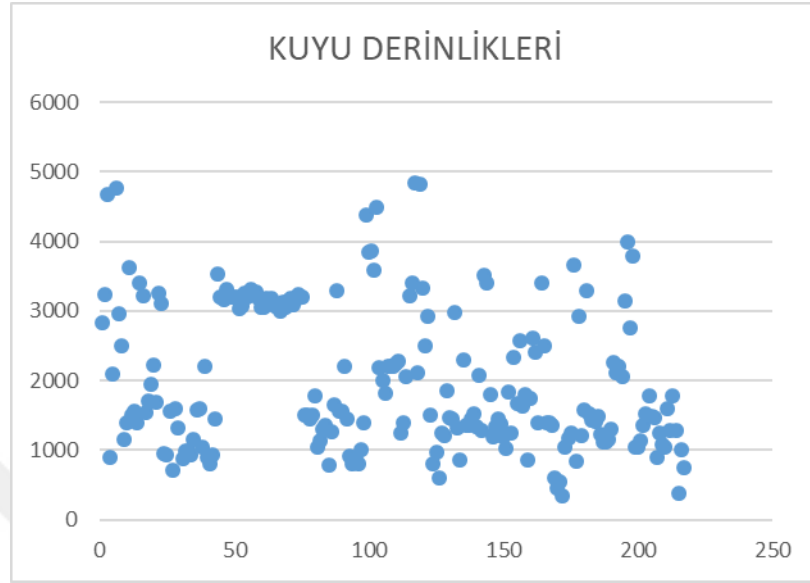
Hidrokarbon araması yapılacak alanlara ait basen çalışmalarında, yer altının jeolojik yapısının belirlenmesi için söz konusu alanda açılan kuyulardan edinilen bilgilerden yararlanılır. Kuyulardan alınan petrografik ve mikropaleontoloji analizleri için kesinti numunelerinin incelenmesi, gözeneklilik ve geçirimsizlik belirlenmesi için karot analizleri yapılır. Kuyu loglarından sağlanan bu verilerle jeolojik ve jeofizik yorum yapmak için yapı kalınlık haritaları, jeokimyasal haritalar, gibi birçok harita hazırlanmaktadır (Dülger, 2011).

Çalışma alanında toplam 222 adet kuyu bulunmaktadır. Bu kuyulardan yaklaşık %50'si hidrokarbon emaresi içermektedir. Kuyu derinlikleri yaklaşık 700-5000 m arasında değişmektedir (Şekil 3.12.). Çalışma alanında üretim yapan formasyonlara göre kuyu dağılımları incelenmiştir. Söz konusu alana ilişkin hidrokarbon ve derinlik ilişkisine bakıldığında derin alanların potansiyel açısından daha elverişli olduğu gözlenmiştir.



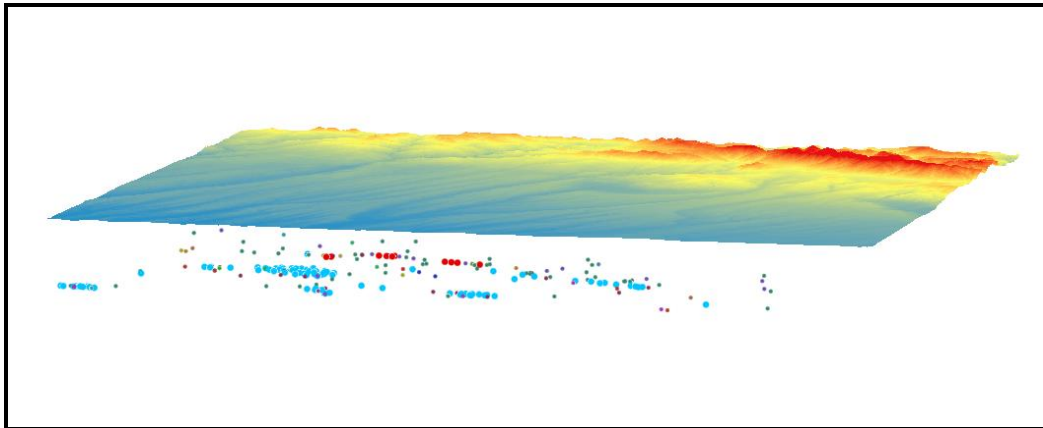
Şekil 3.12. Toplam Kuyu Derinlikleri

Hamitabat, Osmancık ve Mezardere Formasyonlarındaki petrol   ve gazlı kuyular mavi renkte gösterilerek sunulmuştur (şekil 3.13).



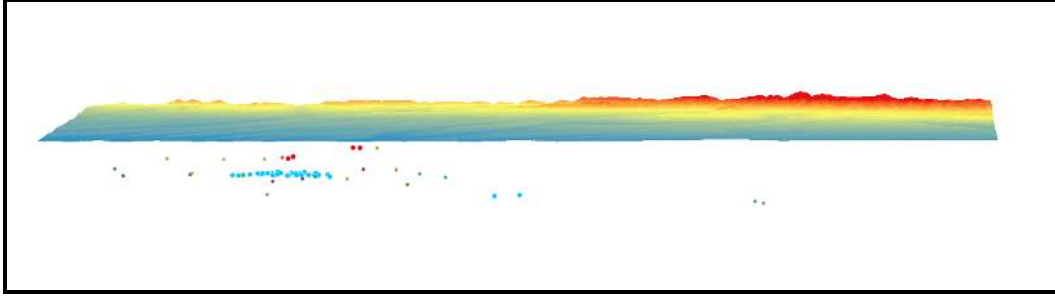
şekil 3.13. Hidrokarbon Emareli Kuyu Derinlik Dağılımı

ArcScene programında kuyular derinliklerine göre modellenerek yer altındaki g  r  nt  ş  şekil 3.14’de özetlenmiştir. Hidrokarbon içeren kuyular kırmızı renkte gösterilmiştir.

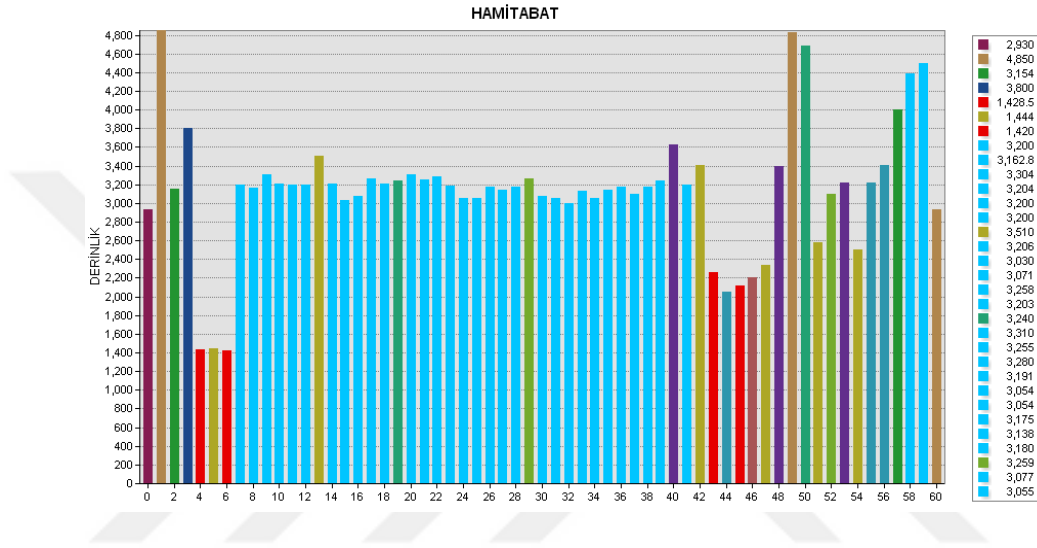


şekil 3.14. Kuyuların Derinliklere göre yer altındaki g  r  nt  ş 

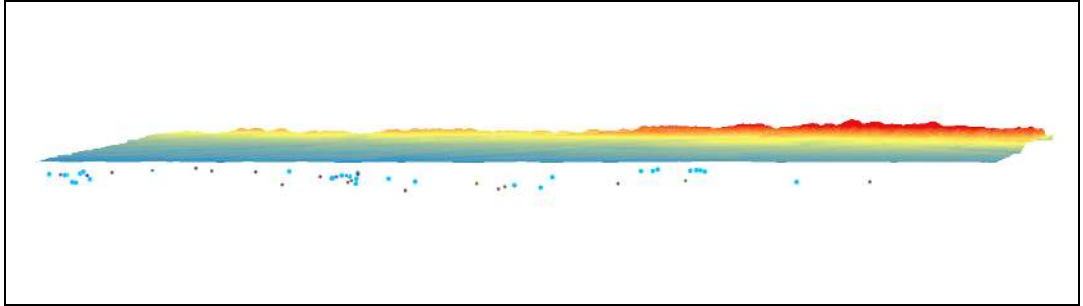
Formasyon ve kuyu derinliği ilişkisi ise yine ArcScene programında simule edilerek gözlemlenmiştir. Hamitabat formasyonundaki minimum kuyu derinliği yaklaşık 1500-5000 m arasında değişmektedir.



Şekil 3.15. Hamitabat formasyonundaki Kuyuların derinliklerine göre gösterimi

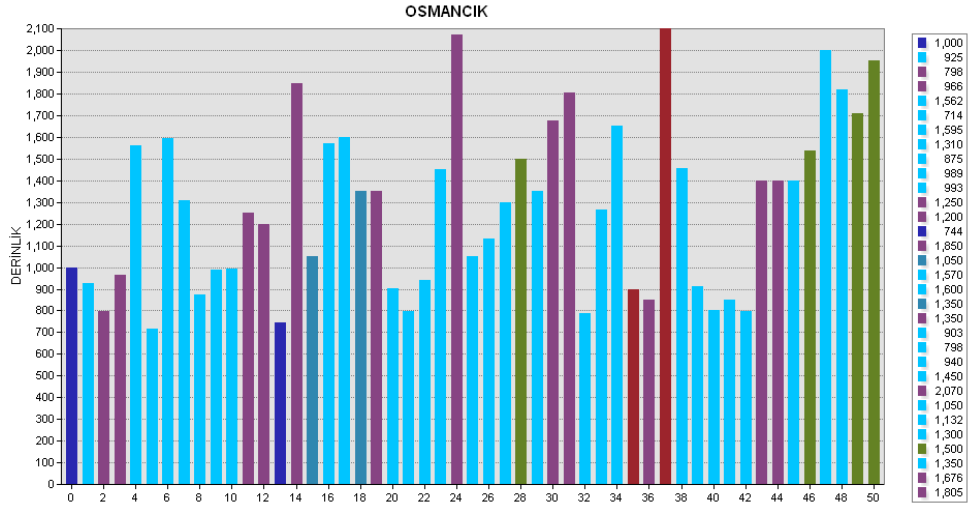


Şekil 3.16. Hamitabat formasyonundaki kuyuların derinliklerine göre grafiksel gösterimi

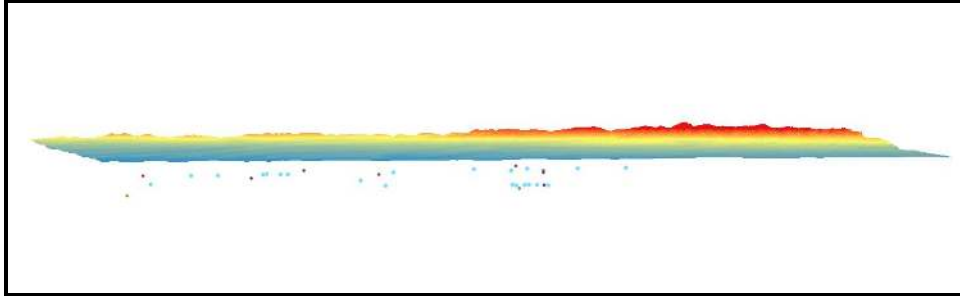


Şekil 3.17. Osmancık formasyonundaki kuyuların derinliklerine göre gösterimi

Osmancık formasyonundaki kuyu derinlikleri ise yaklaşık 700 m. ile 2000 civarında değişmekte olup, kuyu derinliklerine ilişkin grafik Şekil 3.18'deki gibidir.

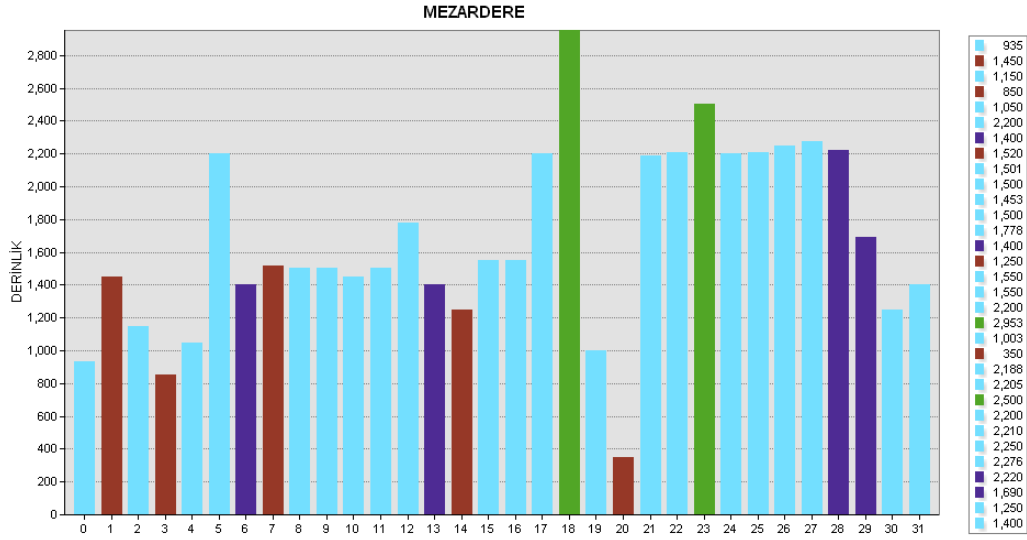


Şekil 3.18. Osmancık formasyonundaki kuyuların derinliklerine göre grafiksel gösterimi



Şekil 3.19. Mezardere formasyonundaki kuyuların derinliklerine göre gösterimi

Mezardere formasyonundaki minimum kuyu derinliği yaklaşık 800 m. iken maksimum kuyu derinliği 3000 m civarındadır (Şekil 3.20).



Şekil 3.20. Mezardere formasyonundaki kuyuların derinliklerine göre grafiksel gösterimi

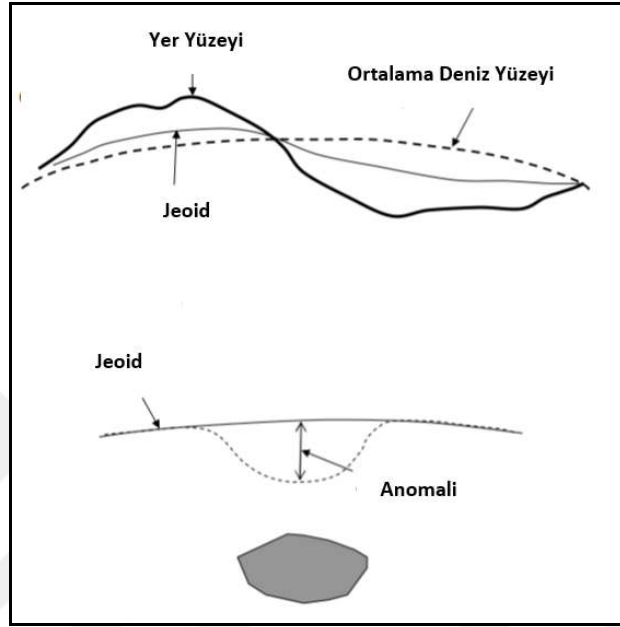
3.2.6. Gravite Verisi

Gravite verisi kullanarak yerçekimi ivmesindeki değişikliklerin gözlemlenmesi mümkün olmaktadır. Gravite haritasında diğer alanlara göre yüksek yoğunluklu olan yerler pozitif, yoğunluğu çevresine göre küçük olan alanlar ise negatif anomolilere sebep olur (Blakely, 1995).

Gravite ve manyetik yorumlama sonucunda her iki yöntem birlikte değerlendirilerek yer altındaki litolojik yapılar belirlenebilmektedir. Yapılar arasındaki yoğunluk farkından yararlanılarak yapılar, basen derinlikleri, tektonik hatlar ve taban topoğrafyası belirlenir (Schettionaa,2015). Yerin altındaki yoğunluk farkını kullanan gravite yöntemi ile yapı sınırlarını belirlemek mümkün olmaktadır (McCubbine vd. , 2018).

Manyetik yöntem için manyetik duyarlılık, gravite yöntemi için ise yerçekimi alanı etkilidir. Yeraltı heterojen bir yapıdadır ve volkanik, sediment (çökel) ve metamorfik yapıları oluşturan yoğunluk değişimlerinden oluşmaktadır (Yang vd. 2013). Volkanik, tortul ve metamorfik kayalar yerin altında farklı yoğunluklara sahiptir. Bu kayalar farklı derinliklerde yer alırlar ve farklı mıknatıslanma duyarlılıklarına sahiptirler (Schettionaa ,2015).

Anomali, jeofizik ölçümler sonucu ortalama değerden olan sapma olarak adlandırılabilir. Anomali olan alanlarda yer altı zenginliğinden söz edebilmek için bu anomalilerin konumu, şiddeti, yoğunluğu, dağılımı ve mıknatıslanma duyarlılığı önem kazanmaktadır (Blakely R. ,1995).



Şekil 3.21. Gravite Anamolisi (Blakely ,1995)

Manyetik haritalarda kırmızı tonlu alanlar (yüksek manyetik özellikli) volkanik ya da magmatik kökenli kayalar temsil eder. Mavi alanlar (düşük manyetik özellikli) ise volkanik olmayan yapıları gösterir. Gravitenin birimi Gal ancak gravite anomalisinin birimi mgal'dır (Blakely R. ,1995).

<i>Kayaç Tipi</i>	<i>Yoğunluk (gr/cm³)</i>	<i>Ortalama (gr/cm³)</i>	<i>Manyetik duyarlılık (μgs)</i>	<i>Ortalama (μgs)</i>
<u>Tortul Kayaçlar</u>				
Altıvyon	1.96 – 2.00	1.98		
Kil	1.63 – 2.60	2.21	0 - 1500	50
Dolomit	2.28 – 2.90	2.7	0 – 75	10
Kireçtaşı	1.61 - 2.76	2.35	0 – 300	25
Kumtaşı	1.77 - 3.20	2.4	0 – 1670	30
<u>Mağmatik Kayaçlar</u>			40 - 10000	2600
Granite	2.50-2.81	2.64		
Andezit	2.40-2.80	2.61		
Bazalt	2.70-3.30	2.99		
Gabro	2.70-3.50	3.03		
<u>Başkalaşım Kayaçları</u>			0 - 5800	350
Şist	2.39-2.90	2.64		
Kayrak	2.70-2.90	2.79		
Amfibolit	2.90-3.04	2.96		
Mavi şist	3.20-3.54	3.37		

Şekil 3.22. Manyetik Anomalisi (Dobrin vd. 1988; Kearey vd. 2013)

Bu çalışmada kullanılan gravite ve manyetik verileri GRACE (Gravity Recovery and Climate Experiment) ve CryoSat-2 uydusu verileridir. <https://grace.jpl.nasa.gov/data/get-data/> adresinden edinilmiştir. GRACE (Gravity Recovery and Climate Experiment) 17 Mart 2002 tarihinde Almanya ve Amerika ortaklığı ile gönderilen dünyanın çekim alanının zamansal değişimini gözlemlemek için tasarlanmış bir uydu sistemidir.

2002 yılından beri veri toplayan GRACE gravite ölçümleri deniz ve okyanuslardaki su miktarı değişimleri, yer altı su kaynaklarının incelenmesi, tektonik hareketlerin incelenmesi jeoit ve yer çekim ivmesinin değişiminin gözlemlenmesi gibi birçok farklı alanda kullanılmaktadır.

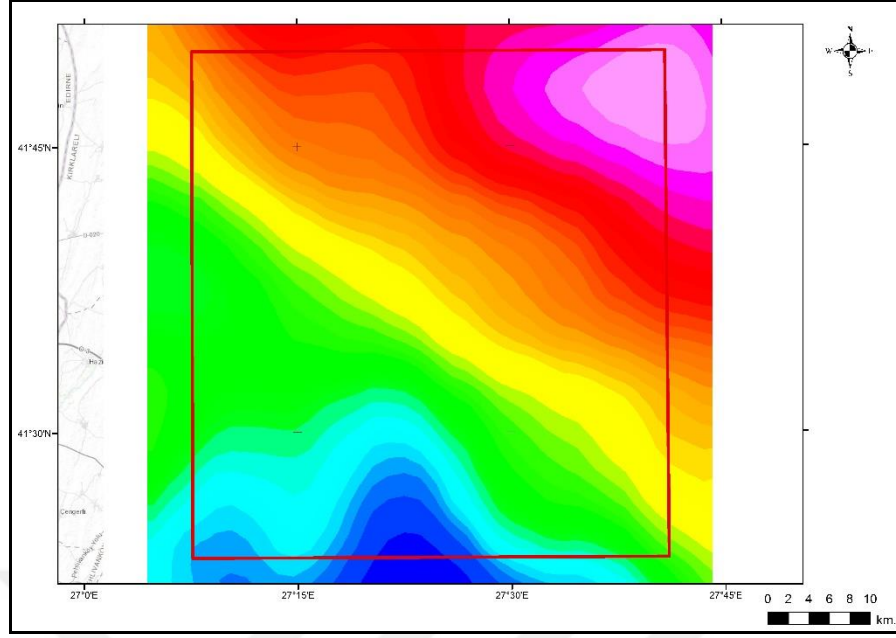
Sandwell CryoSat-2, en yoğun iz kapsama alanı (track coverage) sağlar, çünkü 369 günlük tekrar yörünge periyoduna rağmen yer izlerinin sadece 5 km'lik bir bant içinde sürüklenmesine izin verilir, bu nedenle 4 yıl sonra yörüngede 2,5 km lik bir iz aralığı(track space) sağladığını çalışmasında öne sürmüştür (Sandwell, 2014).

Altimetreden türetilen gravite alanının güncel versiyonu yaklaşık 2 mGal doğruluğa sahiptir. Kapsama alanının düzensiz olduğu yersel gravitenin aksine, bu doğruluklar tüm deniz alanları için mevcuttur. Tüm deniz alanları ve büyük su kütleleri için gravite verisi elde edilebilir (Sandwell, 2014).

Ölçülen gravite değerlerine getirilmesi gereken düzeltmeler aşağıdaki gibidir. (Geosoft How to Guide)

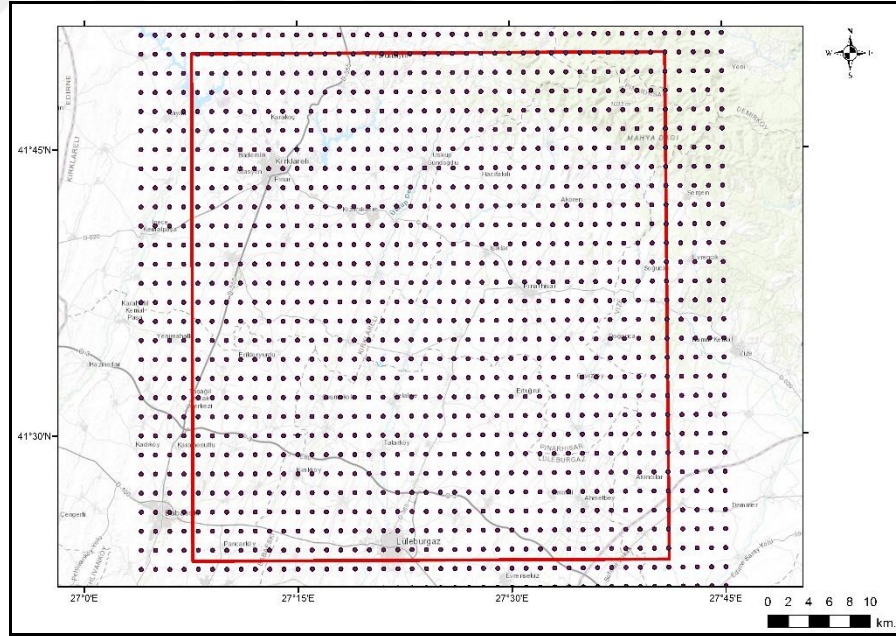
1. Alet Ölçek Faktörü
2. Gelgit Düzeltme
3. Cihaz Yüksekliği
4. Kayma Düzeltme
5. Mutlak Yerçekimi
6. Enlem Düzeltmesi
7. Serbest Hava Anomalisi
8. Bouguer Anomalisi
9. Tamamlanmış Bouguer
10. Yerey/Topografik Düzeltme

Gravite verisi serbest hava düzeltmesi (free air) de yapılmış olarak indirilmiş olup; ham veri görüntüsü CBS ortamında aşağıdaki şekil 3.23'de olduğu gibi görüntülenmektedir.



Şekil 3.23. Serbest Hava Düzeltmesi yapılmış Gravite Verisi

Gravite nokta verisi serbest hava düzeltmesi yapılmış veriden türetilmiştir. Çalışma alanındaki gravite istasyon haritası 1.7 km aralıklarla şekil 3.24'de görülmektedir.



Şekil 3.24. Noktasal Gravite Verisi

Söz konusu edinilen gravite verisine sırasıyla topografik düzeltme, bouguer düzeltmesi ve tamamlanmış bouguer düzeltmesi Geosoft OASIS Montaj programı kullanılarak yapılmıştır.

3.2.6.1. Bouger Düzeltmesi

Deniz seviyesi ile topoğrafya arasındaki kütle etkisi Bouger düzeltmesi ile giderilir (Blakely, 1995). Ölçülen gravite değerinden çekim etkisinin çıkarılmasıyla Bouger plakasının etkisini ortadan kaldırılmış olur (Geosoft How to Guide).

$g_{ba} = g_{fa} - 0.0419088 \cdot [\rho_{hs} + (\rho_w - \rho)h_w + (\rho_i - \rho_w)h_i] - g_{curv}$ (Geosoft How to Guide)

g_{ba} = Bouguer anomalisi

g_{fa} = Serbest Hava düzeltmesi

ρ = Bouguer kaya yoğunluğu

ρ_w = Bouguer su yoğunluğu

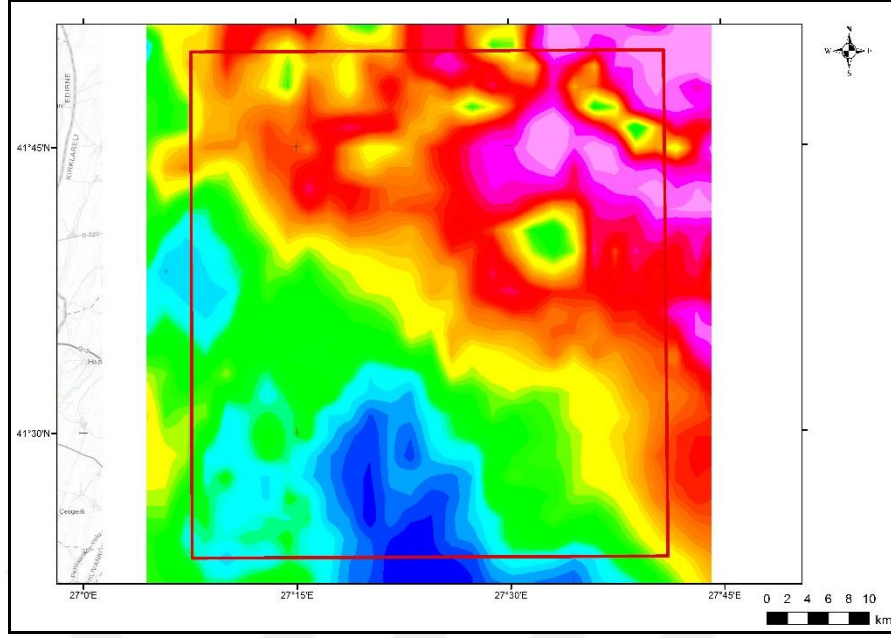
ρ_i = Bouguer buz yoğunluğu

h_s = İstasyon yüksekliği

h_w = su derinliği

h_i = buz kalınlığı

g_{curv} = eğrilik düzeltmesi



Şekil 3.25. Bouguer Düzeltmesi yapılmış Gravite Verisi

3.2.6.2. Tamamlanmış Bouger Düzeltmesi

Tam Bouguer anomalisi, Bouguer anomalisini bir gözlem noktasındaki arazi yapısından kaynaklanan dünya düzensizlikleri için düzeltir (Geosoft How to Guide, Blakely, 1995).

$$g_{cba} = g_{ba} + g_{tc} \text{ (Geosoft How to Guide)}$$

$$g_{cba} = \text{Kompleks Bouguer Anomalisi}$$

$$g_{ba} = \text{Bouguer anomalisi}$$

$$g_{tc} = \text{Arazi Düzeltmesi}$$

3.2.6.3. Topoğrafya/ Yerey Düzeltmesi

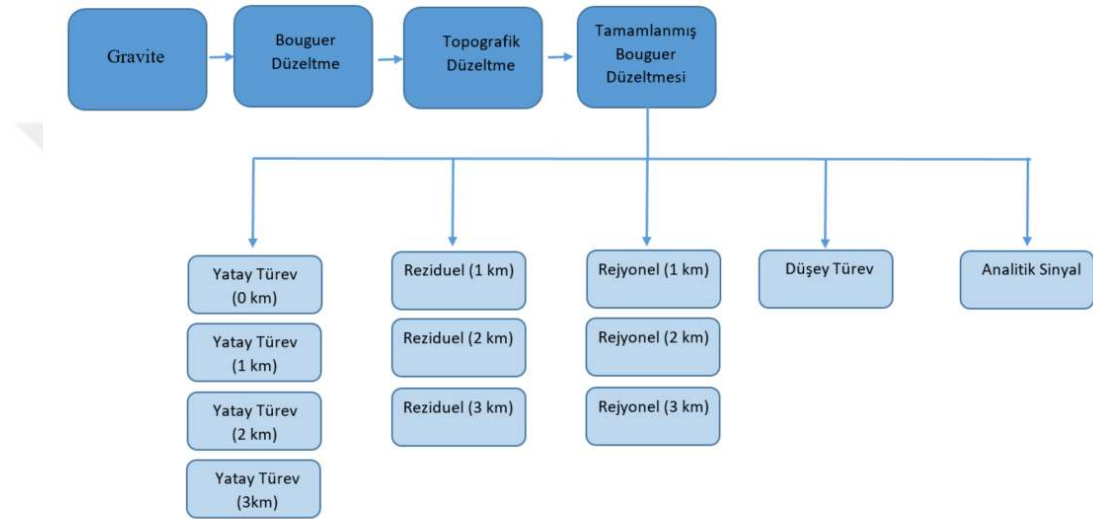
Bölgesel düzeltmenin hesaplanması (1000 metrenin ötesinde) hesaplama açısından en zor düzeltme olarak belirlenmiştir. Arazi düzeltme hesaplamalarının bileşenleri Geosoft Oasis montaj Gravity and Terrain Correction aracı ile SRTM Sayısal Yükseklik Modeli kullanılarak yapılmıştır (Geosoft How to Guide).

Topoğrafya düzeltmesini hesaplamak için silindirik bölme yöntemi, konik kabuk yöntemi ve dikdörtgen bölme yöntemi olmak üzere 3 farklı yöntem kullanılmaktadır

(Blakely, 1995). Bu yöntemlerdeki hesaplamalar oldukça karmaşıktır (Geosoft How to Guide).

3.2.7. Türetilen Veriler

Çalışma alanının Kuzey doğusunda yüksek yoğunluk gözlemlenmektedir. Bu alanda yaşı ve yoğunluğu fazla olan birimler vardır. Bouguer Anomali Haritasında hem derin (rejyonel) hem de sığ (rezidüel) etkiler birlikte gözlemlenmektedir.



Şekil 3.26. Gravite Verisinden Türetilen Veriler

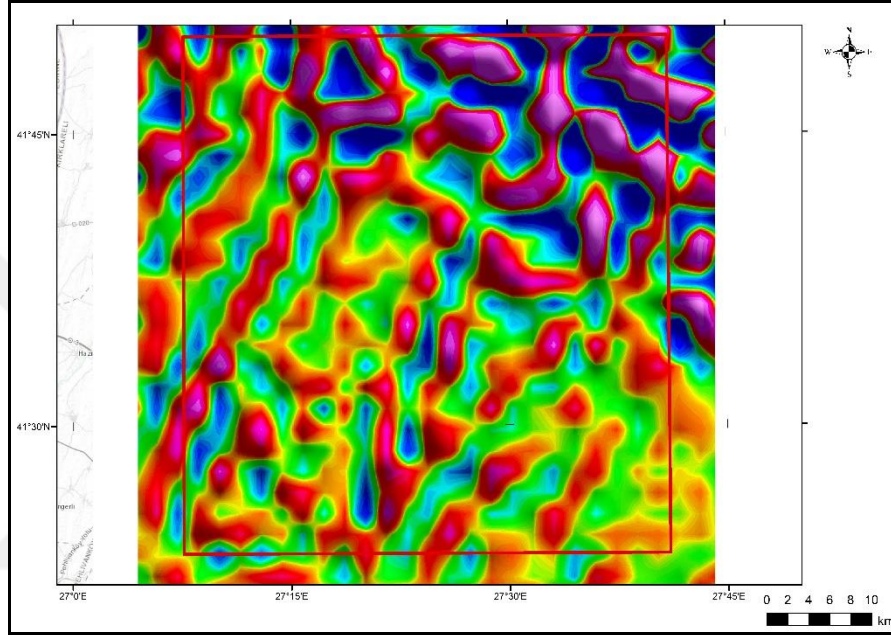
3.2.6.4. Reziduel ve Rejyonel Haritaları

Yer altındaki sığ yapılara ait etkileri değerlendirmek için Bouguer anomalisi değerleri ve yüksek geçirgenlikli filtre kullanılarak rezidüel anomali harita, alçak geçirgenlikli filtre kullanılarak ise rejyonel anomali haritaları Geosoft Oasis Montaj programı kullanılarak oluşturulmuştur.

Derin kütlelerin etkilerinin araştırılması ve uzun dalga boylu değişimleri elde etmek amacıyla alçak geçirgenli filtreler kullanılır (Özkapta, 2019). Alçak geçirgenli filtre uygulanan veriler ise rejyonel (REJ) , derinden gelen etkileri gösterir (Blakely, 1995).

Yüksek geçirgen filtre uygulanan veriler rezidual (REZZ) , sığdan gelen etkileri yani sığ alanlardaki yapıları gösterir. Yüksek geçirgenlikli filtre bir verinin yüksek frekans aralığıyla ilgilenir.

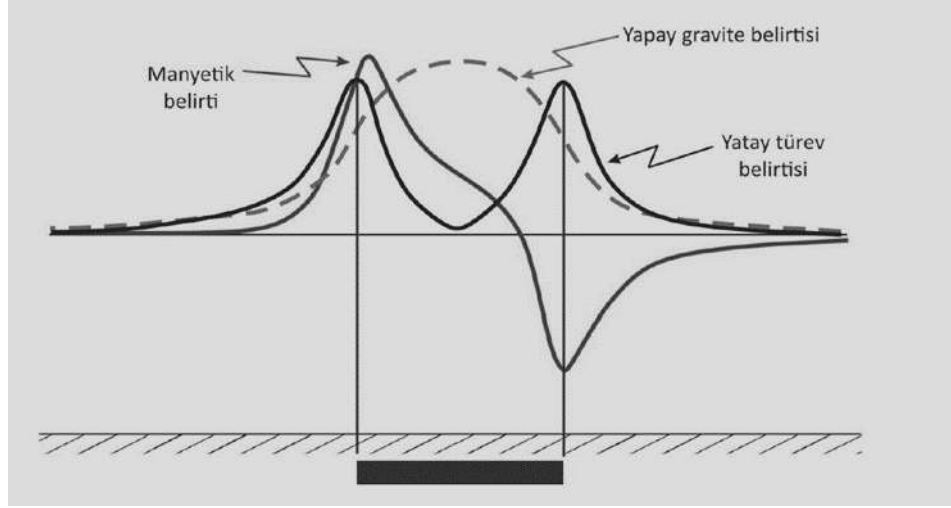
Rez1, Rej1 -1000 m, Rez2, Rej2 -2000m, Rez3,Rej3 -3000 m. için oluşturulmuş haritalardır. Hedef derinlik 2000-3000 m civarı ise Rezz2 ve Rezz3 ü kullanabilir. Bu iki rezidual arasında çok fark olmadığından Rez2 haritası analizlerde kullanılmıştır.



Şekil 3.27. Reziduel (-2000m) Haritası

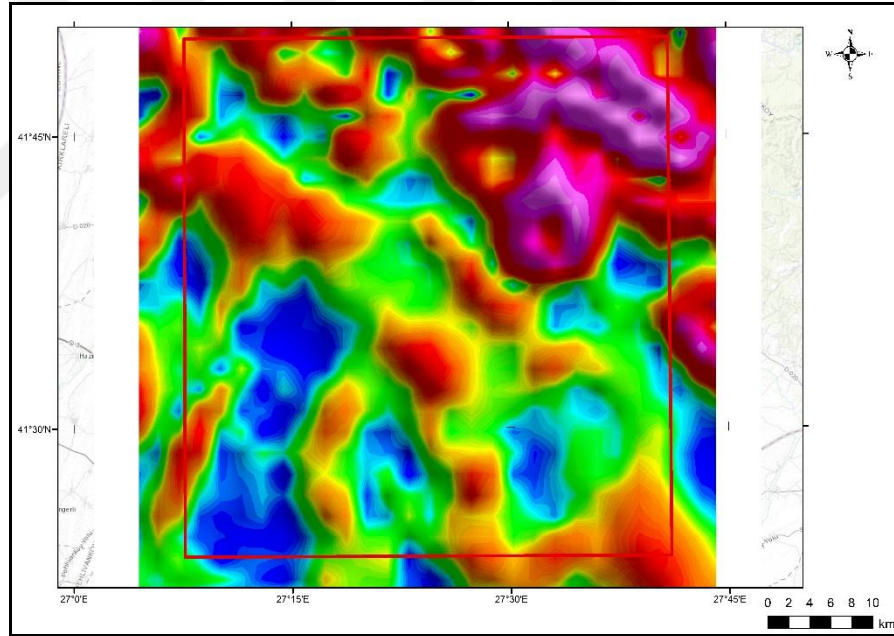
3.2.6.5. Yatay Türev Haritaları

Yatay türevin etkisi aşağıdaki şekilde belirtildiği gibi herhangi bir yapı varsa bu yapının sınırları yatay türevde anomali şeklinde görülmektedir.

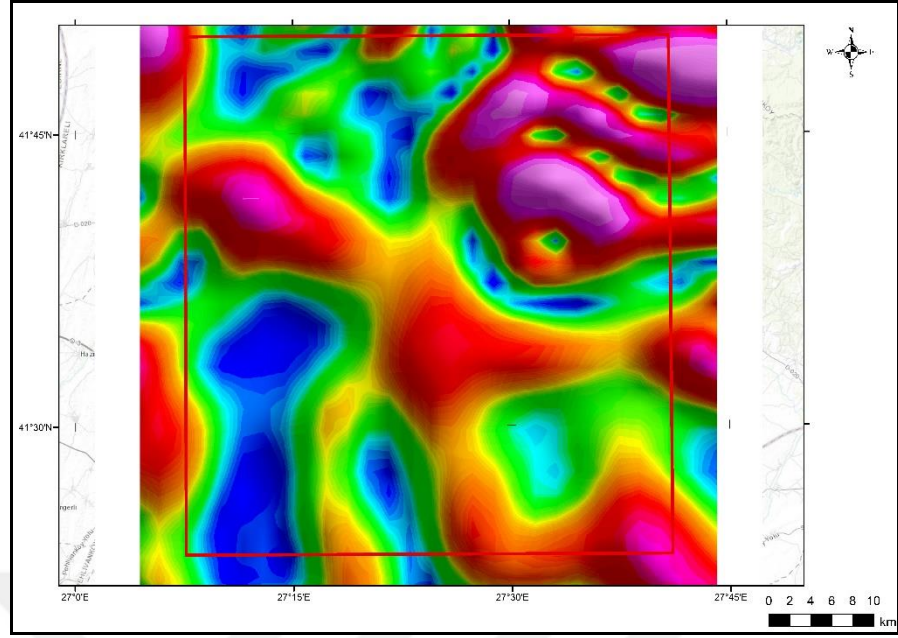


Şekil 3.28. Yatay Türev Tanımı (Blakely, 1995)

Deniz seviyesinden 0 km için üretilen yatay türev Hg0km, -1000 m için Hg1km, -2000 m için Hg2km ve -3000 m için Hg3km olarak adlandırılmıştır.

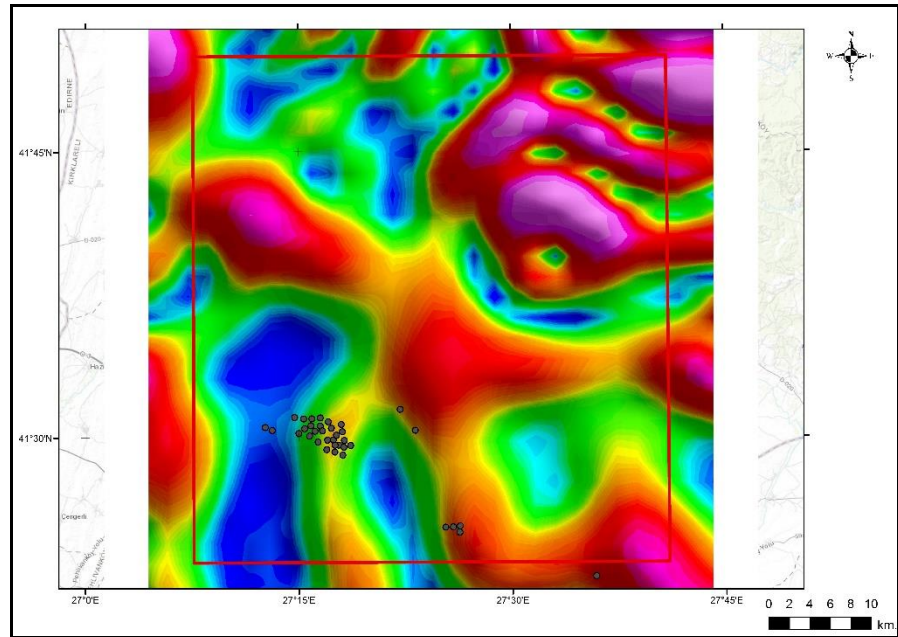


Şekil 3.29. Yatay Türev Haritası (Hg 1 km)

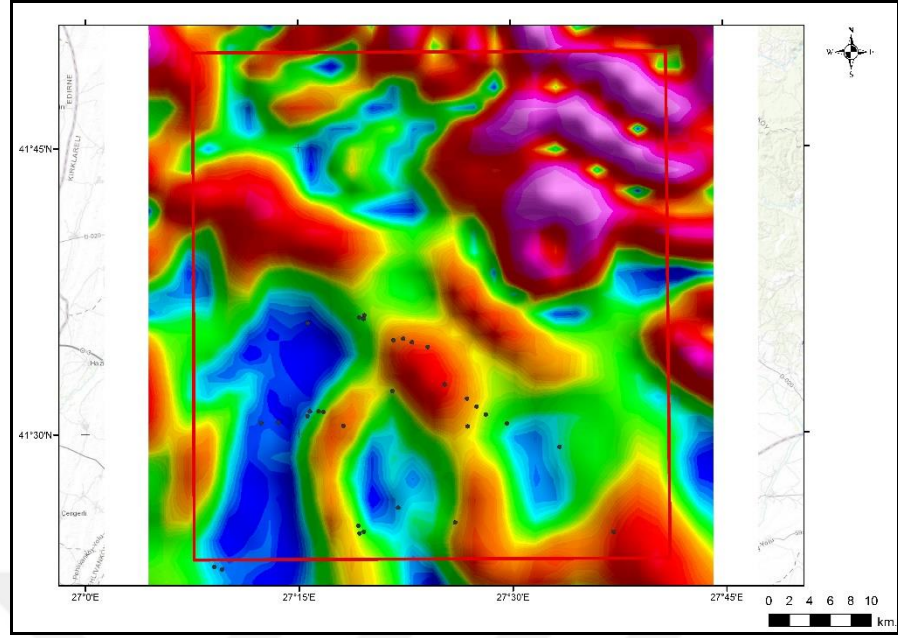


Şekil 3.30. Yatay Türev Haritası (Hg 3 km)

Yatay türev genlikleri yapı sınırları hakkında bilgi verir. Bu haritalar üzerine derinliklerine göre kuyular eklendiğinde anomali etkisini gözlemleyebiliriz. Şekil 3.31’de 2000 m.’den derin kuyu sondaj verisinin yatay türev verisi ile çakıştırılmış hali sunulmuştur. Şekil 3.32’de ise 1000 - 2000 m derinliğindeki kuyu sondaj verisi ile yatay türev haritası entegrasyonu görülmektedir.



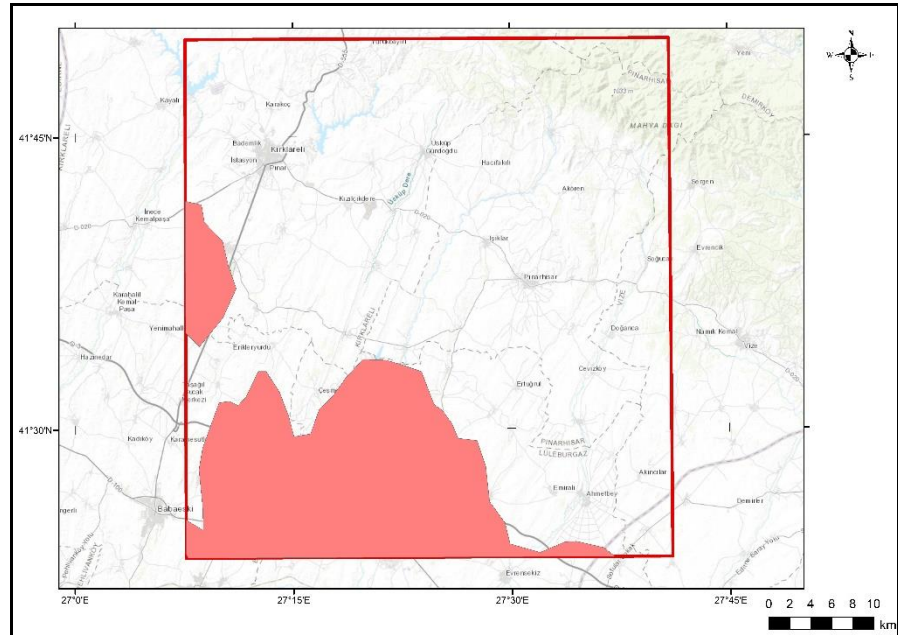
Şekil 3.31. 2000 m. ' den derin kuyular ile yatay türev haritası entegrasyonu



Şekil 3.32. 1000 - 2000 m arası kuyular ile yatay türev haritası entegrasyonu

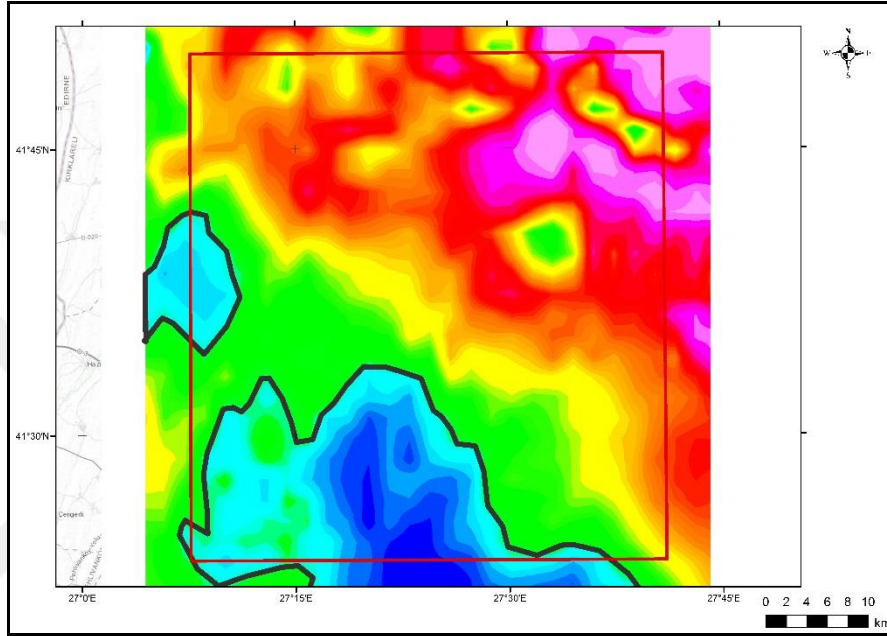
3.2.6.6. Basen Haritası

Bouguer anomaly mapında düşük yoğunluklu alanların olması bu alanlarda bir basen alanı olduğunu düşündürmektedir. Çalışma alanının güneyinde ve batısında basen olduğu düşünülen düşük yoğunluklu alanlar vardır.



Şekil 3.33. Basen Haritası

Çalışma alanının kuzey doğusunda ise yükselen alanlar bulunmaktadır. Ancak, bu alanların içinde sarı ve yeşil renkle gösterilmiş olan düşük yoğunluklu alanların olduğu gözlemlenmektedir. Belirtilen alanlarda da basen olma olasılığı vardır. Analizlerde kullanılan gravite verisi hassas bir gravite verisi değildir. Söz konusu alanlar tektonizma ile ilişkilendirilerek incelendiğinde bu alanlarda yaşlı birimlerin bulunduğu görülmektedir.



Şekil 3.34. Basen Haritası ve Bouguer Haritası Entegrasyonu

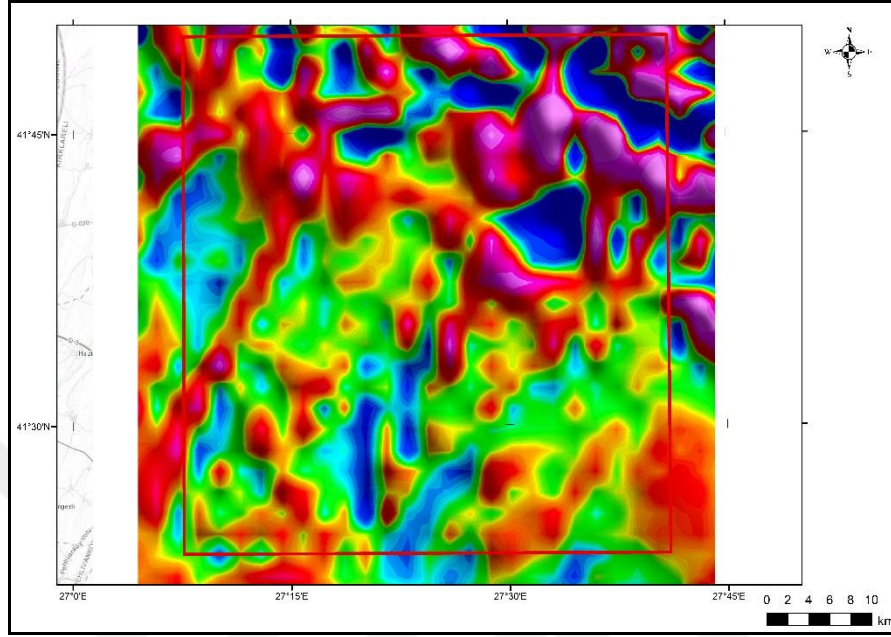
Çalışma alanının kuzeyinde ise yaşlı birimlerin yüzeylenmiştir. Şekil 3.34’de açık mavi olarak gösterilen alanlar basenin incelendiği yerleri ve koyu mavi olarak gösterilen alanlar ise basenin kalınlaştığı alanları göstermektedir. Yeşil renkli alanlar ise ortalama kalınlıkta sediman olduğunu gösteren alanlardır. Güneydeki basen alanına baktığımızda batıya doğru sedimanın incelendiğini gözlemlenmiştir.

3.2.6.7. Düşey Türev Haritaları

Gravite verileri kullanılarak elde edilen düşey türev haritaları yer altındaki yapının sınırı, derinliği ve sürekliliği hakkında bilgi verir (Blakely, 1995).

Gravite ve manyetik anomalilerin analizinde düşey ve yatay türev haritaları sıklıkla kullanılmaktadır. Herhangi bir fonksiyonun matematiksel olarak ikinci türevi, fonksiyonun büküm noktalarında sıfır değerini verir. Düşey türev yaklaşımı ile gravite anomali eğrisinin büküm noktaları kolaylıkla belirlenebilmektedir (McCubbine vd. , 2018). Yer altında farklı boyut ve şekillerdeki kütlelerin oluşturdukları anomalilerin

büküm noktaları ile derinlikleri arasında ilişkiler bulunduğundan, ikinci türev yöntemi ile kütlelerin dağılımları ve derinlikleri hakkında bilgiler elde edilebilir (Schettiona , 2015)

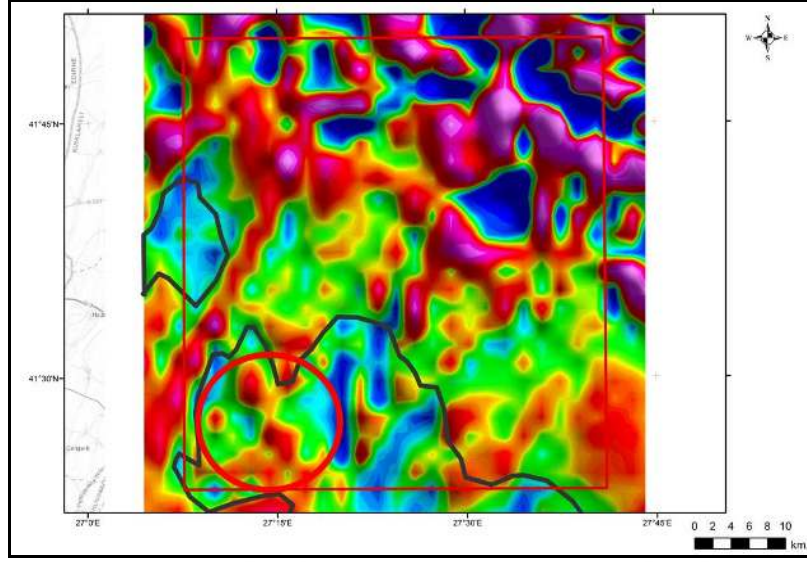


Şekil 3.35. Düşey Türev Haritası

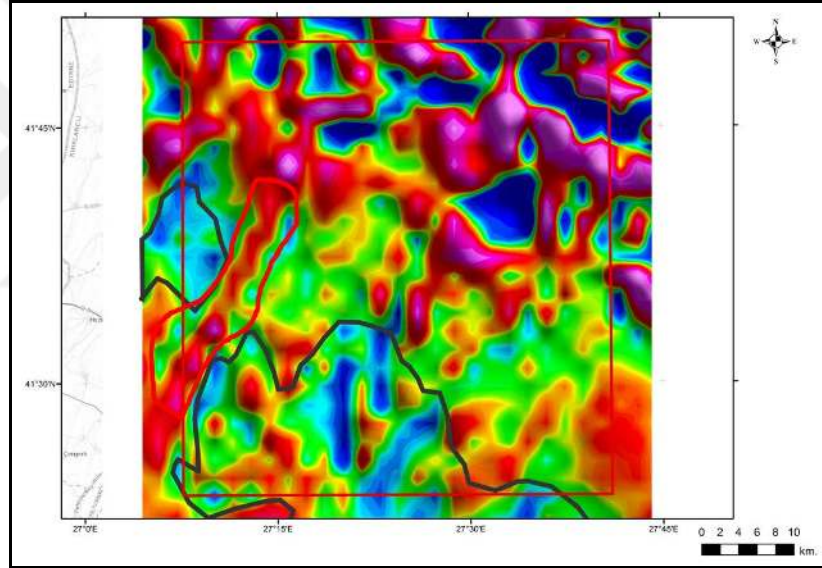
Basen içi yükselimler düşey türevde gözlemlenebilir ve kırmızı ile belirlenen alanlarda yükselimler görülmektedir. Ancak bu yükselim görüldüğü alanlarda tektonizma önem kazanmaktadır. Yükselim olan alandaki fay geçirimli mi geçirimsiz mi? Söz konusu alanda örtü kaya var mı? Düşey türev haritaları ile diğer veriler entegre edilerek bu sorulara uzmanlarca yorumlanarak yanıtlar aranır.

Güneydeki basenin batısında sediman kalınlığı az olduğu ancak basen içinde yükselimler olduğu Şekil 3.36'da gözlemlenmektedir. Bu nedenle basen çevresini de yorumlamamız gerekmektedir.

İki basen arasındaki bu bölge ise prospektif alan olabilir. Basenden göz eden petrol burada kapanlanmış olabilir.

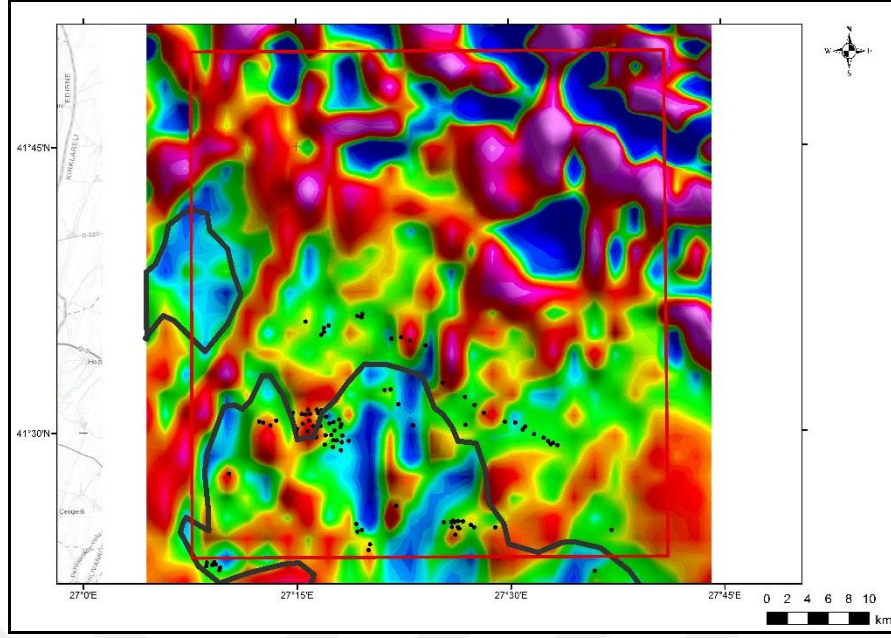


Şekil 3.36. Düşey Türev Haritası



Şekil 3.37. Düşey Türev ve Basen Haritası Entegrasyonu

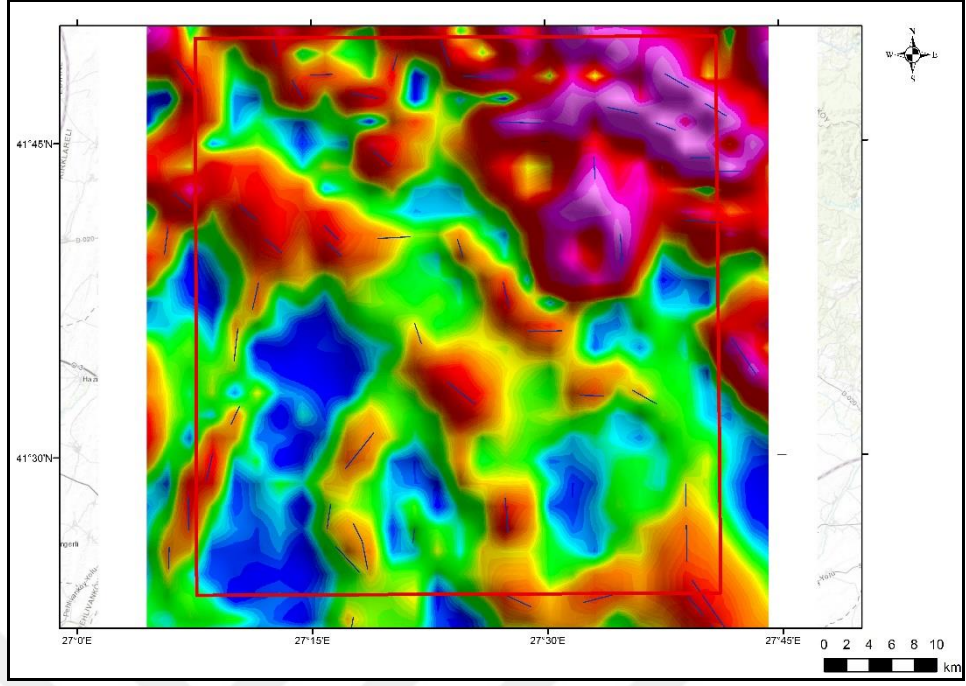
Basen haritası ile düşey türev haritalarını entegre ettiğimizde ise basen içindeki yükselimler ilgilenmemiz gereken alanlardır. Söz konusu yükselimler poligon olarak tanımlanmış olup, daha önce Şekil 3.38’de görüldüğü gibi siyah noktalarla gösterilmiş olan hidrokarbon çıkan kuyularla entegre edildiğinde gravite uzmanı ile birlikte yapılan yorumlama çalışmasının tutarlı olduğu gözlemlenmektedir. Bu yükselimleri gösteren poligonlar diğer jeofizik verileriyle birlikte kullanılarak hidrokarbon arama çalışmalarında çalışma alanını daraltmak için yardımcı veri olarak kullanılabilir.



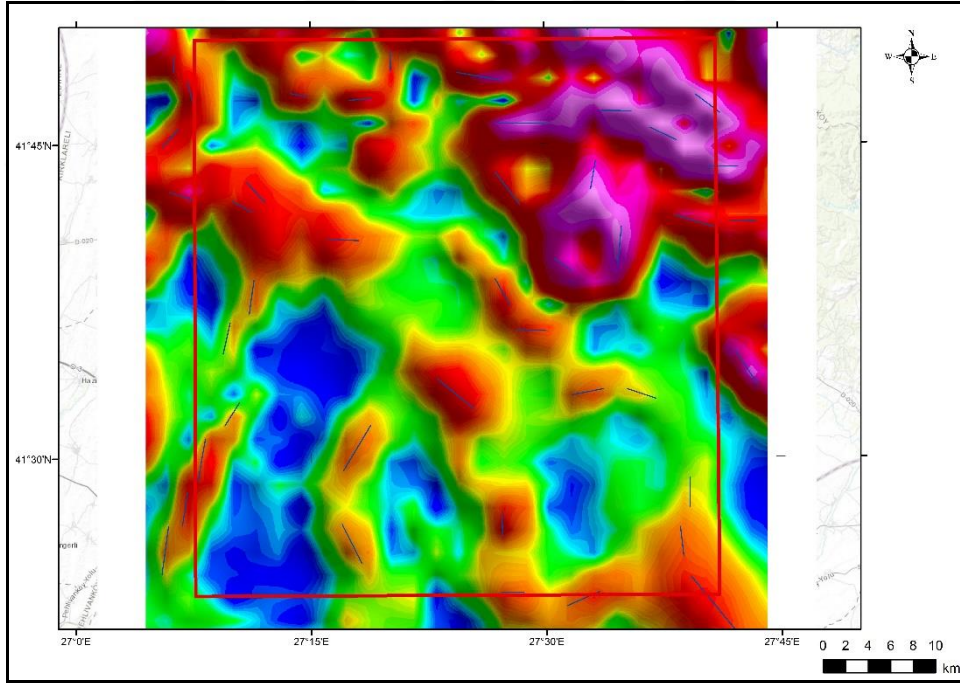
Şekil 3.38. *Düşey Türev, Basen ve Kuyu Verisi Entegrasyonu*

3.2.6.8. Fay Haritaları

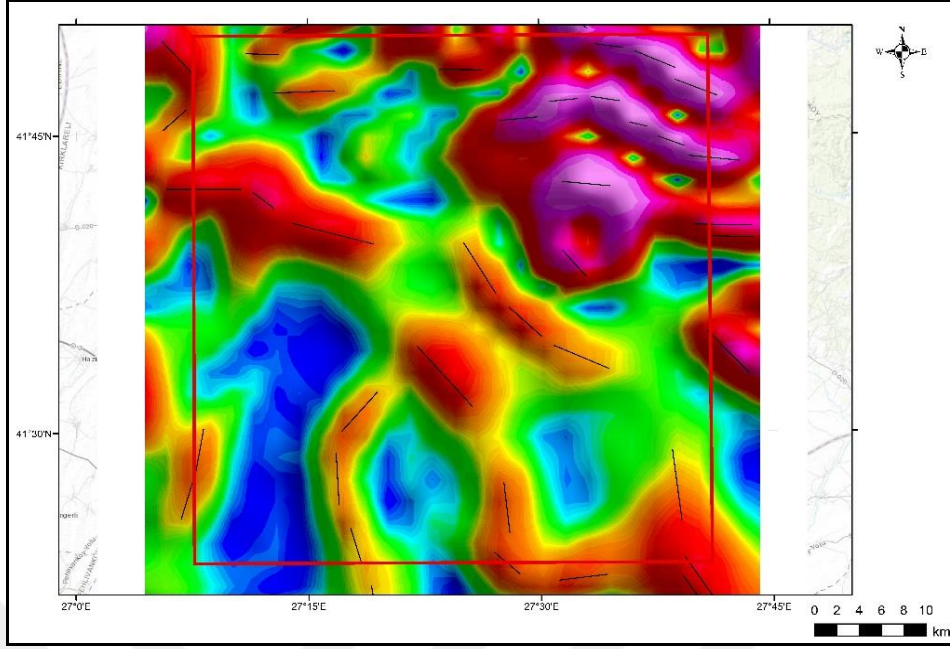
Ergene havzasının içinde bulunan çalışma alanı için deniz seviyesinden itibaren - 1000 m, -2000m ve -3000 m derinlikleri için yatay türev haritaları oluşturulmuştur. Bu yatay türev haritalarından gravite anamoli haritaları ile her bir derinlik için fay izleri türetilmiştir. Rezidüel ve Rejyonel haritaları 1000m, 2000m ve 3000m derinlikler için Geosoft OASIS Montaj programında hazırlanmıştır. Her bir derinlik için bulunan fay izleri şekil 3.39, 3.40 ve 3.41’de görülmektedir.



Şekil 3.39. Yatay türev (HG0km) ' den elde edilen faylar



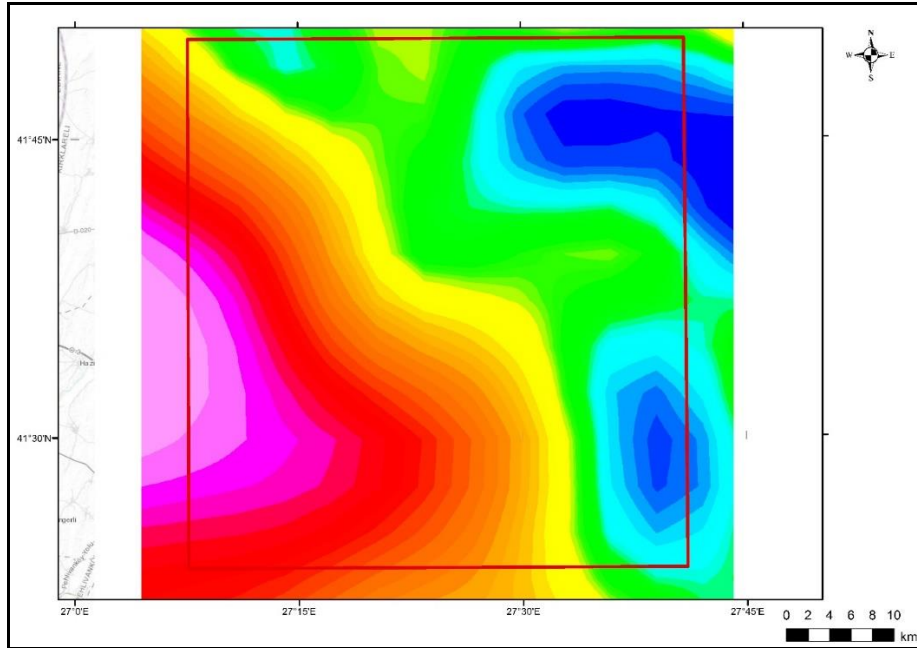
Şekil 3.40. Yatay türev (HG1km) ' den elde edilen faylar



Şekil 3.41. Yatay türev (HG2km)' den elde edilen faylar

3.2.8. Manyetik Duyarlılık Verisi

Volkanik, tortul ve başkalaşım kayalarının mıknatıslanma duyarlılıkları birbirinden farklıdır. Çalışma alanı için indirilen manyetik duyarlılık haritası şekil 3.42'de görülmektedir.



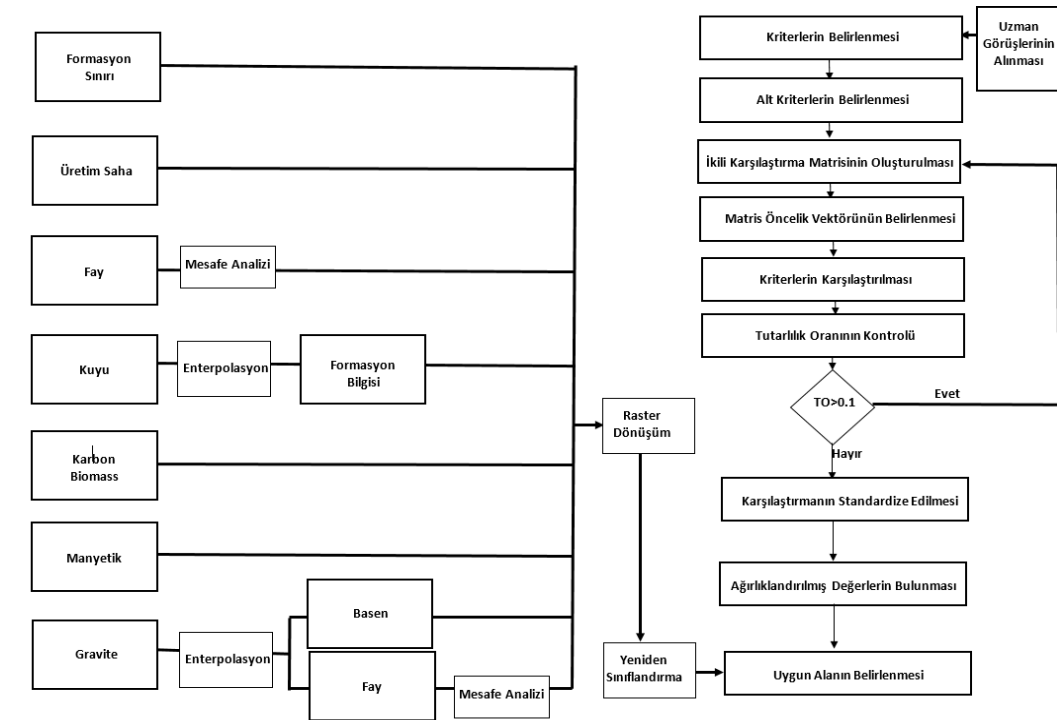
Şekil 3.42. Manyetik Duyarlılık Haritası

4. BULGULAR

Hidrokarbon potansiyelli alanların tahmini için Çok Kriterli Karar Destek Analizleri'nden faydalanılmıştır. Formasyon verisi, fay verisi, karbon biomass, kuyu, gravite ve manyetik verilerinden faydalanılarak petrol ve doğalgaz içeren alanları belirleme problemi için alternatifler üretilmiştir. ÇKKDA'ndan yaygın olarak kullanılan Analitik Hiyerarşi Süreci ve Bulanık Analitik Hiyerarşi Süreci yöntemleri tahmin haritası üretmek için analizlerde kullanılmıştır.

4.1. Analitik Hiyerarşi Süreci

Analitik Hiyerarşi Süreci belirlenen bir amaca göre yine daha önceden konusundan uzman kişilerce belirlenen ana ve alt kriterler alternatifler sunan bir ÇKKDA yöntemidir. Belirlenen ana kriterler ve alt kriterlere göre karşılaştırma matrislerinden yararlanılarak kriterler karşılaştırılır ve tutarlılık oranları hesaplanır. Tutarlılık oranı 0.1'den küçük olan veriler ile ağırlıklar bulunur. Çalışmada kullanılacak olan tüm veriler belirlenen ana ve alt kriterlere göre yeniden sınıflandırılır. Sınıflandırılan veriler, AHP yönteminden bulunan ağırlıklar kullanılarak Ağırlıklı Çakıştırma Yöntemi ile çakıştırılır. AHP ve FAHP analizleri için takip edilen işlem adımları Şekil 4.1'de görüldüğü gibidir.



Şekil 4.1. AHP/FAHP Akış Şeması

Belirlenen çalışma alanında konusunda uzman farklı birimlerde çalışan 6 yerbilimci tarafından yapılan anket değerlendirmeleri sonucunda ana / alt kriterler ve bu kriterler önem sırası belirlenmiştir. TPAO’da çalışan/çalışmış olan 3 jeofizik mühendisi, 2 jeoloji mühendisi ve 1 geomatik mühendisi olan uzmanların veri setlerine verdikleri ağırlıklar Şekil 4.3’deki gibidir.

	UZMAN1	UZMAN2	UZMAN3	UZMAN4	UZMAN5	UZMAN6
Üretim Sahaları	8	6	8	8	8	9
Basen	8	7	8	8	6	7
Yer altı Fay bilgisi	7	6	7	8	8	9
Yer altı Formasyon bilgisi	7	8	7	6	8	7
Gravite Yoğunluğu	5	6	5	6	8	7
Yer üstü Fay bilgisi	3	6	5	6	8	7
Yer üstü Formasyon bilgisi	1	8	2	6	8	5
Manyetik Yoğunluğu	1	5	1	6	3	3
Carbon Biomass Yoğunluğu	1	0	1	4	1	3

Şekil 4.3. Uzman Ağırlıkları

Tüm ana ve ara kriterler dikkate alınarak her bir uzman değerlendirmesi için karşılaştırma matrisleri oluşturuldu. Her bir uzman değerlendirmesi için hazırlanan karşılaştırma matrisleri kullanılarak hepsinin birlikte değerlendirildiği ağırlıkların belirlenmesini sağlayan karşılaştırma matrisi oluşturulur. Karşılaştırma matrisi satır ve sütun sayısı eşit olan ve köşegen elamanlarının tamamı 1’den oluşan kare bir matristir. (Kou vd. , 2013)

$$A = \begin{bmatrix} 1 & k_{12}=1/k_{21} & .. & .. & .. & k_{1n}=1/k_{n1} \\ k_{21} & 1 & & & & . \\ . & & . & & & . \\ . & & & . & & . \\ . & & & & . & . \\ k_n & . & . & . & . & 1 \end{bmatrix}$$

k12 1. ve 2. kriterin ikili karşılaştırma değeridir. k21 değeri ise 1/ k12 değerine eşit olup, matris elemanları birbirlerine göre tercih edilme durumları değerlendirilerek ikili karşılaştırma matrisi hazırlanır. Karşılaştırma ölçeği olarak Saaty ölçeği kullanılmıştır. Saaty ölçeği değerleri Saaty karşılaştırma ölçeği tablosunda görüldüğü gibidir.

Tablo 4.1. Saaty Karşılaştırma Ölçeği

Önem Derecesi	Tanım
1	Eşit derecede önemli
3	Orta derecede önemli
5	Yüksek derecede önemli
7	Çok yüksek derecede önemli
9	En yüksek derecede önemli
2,4,6,8	Ara değerler

Her bir uzmanın puanlamasına göre Microsoft Excel programında Saaty ölçeğine göre karşılaştırmalı veri matrisleri oluşturulmuştur. Oluşturulan bu ikili karşılaştırma matris elemanları her bir sütun toplamına bölünerek normalize edilmiştir. Normalize edilen matriste sütun toplamaları 1'e eşittir.

$$k_{ij} = \frac{k_{mn}}{\sum_{i=1}^n k_{ij}} \quad , \quad i,j = 1,2,3,\dots,n \quad (\text{Saaty, 2003})$$

(4.1)

Normalize edilmiş olan matristeki satır elemanlarının ($k_{1n}, \dots, k_{mn}$) ortalamaları alınarak AHP için kullanılacak önem ağırlıkları her bir uzman için ve AHP analizi için geometrik ortalama alınarak belirlenmiştir.

$$W_i = \left(\frac{1}{n} \right) \sum_{i=1}^n k'_{ij} , i,j = 1,2,3, \dots, n \quad (\text{Saaty T.L. , (2003)}) \quad (4.2)$$

UZMAN 1:

Saaty ölçeğine göre üretim sahası, gravite verisinden elde edilen basen ve fay bilgisi, sondaj noktalarından türetilen formasyon bilgisi, gravite yoğunluğu, yersel ölçmelerden elde edilmiş fay ve formasyon bilgisi, manyetik, yoğunluğu ve karbon biomass yoğunluğu verileri için ikili karşılaştırma matrisi hazırlanmıştır. Söz konusu

ikili karşılaştırma matrisi ve bu matris normalize edildikten sonra bulunan ağırlıklar Tablo 4.2 ve Tablo 4.3’de özetlenmiştir.

Tablo 4.2. Karşılaştırma Matrisi (Uzman1)

	Üretim Sahaları	Basen	Fay (Gravite)	Formasyon (Sondaj)	Gravite Yoğunluğu	Fay	Formasyon	Manyetik Yoğunluğu	Karbon Biomass Yoğunluğu
Üretim Sahaları	1	1	2	2	4	6	8	8	8
Basen	1	1	2	2	4	6	8	8	8
Fay (Gravite)	1/2	1/2	1	1	3	5	7	7	7
Formasyon (Sondaj)	1/2	1/2	1	1	3	5	7	7	7
Gravite Yoğunluğu	1/4	1/4	1/3	1/3	1	3	5	5	5
Fay	1/6	1/6	1/5	1/5	1/3	1	3	3	3
Formasyon	1/8	1/8	1/7	1/7	1/5	1/3	1	1	1
Manyetik Yoğunluğu	1/8	1/8	1/7	1/7	1/5	1/3	1	1	1
Karbon Biomass Yoğunluğu	1/8	1/8	1/7	1/7	1/5	1/3	1	1	1

Tablo 4.3. Ağırlıklar (Uzman1)

Veri	Ağırlık
Üretim Sahaları	0,24
Basen	0,24
Fay (Gravite)	0,16
Formasyon (Sondaj)	0,16
Gravite Yoğunluğu	0,09
Fay	0,05
Formasyon	0,02
Manyetik Yoğunluğu	0,02
Karbon Biomass Yoğunluğu	0,02

UZMAN 2:

Uzman 2’nin yapmış olduğu değerlendirmelere göre hazırlanan ikili karşılaştırma matrisi ise Tablo 4.4’da görüldüğü gibidir. Söz konusu matris her bir satır elemanının satır toplam değerine bölünmesi ile normalize edilmiş olup, normalize edilen matris sonucu bulunan ağırlıklar Tablo 4.5’de görülmektedir.

Tablo 4.4. Karşılaştırma Matrisi (Uzman2)

	Üretim Sahaları	Basen	Fay (Gravite)	Formasyon (Sondaj)	Gravite Yoğunluğu	Fay	Formasyon	Manyetik Yoğunluğu	Karbon Biomass Yoğunluğu
Üretim Sahaları	1	1/2	1	1/4	1	1	1/4	2	6
Basen	2	1	2	1/2	2	2	1/2	4	7
Fay (Gravite)	1	1/2	1	1/4	1	1	1/4	2	6
Formasyon (Sondaj)	4	2	4	1	4	4	1	5	8
Gravite Yoğunluğu	1	1/2	1	1/4	1	1	1/4	2	6
Fay	1	1/2	1	1/4	1	1	1/4	2	6
Formasyon	4	2	4	1	4	4	1	5	8
Manyetik Yoğunluğu	1/2	1/4	1/2	1/5	1/2	1/2	1/5	1	5
Karbon Biomass Yoğunluğu	1/6	1/7	1/6	1/8	1/6	1/6	1/8	1/5	1

Tablo 4.5 Ağırlıklar (Uzman2)

Veri	Ağırlık
Üretim Sahaları	0,25
Basen	0,25
Fay (Gravite)	0,14
Formasyon (Sondaj)	0,07
Gravite Yoğunluğu	0,07
Fay	0,07
Formasyon	0,07
Manyetik Yoğunluğu	0,05
Karbon Biomass Yoğunluğu	0,02

UZMAN 3:

Uzman 3'ün vermiş olduğu değerlere göre ikili karşılaştırma matrisi elamanları Saaty ölçeğine göre hazırlanmış olup, Tablo 4.6'daki gibidir. Normalize edilmiş matristen elde edilen ağırlıklar ise Tablo 4.7'de gösterilmiştir.

Tablo 4.6. Karşılaştırma Matrisi (Uzman3)

	Üretim Sahaları	Basen	Fay (Gravite)	Formasyon (Sondaj)	Gravite Yoğunluğu	Fay	Formasyon	Manyetik Yoğunluğu	Karbon Biomass Yoğunluğu
Üretim Sahaları	1	1	2	2	4	4	7	8	8
Basen	1	1	2	2	4	4	7	8	8
Fay (Gravite)	1/2	1/2	1	1	4	4	6	7	7
Formasyon (Sondaj)	1/2	1/2	1	1	4	4	6	7	7
Gravite Yoğunluğu	1/4	1/4	1/4	1/4	1	1	5	6	6
Fay	1/4	1/4	1/4	1/4	1	1	5	6	6
Formasyon	1/7	1/7	1/6	1/6	1/5	1/5	1	2	2
Manyetik Yoğunluğu	1/8	1/8	1/7	1/7	1/6	1/6	1/2	1	2
Karbon Biomass Yoğunluğu	1/8	1/8	1/7	1/7	1/6	1/6	1/2	1/2	1

Veri	Ağırlık
Üretim Sahaları	0,23

Basen	0,23	Tablo 4.7. Ağırlıklar (Uzman3)
Fay (Gravite)	0,16	
Formasyon (Sondaj)	0,16	
Gravite Yoğunluğu	0,08	
Fay	0,08	
Formasyon	0,03	
Manyetik Yoğunluğu	0,02	
Karbon Biomass Yoğunluğu	0,02	

UZMAN 4:

Uzman 4 için hazırlanan ikili karşılaştırma matrisi ve ağırlıklar Tablo 4.8 ve Tablo 4.9’da özetlenmiştir.

Tablo 4.8. Karşılaştırma Matrisi (Uzman4)

	Üretim Sahaları	Basen	Fay (Gravite)	Formasyon (Sondaj)	Gravite Yoğunluğu	Fay	Formasyon	Manyetik Yoğunluğu	Karbon Biomass Yoğunluğu
Üretim Sahaları	1	1	1	4	4	4	4	4	4
Basen	1	1	1	4	4	4	4	4	4
Fay (Gravite)	1	1	1	4	4	4	4	4	4
Formasyon (Sondaj)	1/4	1/4	1/4	1	1	1	1	1	4
Gravite Yoğunluğu	1/4	1/4	1/4	1	1	1	1	1	4
Fay	1/4	1/4	1/4	1	1	1	1	1	4
Formasyon	1/4	1/4	1/4	1	1	1	1	1	4
Manyetik Yoğunluğu	1/4	1/4	1/4	1	1	1	1	1	4
Karbon Biomass Yoğunluğu	1/5	1/5	1/5	1/4	1/4	1/4	1/4	1/4	1

Tablo 4.9. Ağırlıklar (Uzman4)

Veri	Ağırlık
Üretim Sahaları	0,22
Basen	0,22
Fay (Gravite)	0,22
Formasyon (Sondaj)	0,06
Gravite Yoğunluğu	0,06
Fay	0,06
Formasyon	0,06
Manyetik Yoğunluğu	0,06
Karbon Biomass Yoğunluğu	0,03

UZMAN 5:

Saaty ölçeğine göre ve Uzman 5 için hazırlanan ikili karşılaştırma matrisi Tablo 4.10'da, söz konusu uzmanın belirlediği değerlere göre bulunan ağırlıklar Tablo 4.11'deki gibidir.

Tablo 4.10. Karşılaştırma Matrisi

	Üretim Sahaları	Basen	Fay (Gravite)	Formasyon (Sondaj)	Gravite Yoğunluğu	Fay	Formasyon	Manyetik Yoğunluğu	Karbon Biomass Yoğunluğu
Üretim Sahaları	1	1/4	1/6	1/6	1/6	1/6	1/6	1/6	3
Basen	4	1	1/3	1/3	1/3	1/3	1/3	1/3	6
Fay (Gravite)	6	3	1	1	1	1	1	1	8
Formasyon (Sondaj)	6	3	1	1	1	1	1	1	8
Gravite Yoğunluğu	6	3	1	1	1	1	1	1	8
Fay	6	3	1	1	1	1	1	1	8
Formasyon	6	3	1	1	1	1	1	1	8
Manyetik Yoğunluğu	6	3	1	1	1	1	1	1	8
Karbon Biomass Yoğunluğu	1/3	1/6	1/8	1/8	1/8	1/8	1/8	1/8	1

(Uzman5)

Tablo 4.11. Ağırlıklar (Uzman5)

Veri	Ağırlık
Üretim Sahaları	0,15
Basen	0,15
Fay (Gravite)	0,15
Formasyon (Sondaj)	0,15
Gravite Yoğunluğu	0,15
Fay	0,15
Formasyon	0,06
Manyetik Yoğunluğu	0,03
Karbon Biomass Yoğunluğu	0,02

UZMAN 6:

İkili karşılaştırma matrisi 6. uzman için yine Saaty ölçeğine göre hazırlanarak, normalize edilmiştir. Söz konusu karşılaştırma matrisi Tablo 4.12'de görüldüğü gibidir. 6. Uzman için hesaplanan ağırlıklar Tablo 4.13'de görülmektedir.

Tablo 4.12. Karşılaştırma Matrisi (Uzman6)

	Üretim Sahaları	Basen	Fay (Gravite)	Formasyon (Sondaj)	Gravite Yoğunluğu	Fay	Formasyon	Manyetik Yoğunluğu	Karbon Biomass Yoğunluğu
Üretim Sahaları	1	1	3	3	3	3	5	7	7
Basen	1	1	3	3	3	3	5	7	7
Fay (Gravite)	1/3	1/3	1	1	1	1	3	5	5
Formasyon (Sondaj)	1/3	1/3	1	1	1	1	3	5	5
Gravite Yoğunluğu	1/3	1/3	1	1	1	1	3	5	5
Fay	1/3	1/3	1	1	1	1	3	5	5
Formasyon	1/5	1/5	1/3	1/3	1/3	1/3	1	3	3
Manyetik Yoğunluğu	1/7	1/7	1/5	1/5	1/5	1/5	1/3	1	1
Karbon Biomass Yoğunluğu	1/7	1/7	1/5	1/5	1/5	1/5	1/3	1	1

Tablo 4.13. Ağırlıklar (Uzman6)

Veri	Ağırlık
Üretim Sahaları	0,25
Basen	0,25
Fay (Gravite)	0,10
Formasyon (Sondaj)	0,10
Gravite Yoğunluğu	0,10
Fay	0,10
Formasyon	0,05
Manyetik Yoğunluğu	0,02
Karbon Biomass Yoğunluğu	0,02

ANALİTİK HİYERARŞİ SÜRECİ:

Tüm uzmanların verdikleri ağırlıklara göre geometrik ortalamaları hesaplanmıştır. AHP için belirlenen ağırlıklar Tablo 4.14’de görüldüğü gibidir.

Tablo 4.14. Ağırlıklar (AHP)

Veri	Ağırlık
Üretim Sahaları	0,11
Basen	0,17
Fay (Gravite)	0,18
Formasyon (Sondaj)	0,22
Gravite Yoğunluğu	0,09
Fay	0,07
Formasyon	0,08
Manyetik Yoğunluğu	0,06
Karbon Biomass Yoğunluğu	0,02

İkili karşılaştırma veri matrislerinde hesaplanan değerlerin tutarlılık oranı bulunmuş olup, veri setlerinin her birinin kendi içinde ve birbirleriyle olan tutarlılığı

ortaya konmuştur. Tutarlılık oranı hesaplamalarında Tutarlılık İndeksi ve Rassal İndeks değerlerinden faydalanılmıştır. λ_{max} hesaplanması için öncelikle veri matrisindeki her bir satır için o satıra ilişkin matris elemanları toplamı söz konusu satır elemanı için bulunan ağırlığa bölünür. Her satır için bulunan değerler toplanarak kriter sayısına bölünerek λ_{max} hesaplanır. Tutarlılık indeksi ise 4.4 formülüne dayanarak bulunur.

$$\lambda_{max} = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n \left(\frac{\sum_{i=1}^n k_{ij} w_j}{w_i} \right) \quad (\text{Saaty, 2003 ve Kou vd. ,2013}) \quad (4.3)$$

$$CI = \frac{\lambda_{max} - n}{n - 1} \quad (\text{Saaty, 2003 ve Kou vd. ,2013}) \quad (4.4)$$

Rassal indeks için kriter sayısı 9 olduğundan 1,45 değeri kullanılmıştır. Tutarlılık oranı Tutarlılık İndeksinin Rassal İndekse bölünmesi ile elde edilir. Tutarlılık oranları 0.1'den küçük olduğundan bulunan ağırlıklar analiz için kullanılabilir niteliktedir.

$$CR = CI/RI \quad (\text{Saaty, 2003 ve Kou vd. ,2013}) \quad (4.5)$$

</

Uzmanların vermiş olduğu değerlere göre hazırlanan tutarlılık hesaplamaları için ilgili tablolar hazırlanmıştır.

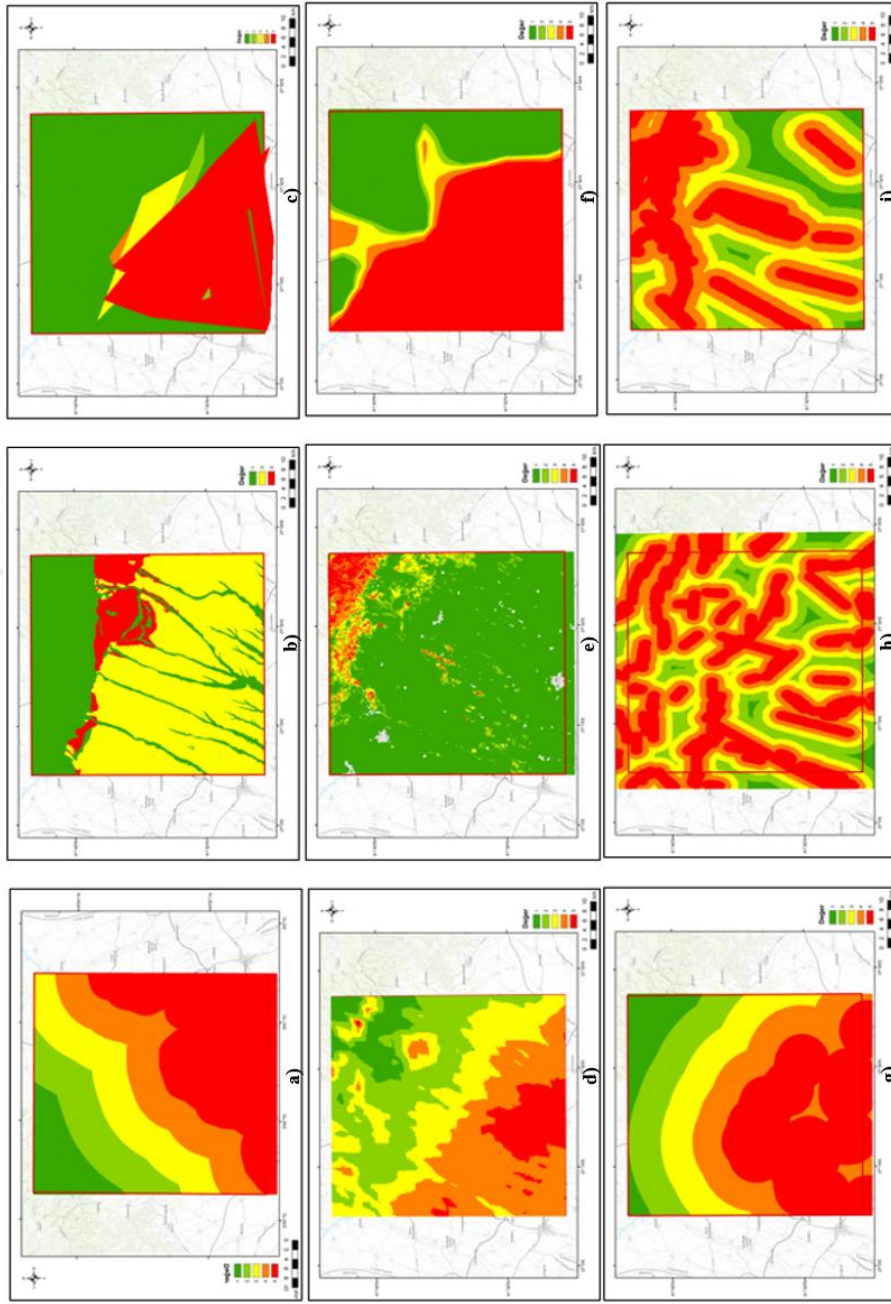
Tutarlılık değerinin 0.1'den küçük olması karar vericinin yaptığı karşılaştırma matrisinde yaptığı karşılaştırmaların tutarlı olduğunu gösterir. CR değerinin 0.1'den büyük olması ise hesaplama hatasının olduğunu ya da karşılaştırmalardaki tutarsızlık konusunda karar vericiye tekrar değerlendirme yapması için yol gösterir.

Tablo 4.16. Tutarlılık Tablosu

	λ_{max}	CR
Uzman 1	9,3088	0,0266
Uzman 2	9,2414	0,0208
Uzman 3	9,3098	0,0267
Uzman 4	9,0651	0,0056
Uzman 5	9,1867	0,0161
Uzman 6	9,2176	0,0188
AHP	9,0594	0,0051

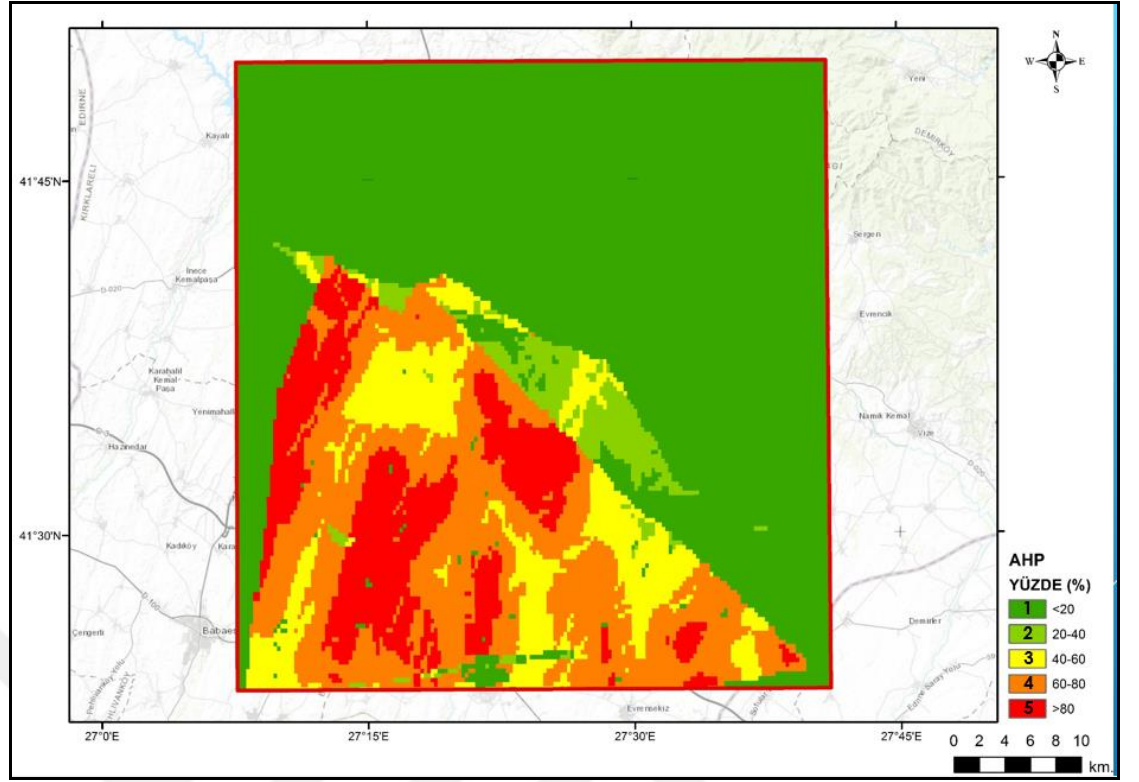
Tutarlılık değerleri her bir uzman görüşü ve AHP yöntemi için hesaplanmış olup, 0.01'den küçüktür. Tüm uzmanların görüşleri dikkate alınarak hazırlanan karşılaştırma matrisinin tutarlı olduğu görülmektedir.

Çalışmada kullanılan tüm veriler Analitik Hiyerarşi Süreci sonucunda çıkan ağırlıklara göre yeniden sınıflandırılmıştır. Yeniden Sınıflandırılan veriler ise uygun değil, az uygun, orta uygun, uygun ve en uygun olarak normalize edilmiştir. Normalize edilen veriler şekil 4.4'de görülmektedir. Söz konusu analizler ArcGIS 10.8.1 versiyonunda Spatial Analyst Toolu kullanılarak gerçekleştirilmiştir. AHP analizi ile bulunan ağırlıklar Ağırlıklı Çakıştırma Yöntemi ile çalıştırılarak Şekil 4.5 'deki tahmin haritası hazırlanmıştır. Tahmin Haritası ile IHS'den elde edilmiş olan kuyu sondaj verileri entegre edilmiştir.

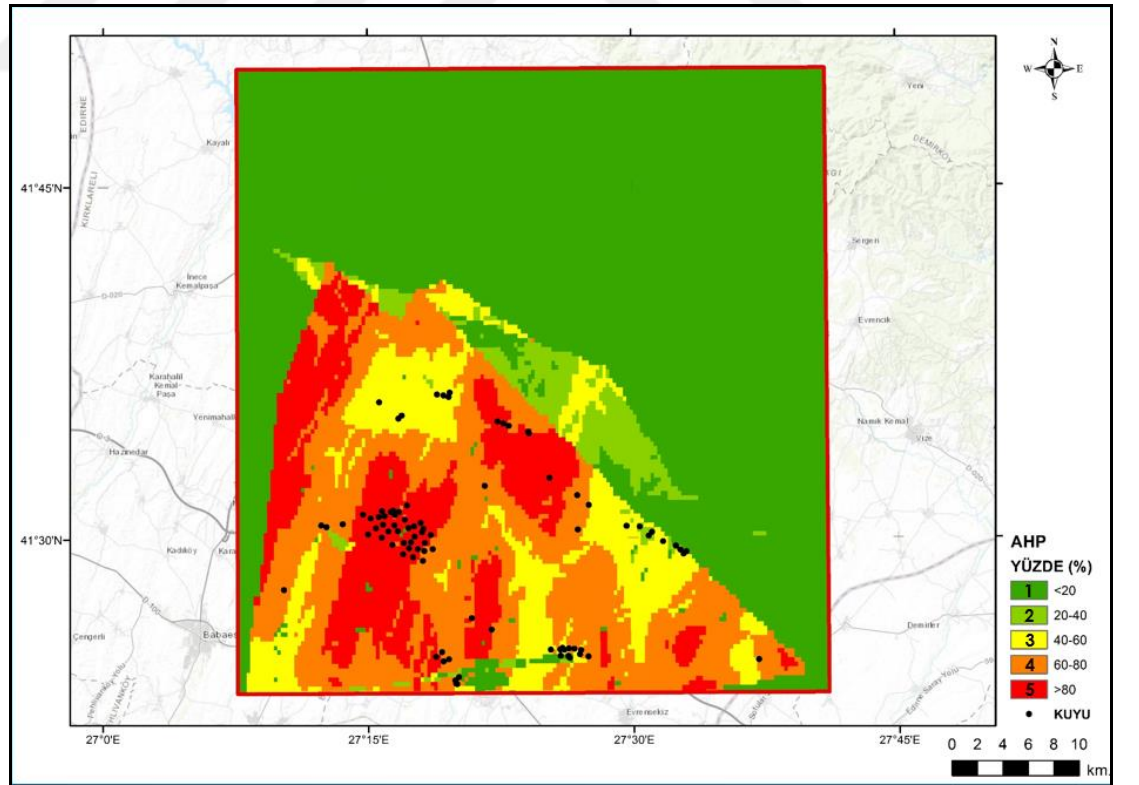


Şekil 4.4
Yeniden
Sınıflandırılmış
Veriler

- a)** Basen **b)**
Formasyon **c)**
Formasyon
(Kuyu Sondaj)
d) Gravite **e)**
Karbon
Biomass **f)**
Manyetik
g) Üretim Saha
h) Fay
(Gravite) **i)**
Faya Yakınlık



Şekil 4.5. AHP Tahmin Haritası



Şekil 4.6. AHP Tahmin Haritası ve Kuyu Sondaj Veri Entegrasyonu

4.2. Bulanık Analitik Hiyerarşi Süreci

Bulanık mantık, belirsiz, kesin olmayan veya eksik girdi bilgisine dayanarak basit bir yoldan kesin sonuca ulaşmayı amaçlar. Bulanık mantık yaklaşımları bir insanın karar alma problemlerini taklit eder. İnsan kontrol mantığını taklit ettiği için birçok kontrol sistem uygulamasında mükemmel seçenek olur. Yazılımda ve donanımda gerçekleştirilebilirler. (Das vd. , 2019)

Bulanık bindirme teknikleri küme teorisine dayanmaktadır. Bulanık bindirmede bir küme bir sınıfa karşılık gelir. Öncelikle problemi tanımlama, ana ve alt kriterlerin belirlenmesi işlemleri gerçekleştirilmelidir. Bulanık Mantık Analitik Hiyerarşi Süreci işlem adımları Analitik Hiyerarşi Süreci'ne benzemektedir.

Bu çalışmada ise 6 farklı Uzmardan edinilen ağırlıklar Bulanık Mantık AHP analizi için kullanılmıştır. Uzman görüşlerine göre ikili karşılaştırma matrisleri hazırlanmış olup, bu matrisler yardımıyla FAHP ağırlıkları hesaplanmıştır.

UZMAN 1:

Tablo 4.17. FAHP Karşılaştırma Matrisi (Uzman1)

	Üretim Sahaları	Basen	Fay (Gravite)	Formasyon (Sondaj)	Gravite Yoğunluğu	Fay	Formasyon	Manyetik Yoğunluğu	Karbon Biomass Yoğunluğu
Üretim Sahaları	(1,1,1)	(1,1,1)	(1,2,3)	(1,2,3)	(3,4,5)	(5,6,7)	(7,8,9)	(7,8,9)	(7,8,9)
Basen	(1,1,1)	(1,1,1)	(1,2,3)	(1,2,3)	(3,4,5)	(5,6,7)	(7,8,9)	(7,8,9)	(7,8,9)
Fay (Gravite)	(1/3,1/2,1/1)	(1/3,1/2,1/1)	(1,1,1)	(1,1,1)	(2,3,4)	(4,5,6)	(6,7,8)	(6,7,8)	(6,7,8)
Formasyon (Sondaj)	(1/3,1/2,1/1)	(1/3,1/2,1/1)	(1,1,1)	(1,1,1)	(2,3,4)	(4,5,6)	(6,7,8)	(6,7,8)	(6,7,8)
Gravite Yoğunluğu	(1/5,1/4,1/3)	(1/5,1/4,1/3)	(1/4,1/3,1/2)	(1/4,1/3,1/2)	(1,1,1)	(2,3,4)	(4,5,6)	(4,5,6)	(4,5,6)
Fay	(1/7,1/6,1/5)	(1/7,1/6,1/5)	(1/6,1/5,1/4)	(1/6,1/5,1/4)	(1/4,1/3,1/2)	(1,1,1)	(2,3,4)	(2,3,4)	(2,3,4)
Formasyon	(1/9,1/8,1/7)	(1/9,1/8,1/7)	(1/8,1/7,1/6)	(1/8,1/7,1/6)	(1/6,1/5,1/4)	(1/4,1/3,1/2)	(1,1,1)	(1,1,1)	(1,1,1)
Manyetik Yoğunluğu	(1/9,1/8,1/7)	(1/9,1/8,1/7)	(1/8,1/7,1/6)	(1/8,1/7,1/6)	(1/6,1/5,1/4)	(1/4,1/3,1/2)	(1,1,1)	(1,1,1)	(1,1,1)
Karbon Biomass Yoğunluğu	(1/9,1/8,1/7)	(1/9,1/8,1/7)	(1/8,1/7,1/6)	(1/8,1/7,1/6)	(1/6,1/5,1/4)	(1/4,1/3,1/2)	(1,1,1)	(1,1,1)	(1,1,1)

Tablo 4.18. FAHP Ağırlıklar (Uzman1)

Veri	Bulanık Ağırlık
Üretim Sahaları	0,24
Basen	0,24
Fay (Gravite)	0,15
Formasyon (Sondaj)	0,11
Gravite Yoğunluğu	0,08
Fay	0,07
Formasyon	0,04
Manyetik Yoğunluğu	0,03
Karbon Biomass Yoğunluğu	0,02

UZMAN 2:

Tablo 4.19. FAHP Karşılaştırma Matrisi (Uzman2)

	Üretim Sahaları	Basen	Fay (Gravite)	Formasyon (Sondaj)	Gravite Yoğunluğu	Fay	Formasyon	Manyetik Yoğunluğu	Karbon Biomass Yoğunluğu
Üretim Sahaları	(1,1,1)	(1,1,1)	(1,2,3)	(3,4,5)	(3,4,5)	(3,4,5)	(3,4,5)	(4,5,6)	(7,8,9)
Basen	(1,1,1)	(1,1,1)	(1,2,3)	(3,4,5)	(3,4,5)	(3,4,5)	(3,4,5)	(4,5,6)	(7,8,9)
Fay (Gravite)	(1/3,1/2,1/1)	(1/3,1/2,1/1)	(1,1,1)	(1,2,3)	(1,2,3)	(1,2,3)	(1,2,3)	(3,4,5)	(6,7,8)
Formasyon (Sondaj)	(1/5,1/4,1/3)	(1/5,1/4,1/3)	(1/3,1/2,1/1)	(1,1,1)	(1,1,1)	(1,1,1)	(1,1,1)	(1,2,3)	(5,6,7)
Gravite Yoğunluğu	(1/5,1/4,1/3)	(1/5,1/4,1/3)	(1/3,1/2,1/1)	(1,1,1)	(1,1,1)	(1,1,1)	(1,1,1)	(1,2,3)	(5,6,7)
Fay	(1/5,1/4,1/3)	(1/5,1/4,1/3)	(1/3,1/2,1/1)	(1,1,1)	(1,1,1)	(1,1,1)	(1,1,1)	(1,2,3)	(5,6,7)
Formasyon	(1/5,1/4,1/3)	(1/5,1/4,1/3)	(1/3,1/2,1/1)	(1,1,1)	(1,1,1)	(1,1,1)	(1,1,1)	(1,2,3)	(5,6,7)
Manyetik Yoğunluğu	(1/6,1/5,1/4)	(1/6,1/5,1/4)	(1/5,1/4,1/3)	(1/3,1/2,1/1)	(1/3,1/2,1/1)	(1/3,1/2,1/1)	(1/3,1/2,1/1)	(1,1,1)	(4,5,6)
Karbon Biomass Yoğunluğu	(1/9,1/8,1/7)	(1/9,1/8,1/7)	(1/8,1/7,1/6)	(1/7,1/6,1/5)	(1/7,1/6,1/5)	(1/7,1/6,1/5)	(1/7,1/6,1/5)	(1/6,1/5,1/4)	(1,1,1)

Tablo 4.20. FAHP Ağırlıklar (Uzman2)

Veri	Bulanık Ağırlık
Üretim Sahaları	0,25
Basen	0,25
Fay (Gravite)	0,14
Formasyon (Sondaj)	0,08
Gravite Yoğunluğu	0,08
Fay	0,08
Formasyon	0,08
Manyetik Yoğunluğu	0,05
Karbon Biomass Yoğunluğu	0,02

UZMAN 3:

Tablo 4.21. FAHP Karşılaştırma Matrisi (Uzman3)

	Üretim Sahaları	Basen	Fay (Gravite)	Formasyon (Sondaj)	Gravite Yoğunluğu	Fay	Formasyon	Manyetik Yoğunluğu	Karbon Biomass Yoğunluğu
Üretim Sahaları	(1,1,1)	(1,1,1)	(1,2,3)	(1,2,3)	(3,4,5)	(3,4,5)	(6,7,8)	(7,8,9)	(7,8,9)
Basen	(1,1,1)	(1,1,1)	(1,2,3)	(1,2,3)	(3,4,5)	(3,4,5)	(6,7,8)	(7,8,9)	(7,8,9)
Fay (Gravite)	(1/3,1/2,1/1)	(1/3,1/2,1/1)	(1,1,1)	(1,1,1)	(3,4,5)	(3,4,5)	(5,6,7)	(6,7,8)	(6,7,8)
Formasyon (Sondaj)	(1/3,1/2,1/1)	(1/3,1/2,1/1)	(1,1,1)	(1,1,1)	(3,4,5)	(3,4,5)	(5,6,7)	(6,7,8)	(6,7,8)
Gravite Yoğunluğu	(1/5,1/4,1/3)	(1/5,1/4,1/3)	(1/5,1/4,1/3)	(1/5,1/4,1/3)	(1,1,1)	(1,1,1)	(4,5,6)	(5,6,7)	(5,6,7)
Fay	(1/5,1/4,1/3)	(1/5,1/4,1/3)	(1/5,1/4,1/3)	(1/5,1/4,1/3)	(1,1,1)	(1,1,1)	(4,5,6)	(5,6,7)	(5,6,7)
Formasyon	(1/8,1/7,1/6)	(1/8,1/7,1/6)	(1/7,1/6,1/5)	(1/7,1/6,1/5)	(1/6,1/5,1/4)	(1/6,1/5,1/4)	(1,1,1)	(1,2,3)	(1,2,3)
Manyetik Yoğunluğu	(1/9,1/8,1/7)	(1/9,1/8,1/7)	(1/8,1/7,1/6)	(1/8,1/7,1/6)	(1/7,1/6,1/5)	(1/7,1/6,1/5)	(1/3,1/2,1/1)	(1,1,1)	(1,2,3)
Karbon Biomass Yoğunluğu	(1/9,1/8,1/7)	(1/9,1/8,1/7)	(1/8,1/7,1/6)	(1/8,1/7,1/6)	(1/7,1/6,1/5)	(1/7,1/6,1/5)	(1/3,1/2,1/1)	(1/3,1/2,1/1)	(1,1,1)

Tablo 4.22. FAHP Ağırlıklar (Uzman3)

Veri	Bulanık Ağırlık
Üretim Sahaları	0,23
Basen	0,23
Fay (Gravite)	0,17
Formasyon (Sondaj)	0,17
Gravite Yoğunluğu	0,07
Fay	0,07
Formasyon	0,03
Manyetik Yoğunluğu	0,02
Karbon Biomass Yoğunluğu	0,02

UZMAN 4:

Tablo 4.23. FAHP Karşılaştırma Matrisi (Uzman4)

	Üretim Sahaları	Basen	Fay (Gravite)	Formasyon (Sondaj)	Gravite Yoğunluğu	Fay	Formasyon	Manyetik Yoğunluğu	Karbon Biomass Yoğunluğu
Üretim Sahaları	(1,1,1)	(1,1,1)	(1,1,1)	(3,4,5)	(3,4,5)	(3,4,5)	(3,4,5)	(3,4,5)	(3,4,5)
Basen	(1,1,1)	(1,1,1)	(1,1,1)	(3,4,5)	(3,4,5)	(3,4,5)	(3,4,5)	(3,4,5)	(3,4,5)
Fay (Gravite)	(1,1,1)	(1,1,1)	(1,1,1)	(3,4,5)	(3,4,5)	(3,4,5)	(3,4,5)	(3,4,5)	(3,4,5)
Formasyon (Sondaj)	(1/5,1/4,1/3)	(1/5,1/4,1/3)	(1/5,1/4,1/3)	(1,1,1)	(1,1,1)	(1,1,1)	(1,1,1)	(1,1,1)	(3,4,5)
Gravite Yoğunluğu	(1/5,1/4,1/3)	(1/5,1/4,1/3)	(1/5,1/4,1/3)	(1,1,1)	(1,1,1)	(1,1,1)	(1,1,1)	(1,1,1)	(3,4,5)
Fay	(1/5,1/4,1/3)	(1/5,1/4,1/3)	(1/5,1/4,1/3)	(1,1,1)	(1,1,1)	(1,1,1)	(1,1,1)	(1,1,1)	(3,4,5)
Formasyon	(1/5,1/4,1/3)	(1/5,1/4,1/3)	(1/5,1/4,1/3)	(1,1,1)	(1,1,1)	(1,1,1)	(1,1,1)	(1,1,1)	(3,4,5)
Manyetik Yoğunluğu	(1/5,1/4,1/3)	(1/5,1/4,1/3)	(1/5,1/4,1/3)	(1,1,1)	(1,1,1)	(1,1,1)	(1,1,1)	(1,1,1)	(3,4,5)
Karbon Biomass Yoğunluğu	(1/6,1/5,1/4)	(1/6,1/5,1/4)	(1/6,1/5,1/4)	(1/5,1/4,1/3)	(1/5,1/4,1/3)	(1/5,1/4,1/3)	(1/5,1/4,1/3)	(1/5,1/4,1/3)	(1,1,1)

Tablo 4.24. AHP Ağırlıklar (Uzman4)

Veri	Bulanık Ağırlık
Üretim Sahaları	0,22
Basen	0,22
Fay (Gravite)	0,22
Formasyon (Sondaj)	0,06
Gravite Yoğunluğu	0,06
Fay	0,06
Formasyon	0,06
Manyetik Yoğunluğu	0,06
Karbon Biomass Yoğunluğu	0,02

UZMAN 5

Tablo 4.25. FAHP Karşılaştırma Matrisi (Uzman5)

	Üretim Sahaları	Basen	Fay (Gravite)	Formasyon (Sondaj)	Gravite Yoğunluğu	Fay	Formasyon	Manyetik Yoğunluğu	Karbon Biomass Yoğunluğu
Üretim Sahaları	(1,1,1)	(1,1,1)	(1,1,1)	(1,1,1)	(1,1,1)	(1,1,1)	(2,3,4)	(5,6,7)	(7,8,9)
Basen	(1,1,1)	(1,1,1)	(1,1,1)	(1,1,1)	(1,1,1)	(1,1,1)	(2,3,4)	(5,6,7)	(7,8,9)
Fay (Gravite)	(1,1,1)	(1,1,1)	(1,1,1)	(1,1,1)	(1,1,1)	(1,1,1)	(2,3,4)	(5,6,7)	(7,8,9)
Formasyon (Sondaj)	(1,1,1)	(1,1,1)	(1,1,1)	(1,1,1)	(1,1,1)	(1,1,1)	(2,3,4)	(5,6,7)	(7,8,9)
Gravite Yoğunluğu	(1,1,1)	(1,1,1)	(1,1,1)	(1,1,1)	(1,1,1)	(1,1,1)	(2,3,4)	(5,6,7)	(7,8,9)
Fay	(1,1,1)	(1,1,1)	(1,1,1)	(1,1,1)	(1,1,1)	(1,1,1)	(2,3,4)	(5,6,7)	(7,8,9)
Formasyon	(1/4,1/3,1/2)	(1/4,1/3,1/2)	(1/4,1/3,1/2)	(1/4,1/3,1/2)	(1/4,1/3,1/2)	(1/4,1/3,1/2)	(1,1,1)	(3,4,5)	(5,6,7)
Manyetik Yoğunluğu	(1/7,1/6,1/5)	(1/7,1/6,1/5)	(1/7,1/6,1/5)	(1/7,1/6,1/5)	(1/7,1/6,1/5)	(1/7,1/6,1/5)	(1/5,1/4,1/3)	(1,1,1)	(2,3,4)
Karbon Biomass Yoğunluğu	(1/9,1/8,1/7)	(1/9,1/8,1/7)	(1/9,1/8,1/7)	(1/9,1/8,1/7)	(1/9,1/8,1/7)	(1/9,1/8,1/7)	(1/7,1/6,1/5)	(1/4,1/3,1/2)	(1,1,1)

Tablo 4.26. FAHP Ağırlıklar (Uzman5)

Veri	Bulanık Ağırlık
Üretim Sahaları	0,10
Basen	0,10
Fay (Gravite)	0,10
Formasyon (Sondaj)	0,10
Gravite Yoğunluğu	0,10
Fay	0,10
Formasyon	0,04
Manyetik Yoğunluğu	0,02

UZMAN 6:

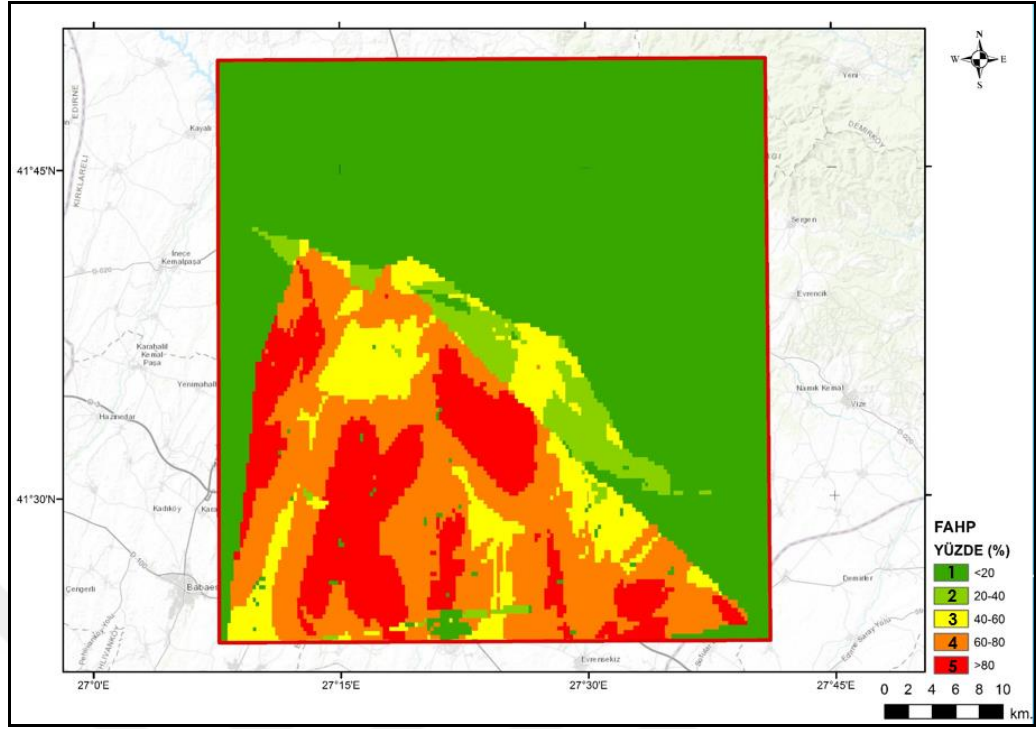
Tablo 4.27. FAHP Karşılaştırma Matrisi

	Üretim Sahaları	Basen	Fay (Gravite)	Formasyon (Sondaj)	Gravite Yoğunluğu	Fay	Formasyon	Manyetik Yoğunluğu	Karbon Biomass Yoğunluğu
Üretim Sahaları	(1,1,1)	(1,1,1)	(2,3,4)	(2,3,4)	(2,3,4)	(2,3,4)	(4,5,6)	(6,7,8)	(6,7,8)
Basen	(1,1,1)	(1,1,1)	(2,3,4)	(2,3,4)	(2,3,4)	(2,3,4)	(4,5,6)	(6,7,8)	(6,7,8)
Fay (Gravite)	(1/4,1/3,1/2)	(1/4,1/3,1/2)	(1,1,1)	(1,1,1)	(1,1,1)	(1,1,1)	(2,3,4)	(4,5,6)	(4,5,6)
Formasyon (Sondaj)	(1/4,1/3,1/2)	(1/4,1/3,1/2)	(1,1,1)	(1,1,1)	(1,1,1)	(1,1,1)	(2,3,4)	(4,5,6)	(4,5,6)
Gravite Yoğunluğu	(1/4,1/3,1/2)	(1/4,1/3,1/2)	(1,1,1)	(1,1,1)	(1,1,1)	(1,1,1)	(2,3,4)	(4,5,6)	(4,5,6)
Fay	(1/4,1/3,1/2)	(1/4,1/3,1/2)	(1,1,1)	(1,1,1)	(1,1,1)	(1,1,1)	(2,3,4)	(4,5,6)	(4,5,6)
Formasyon	(1/6,1/5,1/4)	(1/6,1/5,1/4)	(1/4,1/3,1/2)	(1/4,1/3,1/2)	(1/4,1/3,1/2)	(1/4,1/3,1/2)	(1,1,1)	(2,3,4)	(2,3,4)
Manyetik Yoğunluğu	(1/8,1/7,1/6)	(1/6,1/7,1/8)	(1/6,1/5,1/4)	(1/6,1/5,1/4)	(1/6,1/5,1/4)	(1/6,1/5,1/4)	(1/4,1/3,1/2)	(1,1,1)	(1,1,1)
(Uzman6) Karbon Biomass Yoğunluğu	(1/8,1/7,1/6)	(1/6,1/7,1/8)	(1/6,1/5,1/4)	(1/6,1/5,1/4)	(1/6,1/5,1/4)	(1/6,1/5,1/4)	(1/4,1/3,1/2)	(1,1,1)	(1,1,1)

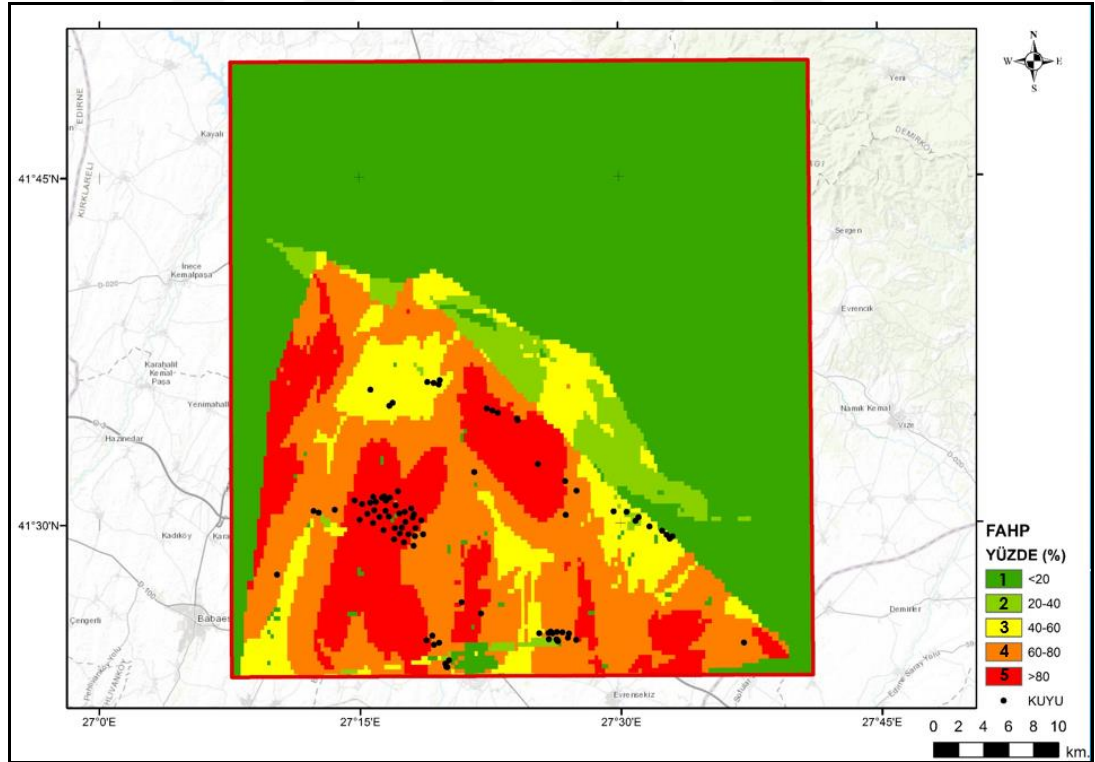
Tablo 4.28. FAHP Ağırlıklar (Uzman6)

Veri	Bulanık Ağırlık
Üretim Sahaları	0,24
Basen	0,24
Fay (Gravite)	0,10
Formasyon (Sondaj)	0,10
Gravite Yoğunluğu	0,10
Fay	0,10
Formasyon	0,05
Manyetik Yoğunluğu	0,02
Karbon Biomass Yoğunluğu	0,02

Uzmanların AHP sürecinde değerlendirdikleri kriterler sonucu oluşturulan ikili karşılaştırma matrislerinin tutarlılığı test edilmiş olup, ağırlık sütunun toplamaları 1'e eşittir. Bulunan Bulanık Mantık ağırlıklarına göre Bulanık AHP sonucunda elde edilen harita şekil 4.7'de görüldüğü gibidir. Analiz sonrası önerilen hidrokarbon potansiyelli alan çalışma alanının güney ve güney batısında yer almaktadır. Bulanık bindirme modeli ile elde edilmiş tahmin haritası 5 sınıfa ayrılmıştır. Koyu yeşil alanlar %20'nin altında petrol ve doğalgaz içermesi beklenen alanları, açık yeşil alanlar %20 -%40 potansiyelli alanları, sarı alanlar %40 -%60 petrol doğalgaz olma olasılığını, turuncu alanlar %60-%80 olasılıkla petrol beklenen alanları, kırmızı alanlar ise %80'nin üstünde petrol ve doğalgaz içermesi muhtemel alanları göstermektedir. Şekil 4.8'de görüldüğü gibi FAHP analizi sonucu elde edilen tahmin Haritası ve petrol ve doğalgaz içeren kuyu sondaj verileri entegre edilmiştir.



Şekil 4.7. FAHP Tahmin Haritası



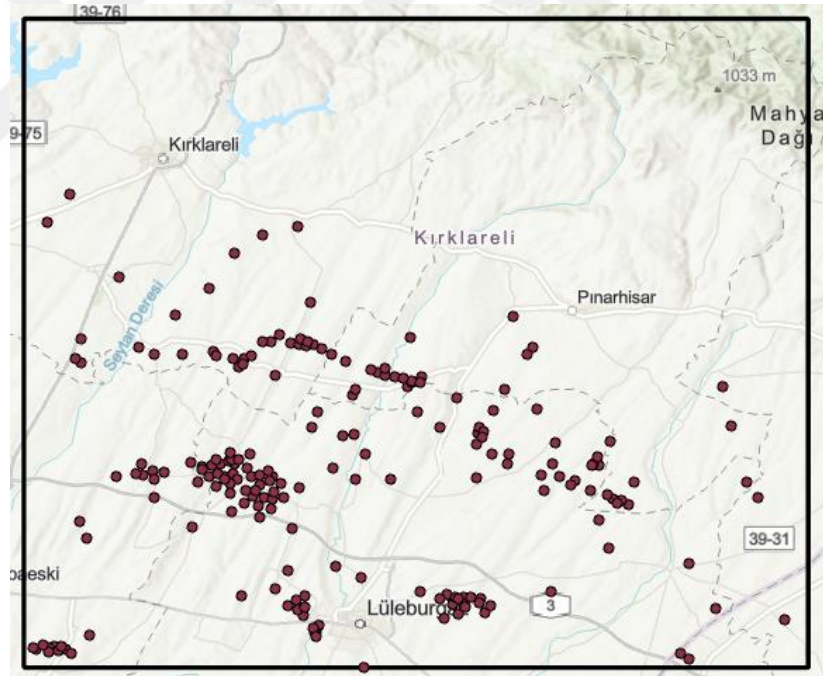
Şekil 4.8. FAHP Tahmin Haritası ve Kuyu Sondaj Veri Entegrasyonu

4.3. Rastlantısal Orman Algoritması

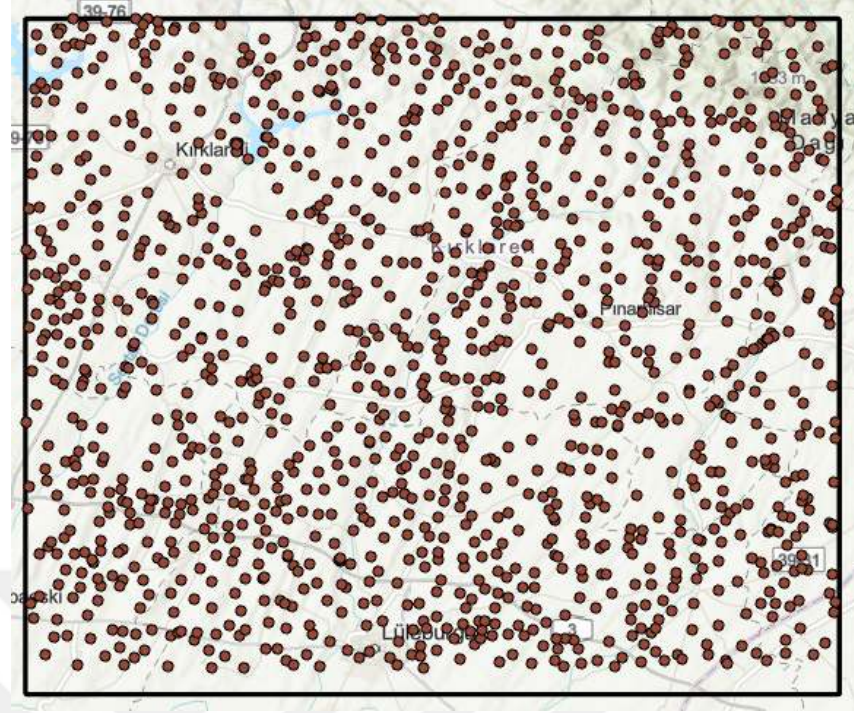
Kuyu sondaj veri kümesinden oluşan eğitim verisinde üretim sahaları, basen, fay (gravite), formasyon (sondaj), gravite yoğunluğu, fay, formasyon, manyetik yoğunluğu

ve karbon biomass yoğunluğu bağımsız değişkenler, kuyunun içeriği hakkında bilgi veren kuyu durumu verisi bağımlı değişkendir. Amaç, örnek olmayan lokasyonlardaki petrol ve doğalgaz potansiyelinin belirlenmesidir.

Hidrokarbon potansiyeli bulunduğu bilinen kuyu sondaj verileri eğitim ve doğrulama verisi (Şekil 4.9) olarak kullanılmıştır. Her bir hidrokarbon potansiyeli içeren noktanın üretim sahaları, basen, fay (gravite), formasyon (sondaj), gravite yoğunluğu, fay, formasyon, manyetik yoğunluğu ve karbon biomass yoğunluğu değerleri bu sondaj noktalarına atanmıştır. Çalışma alanı sınırları içinde 1322 adet rastgele nokta (Şekil 4.10) ArcGIS 10.8.1 programı yardımıyla otomatik olarak türetilmiştir. Türetilen bu nokta verisi test verisi olarak kullanılmıştır. 1322 noktaya ait üretim sahaları, basen, fay (gravite), formasyon (sondaj), gravite yoğunluğu, fay, formasyon, manyetik yoğunluğu ve karbon biomass yoğunluğu verisi değerleri rastgele üretilen bu noktalara atanmıştır.

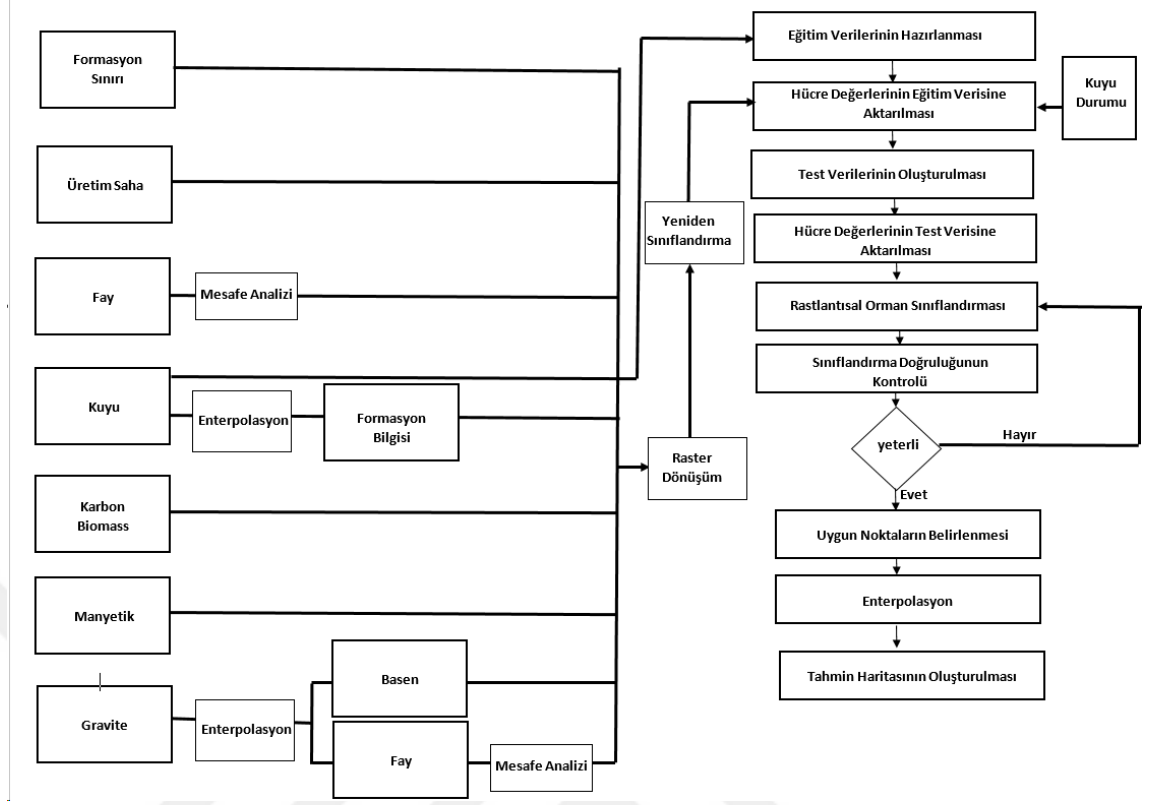


Şekil 4.9. Kuyu Sondaj Verisi/Eğitim Verisi



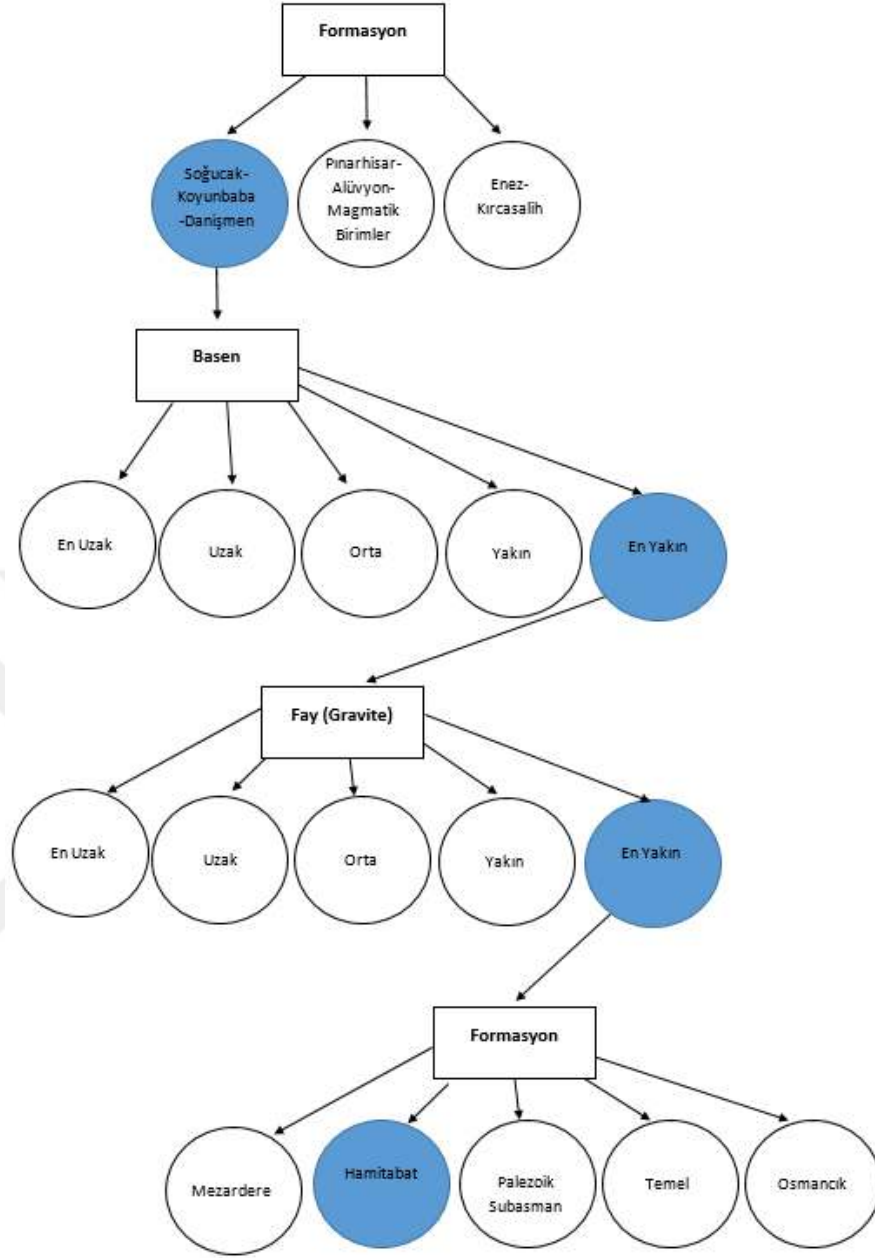
Şekil 4.10. Test Verisi

Çalışma alanı sınırları içindeki hidrokarbon içeren sondaj noktaları kullanılarak bu alanda türetilmiş olan rastgele noktaların hidrokarbon potansiyeli tayin edilmeye çalışılmıştır. Bu amaçla sondaj veri kümesindeki bağımlı değişken kuyu durumu ile bağımsız değişkenler (üretim sahaları, basen, fay (gravite), formasyon (sondaj), gravite yoğunluğu, fay, formasyon, manyetik yoğunluğu ve karbon biomass yoğunluğu) arasındaki ilişkiyi tespit etmek için Rastlantı Orman Algoritması çalıştırılmıştır. Rastlantısal Orman Algoritması akış şeması şekil 4.11’de görüldüğü gibidir.



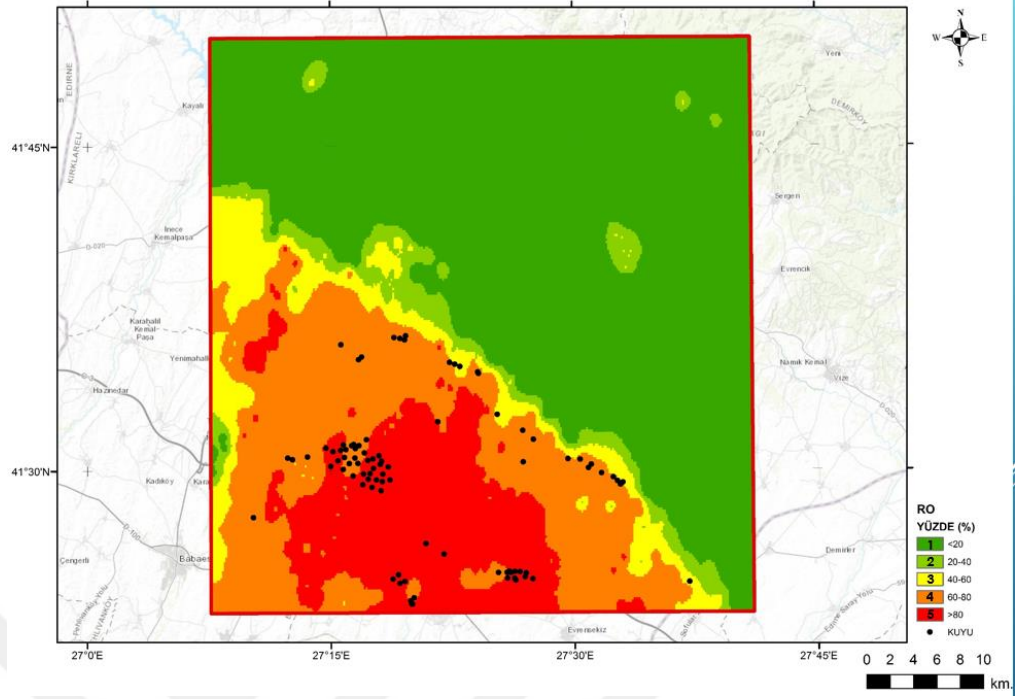
Şekil 4.11. Rastlantı Orman Algoritması Akış Şeması

Rastlantısal Orman Algoritması karar ağaçlarını kullanır. Her bir karar ağacı açıklayıcı değişkenleri (üretim sahaları, basen, fay (gravite), formasyon (sondaj), gravite yoğunluğu, fay, formasyon, manyetik yoğunluğu ve karbon biomass yoğunluğu) kullanarak bir tahmin sonucu üretir. Şekil.4.12’de kök düğümü formasyon olan, alt düğümleri baseni, fay (gravite) ve formasyon olan hidrokarbon potansiyeli vardır sonucu veren bir karar ağacı örneği görülmektedir.



Şekil 4.12. Eğitim Veri Seti Karar Ağacı Örneği

Rastlantısal Orman Algoritması ile elde edilen tahmin haritası da 5 sınıfa ayrılmıştır. Şekil 4.13’de Beyaz alanlar %20’nin altında petrol ve doğalgaz içermesi beklenen alanları, çok açık yeşil alanlar %20 -%40 potansiyelli alanları, açık yeşil alanlar alanlar %40 -%60 petrol doğalgaz olma olasılığını, yeşil alanlar %60-%80 olasılıkla petrol beklenen alanları, koyu yeşil alanlar ise %80’nin üstünde petrol ve doğalgaz içermesi muhtemel alanları göstermektedir. Şekil 4.12’de görüldüğü gibi Rastlantısal Orman Algoritması analizi sonucu elde edilen tahmin haritasında çalışma



Şekil 4.15. *Rastlantısal Orman Algoritması Tahmin Haritası ve Kuyu Sondaj Verisi Entegrasyonu*

5. SONUÇLAR

Bu tez çalışmasında Çoklu Kriter Karar Verme Analizleri ve Makine Öğrenmesi yöntemlerinin hidrokarbon potansiyelli muhtemel alanların belirlenmesi için kullanılabilirliği ortaya konmuştur. Geleneksel hidrokarbon arama yöntemlerinden farklı olarak Analitik Hiyerarşi Süreci, Bulanık Mantık Analitik Hiyerarşi Süreci ve Rastlantısal Orman Algoritması kullanılarak arama faaliyetleri için bir standardizasyon geliştirilmeye çalışılmıştır. Önerilen üç yöntemin de hidrokarbon potansiyel tahmin için jeolojik ve jeofizik yöntemlere yardımcı veri olarak kullanılabileceği ortaya konmuştur. Trakya bölgesi Ergene Havzası içinde belirlenen çalışma alanında gerçekleştirilen coğrafi analizler için üretim sahaları, basen, fay (gravite verisinden elde edilen), formasyon (sondaj verisinden elde edilen), gravite yoğunluğu, fay, formasyon, manyetik yoğunluğu ve karbon biomass yoğunluğu verileri kullanılmıştır.

Çalışmada kullanılan jeolojik ve jeofizik verilerinin kriter değerleri jeofizik, jeoloji, gravite, rezervuar ve saha uzmanı olarak çalışan 6 uzman tarafından belirlenmiştir. Belirlenen kriterlere göre ikili karşılaştırma matrisleri oluşturulmuş ve bu matrisler normalize edilmiştir. Normalize edilmiş ikili karşılaştırma matrislerinde her bir satırın toplamı, matris boyutuna bölünüp ortalamaları alınarak her bir kriter için ağırlık verisini içeren öncelik vektörleri oluşturulmuştur. Her bir ölçüt için tutarlılık analizi yapılarak, Çoklu Kriter Karar Verme Analizi için belirlenmiş olan ağırlıkların tutarlılıkları ölçülmüştür.

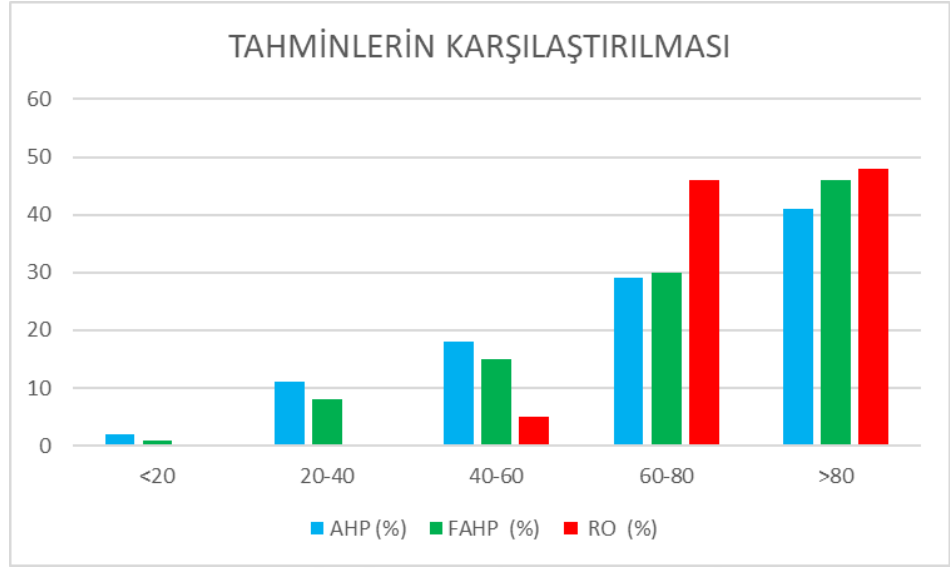
Rastlantısal Orman Algoritması ArcPro programında Rastlantısal Orman Sınıflandırma ve Regrasyon Aracı kullanılarak çalıştırılmıştır. Eğitim veri seti olarak 211 adet kuyu sondaj verisi kullanılmıştır. Analiz çalışmasında doğrulama için kuyu sondaj verilerinin %10'u ayrılmıştır. Model bu doğrulama verileri hariç tutularak eğitilmiştir. Eğitilen model ile yapılan analiz sonucunda ortaya çıkan tahmin modeli karşılaştırılarak modelin ne kadar iyi bir performans gösterdiğini ölçen bir R-Kare (R-Squared) değeri hesaplanmıştır. Rastlantısal Orman Algoritması için ağaç sayısı , yaprak boyutu, ağaç derinlik aralığı, ve ortalama ağaç derinliği değişkenleri değiştirilerek modele etkisi test edilmiştir. Tablo 5.1'de görüldüğü gibi R-Kare değeri 0.933 ile 0.983 arasında farklılık göstermiş olup, bu değerler tahmin modelinin hidrokarbon potansiyeli olan noktaları ne kadar doğrulukla tahmin ettiğini göstermektedir.

Tablo 5.1 Rastlantısal Orman Algoritması Parametreleri

	Ağaç Sayısı	Yaprak Boyutu	Ağaç Derinlik Aralığı	Ortalama Ağaç Derinliği	Ağaç Başına Mevcut Eğitim Yüzdesi	Rastgele Örneklenen Değişken Sayısı	Doğrulama için Harici Tutulan Eğitim Verilerinin Yüzdesi	Eğitim Verisi	Doğrulama Verisi
								Eğitim Verisi için R kare	Doğrulama Verisi için R kare
1	100	5	3-5	4	100	2	10	0,97	0,98
2	1000	5	3-5	4	100	2	10	0,97	0,94
3	100	5	4-12	6	100	2	10	0,98	0,93
4	1000	5	2-12	6	100	2	10	0,98	0,98
5	1000	3	2-11	7	100	2	10	0,98	0,98
6	1000	7	2-11	7	100	2	10	0,98	0,98
7	100	3	2-10	6	100	2	10	0,98	0,98
8	100	7	2-10	6	100	2	10	0,97	0,98
9	100	5	3-9	3	100	2	10	0,97	0,98
10	100	5	4-11	6	100	2	10	0,98	0,93
11	100	5	3-11	6	100	2	10	0,98	0,98
12	100	5	4-12	7	100	2	10	0,98	0,98
13	100	5	3-11	7	100	2	10	0,97	0,95
14	100	7	3-11	7	100	2	10	0,97	0,96
15	100	3	3-11	7	100	2	10	0,97	0,96

Analitik Hiyerarşi Süreci, Bulanık Mantık Analitik Hiyerarşi Süreci ve Rastlantısal Orman Algoritması yöntemlerinden bulunan tahmin haritaları oluşturulmuştur. Tahmin haritalarını ortak bir standarda getirmek için uygun değil (<20), çok az uygun (20-40), az uygun (40-60), uygun (60-80) ve en uygun (>80) olmak üzere beş kategoride yeniden sınıflandırılarak normalize edilmiştir. Her bir tahmin haritası 91'i petrol ve doğalgaz içeren 214 kuyu sondaj verisi kullanılarak test edilmiştir. Şekil 5.1'de üç yöntemde tahmin edilen alanlara düşen hidrokarbon içeren kuyu verilerinin karşılaştırması görülmektedir.

Analitik Hiyerarşi Süreci yöntemi ile bulunan tahmin sonuçlarında uygun değil (<20) olarak sınıflandırılan alana düşen kuyu sayısı 2 iken, Bulanık Mantık Analitik Hiyerarşi Süreci yöntemi ile bulunan tahmin sonucu için aynı alana 1 kuyu, Rastlantısal Orman Algoritması ile bulunan tahmin sonucunda bulunan alana ise hiçbir kuyu sondaj verisi düşmemektedir. Analitik Hiyerarşi Süreci ve Bulanık Mantık Analitik Hiyerarşi Süreci yöntemi ile bulunan tahmin sonucunda uygun alana (60-80) düşen kuyu sondaj sayısı yaklaşık olarak aynı iken, Rastlantısal Orman Algoritması ile elde edilen tahmin sonucunda bu alana düşen kuyu sayısı diğer iki yöntemle bulunandan %50 daha fazladır. Her üç yöntemde her bir alana düşen kuyu sondaj veri sayısı Tablo 5.2 'de özetlenmiştir.

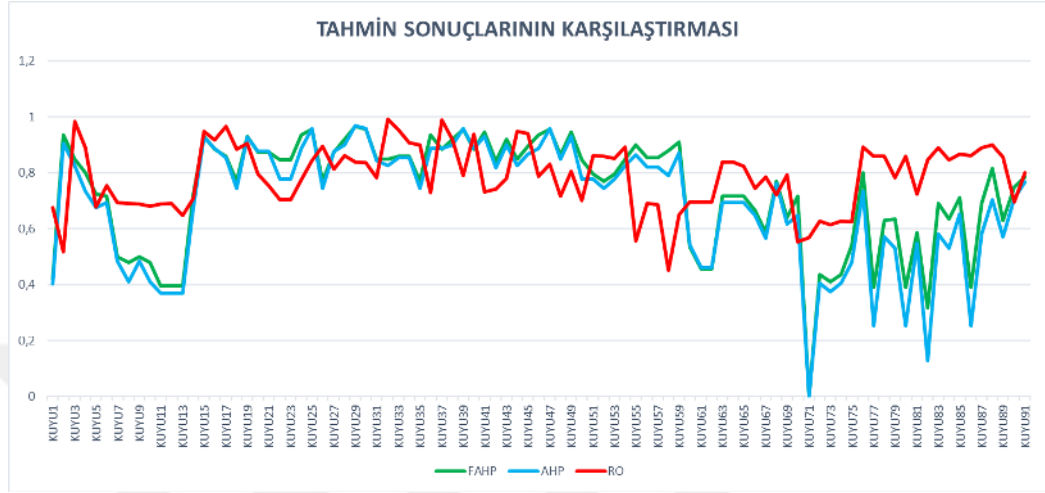


Şekil 5.1. AHP/FAHP/RO Tahmin Sonuçlarının Karşılaştırılması

Tablo 5.2. AHP/FAHP/RO Tahmin Sonucu & Kuyu Sondaj Entegrasyonu

	AHP	FAHP	RO
<20	2	1	0
20-40	10	7	0
40-60	16	14	5
60-80	26	27	42
>80	37	42	44
Toplam	91	91	91

	AHP	FAHP	RO
<20	2.00	1.00	0.00
20-40	10.00	7.00	0.00
40-60	16.00	14.00	5.00
60-80	26.00	27.00	42.00
>80	37.00	42.00	44.00
Toplam	91.00	91.00	91.00



Şekil 5.2. AHP/FAHP/RO Tahmin Sonuçlarının Her bir Sondaj Verisi için Karşılaştırılması

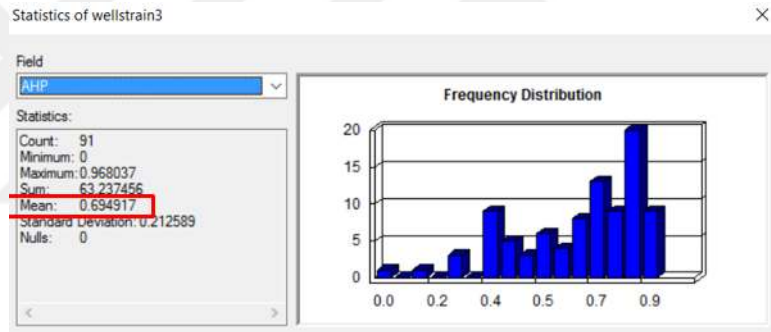
Tablo 5.3. AHP/FAHP/RO Tahmin Sonucu & Kuyu bazında Değerlendirme

KUYU	FAHP	AHP	RO
KUYU1	0.42	0.40	0.68
KUYU2	0.94	0.90	0.52
KUYU3	0.85	0.83	0.98
KUYU4	0.80	0.74	0.89
KUYU5	0.73	0.68	0.68
KUYU6	0.72	0.69	0.75
KUYU7	0.50	0.48	0.69
KUYU8	0.48	0.41	0.69
KUYU9	0.50	0.48	0.69
KUYU10	0.48	0.41	0.68
KUYU11	0.40	0.37	0.69
KUYU12	0.40	0.37	0.69
KUYU13	0.40	0.37	0.65
KUYU14	0.73	0.68	0.71
KUYU15	0.93	0.93	0.95
KUYU16	0.89	0.89	0.92
KUYU17	0.86	0.85	0.97
KUYU18	0.77	0.74	0.89
KUYU19	0.93	0.93	0.90
KUYU20	0.88	0.88	0.80

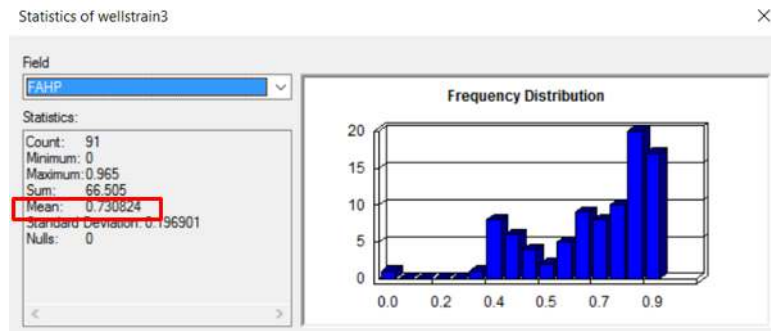
KUYU21	0.88	0.88	0.75
KUYU22	0.85	0.78	0.70
KUYU23	0.85	0.78	0.70

Analitik Hiyerarşi Süreci, Bulanık Mantık Analitik Hiyerarşi Süreci ve Rastlantısal Orman Algoritması yöntemlerinden bulunan tahmin sonuçlarının çalışma alanında bulunan hidrokarbon potansiyeli içeren 91 kuyu sondaj verisinin her biri için karşılaştırması Şekil 5.2’de görüldüğü gibidir. Söz konusu yöntemlerden bulunan tahmin sonuçları ilk 23 kuyu için Tablo 5.3’de özetlenmiştir.

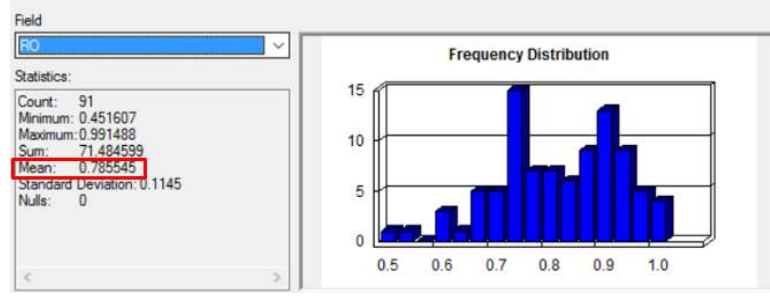
Rastlantısal Orman Algoritmasından elde edilen tahmin noktalarının ortalamaları alınarak elde edilen sonuç %78 olup, FAHP %73 ve AHP ise %69’dur, Üç yöntem de hidrokarbon potansiyel tahmini için kullanılabilir olup, Rastlantısal Orman Algoritmasının doğruluğunun daha yüksek olduğu görülmüştür.



Şekil 5.3. Analitik Hiyerarşi Süreci Model Doğruluğu



Şekil 5.4. Bulanık Mantık Analitik Hiyerarşi Süreci Model Doğruluğu



Şekil 5.5. Rastlantısal Orman Algoritması Model Doğruluğu

6. ÖNERİLER

Yeraltındaki fay poligonları, sismik yansıma değerleri, jeokimsayasal değerler, kuyu log bilgileri, yüksek çözünürlüklü gravite ve manyetik verileri kullanılarak modelin doğruluğu artırılabilir.

Çalışmaya daha fazla uzman görüşü dahil edilerek ve farklı çalışma alanlarında denenerek model ağırlıkları için bir standart geliştirilebilir.

Güvenlik sorunu olan saha çalışmaları yapılamayan alanlarda hidrokarbon potansiyel tahmini için kullanılabilir.

Gelecekte, önerilen yöntem hidrokarbon potansiyel tahmini için jeofizik ve jeolojik yöntemlere yardımcı veri olarak kullanılabilir. Gerekli entegrasyonlar sağlandığında ve model gerekli veri setleriyle eğitildiğinde makineye öğrenmesi için bir veritabanı oluşturularak aramacılık faaliyetlerinde bu veritabanından faydalanılabilir.

KAYNAKÇA

- Abarca M.A.A. (2006). Lineament Extraction from Digital Terrain Models, Case Study San Antonio del Sur Area, South-Eastern Cuba. *International Institute for Geo-Information Science and Earth Observation Enschede*, The Netherlands.
- Abbaspour A. (2021), Landslide Susceptibility Analysis using Random Forest, C4.5, And C5.0 with Balanced and Unbalanced Datasets, *Catena* 203, 105355
- Abdullah,A., Akhir J.M. ve Abdullah I. (2010). Automatic Mapping Of Lineaments Using Shaded Relief Images Derived From Digital Elevation Model in The Maran – Sungi Lembingarea, Malaysia, *Electron.J.Geotech.Eng.15(J)*, 949–957.
- Akinwumiju, A. S. ve Afolabi O. (2016). Automated Lineament Mapping From Remotely Sensed Data: Case Study Osun Drainage Basin, Southwestern Nigeria, *IFE Journal of Science*, Vol. 18, no: 1
- Alaa A. M. ve Katsuaki K. (2011). Auto-detection and integration of tectonically significant lineaments from SRTM DEM and remotely-sensed geophysical data, HYPERLINK "<https://www.sciencedirect.com/science/journal/09242716>" \o "Go to ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing on ScienceDirect" *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing* , HYPERLINK "<https://www.sciencedirect.com/science/journal/09242716/66/6>" \o "Go to table of contents for this volume/issue" *Volume 66, Issue 6* , 818-832
- Alshayef M.S., Mohammed A.M., Javed A. ve Albaroot M.A. (2017). Manual and Automatic Extraction of Lineaments From Multispectral Image in Part of Al-Rawdah, Shabwah, Yemen, *International Journal of New Technology and Research, Volume 3, Issue-2*, 67-73
- Anwar A. , Nassr S. ve Ghaleeb A. (2013). Remote Sensing and Geographic Information System for Fault Segments Mapping a Study from Taiz Area, Yemen, HYPERLINK "<https://www.researchgate.net/journal/Journal-of-Geological-Research-1687-8841>" *Journal of Geological Research* , 1-16

- Arlı H.T. ve Abbak R.A. (2017). Accuracy Assessment Of Aster And Srtm Digital Elevation Models: A Case Study In Turkey, *17th International Multidisciplinary Scientific GeoConference SGEM 2017 Book 22*, 35-42
- Asakereh A., Soleyman M., ve Sheikhdavoodi J. (2017), A GIS-based Fuzzy-AHP method for the evaluation of solar farms locations: Case study in Khuzestan Province, Iran, *Solar Energy* 155, 342-353
- Ayhan M. E. (1993) , Sayısal Arazi Modelinden Gravimetrik Yerey Düzeltmesi , *Jeofizik* 7, 75-85
- Ayodele T.R., Ogunjuyigbe A.S.O. ve Odigie O. , Munda J.L. (2018) , A Multi-Criteria GIS Based Model For Wind Farm Site Selection Using Interval Type-2 Fuzzy Analytic Hierarchy Process: The Case Study Of Nigeria , *Applied Energy* 228, 1853-1869
- Behara S., Panigrahi M.K. ve Pradhan A. (2019) Identification Of Geochemical Anomaly And Gold Potential Mapping in the Sonakhan Greenstone Belt, Central India: An integrated Concentration-Area Fractal and Fuzzy AHP Approach, *Applied Geochemistry* 107, 45-57
- HYPERLINK
["https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0920410518305643?via%3Dihub"](https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0920410518305643?via%3Dihub) \l "!"
- Bhattacharya S. ve Mishra S. (2018), Applications Of Machine Learning For Facies And Fracture Prediction Using Bayesian Network Theory And Random Forest: Case Studies From The Appalachian Basin, USA, *Journal of Petroleum Science and Engineering* 170, 1005-1017.
- Bjorlykke K. (2015), Petroleum Geoscience: From Sedimentary Environments to Rock Physics, *Springer-Verlag Berlin Heidelberg*
- Blakely R. (1995). Potential Theory In Gravity And Magnetic Applications, *Cambridge University Press*.
- Bonetto S., Facello A., Ferrero A.M. ve Umili G., (2015). A Tool For Semi-Automatic Linear Feature Detection Based on DTM, *Computer & GeoScience* 75, 1-12

- Bondur, V.G. ve Zverev, A.T. (2005). A Method Of Earthquake Forecast Based On The Lineament Analysis of Satellite Images. *Doklady Earth Sciences* 402(4), 561–567.
- Catani F., Lagomarsino D., Segoni S. ve Tofani V. (2013). Landslide Susceptibility Estimation by Random Forests Technique: Sensitivity and Scaling Issues, *Natural Hazards Earth System Science* 13, 2815–2831.
- Chaabouni R., Bouaziz S., Peresson H. ve Wolfgang J. (2012). Lineament analysis of South Jenein Area (Southern Tunisia) using remote sensing data and geographic information system, [HYPERLINK "https://www.sciencedirect.com/science/journal/11109823"](https://www.sciencedirect.com/science/journal/11109823) \o "Go to The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Science on ScienceDirect" *The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Science* Volume 15, 197-206
- Chai T., Li Xinyu, Ding X., Wang J. ve Zhan J. (2019). Flood Risk Assessment Based on Hydrodynamic Model and Fuzzy, *International Journal of Disaster Risk Reduction Comprehensive Evaluation with GIS Technique* 35, 101077.
- Chen W., Zhang S., Li R. ve Shahabi H. (2018) Performance Evaluation of the GIS-Based Data Mining Techniques Of Best-First Decision Tree, Random Forest, and Naive Bayes Tree for Landslide Susceptibility Modeling, *Sicence of Total Enviroment* 644, 1006-1018
- Convertino M. ve Valverde L.j., (2013). Portfolio Decision Analysis Framework for Value-Focused Ecosystem Management, *Plos One*, Volume 8 Issue 6, E65056
- Das B. ve Pal S.C. (2019) Combination of GIS and Fuzzy-AHP for Delineating Groundwater Recharge Potential Zones in The Critical Goghat-II Block Of West Bengal, India, *HydroResearch* 2 , 21-30
- Ibanez D., Almeida-Filho R. ve Miranda F.P. (2016). Analysis Of SRTM Data As An Aid To Hydrocarbon Exploration In A Frontier Area Of The Amazonas Sedimentary Basin, Northern Brazil, *Marine and Petroleum Geology* 73 , 528-538
- [HYPERLINK "https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0169555X21000313"](https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0169555X21000313) \l "!"

- Deliang S., Shi S., When H., Xu J., Zhou X. ve Wu J. (2021), A Hybrid Optimization Method of Factor Screening Predicated on Geodetector and Random Forest for Landslide Susceptibility Mapping, *Geomorphology* 379, 107623
- Du X. ve Wang Z. (2018), Optimizing Monitoring Locations Using A Combination Of GIS And Fuzzy Multi Criteria Decision Analysis, A Case Study From The Tomur World Natural Heritage Site, *Journal for Nature Conservation* 43, 67-74
- Dölger S. (2011). Temel Petrol Jeolojisi (Yer Bilimci Olmayanlar için) , *Kurum içi Eğitim Ders Notları*
- El-Sawy K., Atef P., Saoud W. ve Bastawesy M. (2016). Automated, Manual Lineaments Extraction and Geospatial Analysis for Cairo-Suez District (Northeastern Cairo-Egypt), using Remote Sensing and GIS , *International Journal of Innovative Science, Engineering & Technology*, Vol. 3 Issue 5, 491-500
- Emrouznejad A. ve Ho W. (2018) Fuzzy Analytic Hierarchy Process, *CRC Press, Taylor& Francis Group*
- Feizizadeh B., Roodposhti M.S., Jankowski P. ve Blascke T. (2014), A GIS-Based Extended Fuzzy Multi-Criteria Evaluation for Landslide Susceptibility Mapping, *Computers & Geosciences* 73, 208-221
- Fitton, N. ve Cox, S.J.D. (1998). Optimising The Application of The Hough Transform for Automatic Feature Extraction from Geoscientific Images, *Computers and Geosciences* 24 (Dec.), 933–951.
- Gengliang G. ve George S. A. (1999). An Analysis of Surface and Subsurface Lineaments and Fractures for Oil And Gas Exploration in the Mid-Continent Region, Technical Report, *Fossil Energy* , Report Number : Niper/Bdm-0223
- Geosoft Oasis Montaj Gravity and Terrain Correction How-To Guide
- Han J., Kamber M. ve Pei J., 2012, Data Mining Concepts and Techniques, *Elsevier Science Ltd. Publication*

- Henden,İ. (2015). Uzay Görüntülerinden Türkiye Çizgisellik Haritası ve Maden Aramaları İçin Hedef Sahalarının Seçilmesi, Bölgesel Çizgiselliklerin Deprem ve Sıcaksu Kaynakları İle İlişkisi, *Maden Tetkik ve Arama Dergisi*, 95
- Hung L., Batelaan O. ve Smedt F. (2005). Lineament Extraction and Analysis, Comparison of LANDSAT ETM and ASTER Imagery.Case Study: Suoimuoi Tropical Karst Catchment, Vietnam, *The International Society for Optical Engineering Volume 5983*, 0277-786X
- Jain R. , Singh A.R. ve Mishra P.K. 2013. Prioritization of Supplier Selection Criteria: A Fuzzy-AHP Approach, *International Journal of Mechanical Engineering*, Vol3, No.1, 34-42
- Kim J.C., Lee S., Jung H.S. ve Lee S. (2017). Landslide Susceptibility Mapping using Random Forest and Boosted Tree Models in Pyeong-Chang Korea , HYPERLINK "<https://www.tandfonline.com/journals/tgei20>" *Geocarto International* , 1000-1015
- Kiran Raj. S ve Ahmed S.A. (2014). Lineament Extraction from Southern Chitradurga Schist Belt using Landsat Tm, AsterGDEM and Geomatics Techniques, *International Journal of Computer Applications*, Volume 93, No 12.
- Koike,K. (1998). Construction And Analysis of Interpreted Fracture Planes Through Combination of Satellite-Image Derived Lineaments and Digital Elevation Model Data. *Computers and Geosciences* 24, 573–583.
- Koike, K., Nagano, S. And Ohmi, M. (1995). Lineament Analysis of Satellite Images Using A Segment Tracing Algorithm (STA), *Computers and Geosciences*, Vol. 21, 1091-1104.
- Kou G., Ergu D., Peng Yi ve Shi Y. (2013). Data Processing for the AHP/ANP , *Springer-Verlag Berlin Heidelberg Press*
- Kocal,A. ve Düzgün Ş. (2004). Discontinuity Mapping with Automatic Lineament Extraction from High Resolution Satellite Imagery, *ISPRS Archives – Volume XXXV Part B7*, 1073-1078

- Kusak M. ve Krbcova K. (2017). Analysis Of The Relationship Of Automatically And Manually Extracted Lineaments From Dem And Geologically Mapped Tectonic Faults Around The Main Ethiopian Rift And The Ethiopian Highlands, Ethiopia, HYPERLINK "<https://karolinum.cz/casopis/auc-geographica/rocnik-52/cislo-1>" *AUC Geographica, Vol 52 No 1* , 5–17
- Kutcherov V. G. (2011) Abiogenic Deep Origin of Hydrocarbons and Oil and Gas Deposits Formation, Chapter 1, 1
- Lee S.K., Mogi G. ve Kim J.W. (2009). Decision Support for Prioritizing Energy Technologies Against High Oil Prices: A Fuzzy Analytic Hierarchy Process Approach, *Journal of Loss Prevention in Process Industries* 22 , 915-920
- Lestari, D.D., Setyohadi D.B. ve Suyoto (2018). Alternative Selection Scenarios Of Oil And Gas Using Fuzzy Analytic Hierarchy Process, HYPERLINK "<https://aip.scitation.org/journal/apc>" *AIP Conference Proceedings* 1977, 020021
- Louppe G. (2014). Understanding Random Forest, Php Dissertation, *University of Liege*
- Lowrie W. , 2007, Fundamentals of Geophysics book, *Eidgenössische Technische Hochschule Zürich*
- Mah,A., Taylor G.R., Lennox P. ve Balia L. (1995). Lineament analysis of Landsat TM Images, Northern Territory, Australia, *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing* 61, 761–773.
- Malczewski J . (1999) . GIS and Multicriteria Decision Analysis, John Wiley & Sons, Inc
- Malczewski J. ve Rinner C. (2015). Multicriteria Decision Analysis in Geographic Information Science, *Springer Science+Business Media New York*
- Marghany,M. ve Hashim,M. (2010). Lineament Mapping using Multispectral Remote Sensing Satellite Data. *International Journal of the Physical Sciences* 5,1501–1507.

- Masoud, A.A. ve Koike,K. (2011). Morphotectonics Inferred from the Analysis of Topographic Lineaments Auto-Detected from Dems: Application and Validation for The Sinaipeninsula,Egypt, *Tectonophysics* 510, 291–308.
- Masoudi P. , Tokhmechi B., Jafari M.A., Zamanzadeh M. ve Sherkati S. (2012). Application of Bayesian in Determining Productive Zones by Well Log Data in Oil Wells, *Journal of Petroleum Science and Engineering, Volume 94-95*, 47-54
- Matheus A. M., Barros B.D., Santos I.H., Barrionuevo D.C., Vargas R.E.V., Prego T.M., Lima A.A., Campos M.L.R., Silva E.A.B. ve Netto S.L. (2021), Fault Detection and Classification in Oil Wells and Production/Service Lines using Random Forest, *Journal of Petroleum Science and Engineering* 197, 107879
- McCubbine J., Tontini F.C., Stagpoole V., Smith E. ve O'Biren G.diğerleri (2018). Gsolve, A Python Computer Program With A Graphical User Interface to Transform Relative Gravity Survey Measurements to Absolute Gravity Values and Gravity Anomalies, *SoftwareX*, 129-137.
- Morris,K. (1991). Using knowledge-base rules to map the three dimensional nature of geological features, *Photogrammetric Engineering and RemoteSensing* 57, 1209–1216.
- M. S. Alshayef, Mohammad A., Javed A. ve Albaroot M.A. (2017). Manual and Automatic Extraction of Lineaments From Multispectral Image in Part of Al-Rawdah, Shabwah, Yemen by Using Remote Sensing and GIS Technology, *International Journal of New Technology and Research (IJNTR) ISSN: 2454-4116, Volume-3, Issue-2*, 67-73
- Nataraj S. (2005), Analytic Hierarchy Process as A Decision-Support System in the Petroleum Pipeline Industry, *Issues in Information Systems, Volume VI, No:2*, 16-21
- NASA Remote Sensing Tutorial Oil and Gas Report, 2011
- Özdemir M.S. ve Saaty T.L., (2006). The unknown in decision making What to do about it, *European Journal of Operational Research* 174, 349-359

- Özkapta, M. (2019). Orta Anadolu (Ankara ve civarı) Havzalarının Gravite & Manyetik Yöntemler ile Modellenmesi , *Türkiye Jeoloji Bülteni* 62 , 141-166
- Passalari H., Nodehi R. N., Mahvi A.H., Yangmaein K. ve Charrahi Z. (2019) Landfill Site Selection using A Hybrid System of AHP-Fuzzy in GIS Environment: A Case Study in Shiraz City, Iran, *MethodsX* 6 , 1454–1466
- Peng Li, Shi C.i Li Z., Muller J.P., Drummind J., Li X. Li Y. ve Liu J. (2012). Evaluation of Aster GDEM Ver2 Using GPS Measurements And SRTM Ver4.1 in China , *ISPRS Annals of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences Volume I-4*,
- Perinçek D., Ataş N., Karatur Ş. ve Erensoy E. (2015) , Danişmen Formasyonu Stratigrafisi ve Birim İçindeki Linyit Düzeylerinin Havzadaki Dağılımı, Trakya Havzası, Türkiye, *Türkiye Jeoloji Bülteni Cilt 58 Sayı 1*
- PCI Geomatica Manual 2001
- Saif T., Lin Q, Bijeljic B. ve Blunt M. J. (2017) Microstructural İmaging And Characterization Of Oil Shale before and after Pyrolysis , [HYPERLINK "https://www.sciencedirect.com/science/journal/00162361"](https://www.sciencedirect.com/science/journal/00162361) \o "Go to Fuel on ScienceDirect" *Fuel* [HYPERLINK "https://www.sciencedirect.com/science/journal/00162361/197/supp/C"](https://www.sciencedirect.com/science/journal/00162361/197/supp/C) \o "Go to table of contents for this volume/issue" *Volume 197* , 562-574
- Safaa M. H., Mahmoud A.E.A., Elmandy M. ve Elkazaz Y.A. (2014). Automated, Manual Lineaments Extraction and Geospatial Analysis Using Remote Sensing Techniques and GIS, Case Study: Gabal Shabrawet Area, South Ismailia, Egypt , El Kazzaz, *Australian Journal of Basic and Applied Sciences*, 110-120
- Sandwell, D. T., Smith W. HF., Garcia E.S. ve Müller D. (2014) New Global Marine Gravity Model from Cryosat-2 and Jason-1 Reveals Buried Tectonic Structure, *Science Vol 346, Issue 6205* , 65-67
- Sarp, G. ve Toprak, V. (2007). Otomatik Olmayan Yöntemler Kullanılarak Landsat ETM Uydu Görüntüsünden Çizgisellik Belirlenmesi, *TMMOB Harita ve Kadastro Mühendisleri Odası Ulusal Coğrafi Bilgi Sistemleri Kongresi*.

- Saaty T.L., (2003). Negative Priorities in the Analytic Hierarchy Process, *Mathematical and Computer Modelling* 37, 1063-1075
- Saaty T.L. (2007). Time dependent decision-making; dynamic priorities in the AHP/ANP: Generalizing from points to functions and from real to complex variables, *Mathematical and Computer Modelling* 46, 860-891
- Schettiona A. (2015). Quantitative Plate Tectonics book, *Springer*
- Seleem, T.A. (2013). Analysis And Tectonic Implication of DEM-Derived Structural Lineaments, Sinai Peninsula, Egypt. *International Journal of Geosciences* 4, 183–201.
- Selley R. C. ve Sonnenberg S. A. (2015). Elements of Petroleum Geology, *Academic Press is an imprint of Elsevier*
- HYPERLINK**
- "https://www.researchgate.net/profile/Shahen_Ahirmizy2?_sg=NL26gD5aiN61QluA1UhUcCfydviopSv6uSgf2mY-bPMzXudecwQfVp6EnQ7G7bdpoHRoZEo.y4IHR-bKDL9QV-S6a7TSqLPq8BwXHsMEurhhiL_8jFukyCi38lIqUCbRfloP2I2KoD8a4hu6-d2RmSAR2z_cew" Shahen M. A. (2015). Automatic Mapping of Lineaments Using Shaded Relief Images Derived from Digital Elevation Model (DEM) in Erbil, Northeast Iraq , *International Journal of Science and Research* 2319, 7064
- Shao Z., Hug M.E., Cai B., Altan O ve Li Yan (2020) Integrated Remote Sensing and GIS Approach Using Fuzzy-AHP to Delineate and Identify Groundwater Potential Zones in Semi-Arid Shanxi Province, China, *Environmental Modelling and Software* 134, 104868
- Sharifi, A., Moghaddam N.F. ve Rajabi A. (2008). Evaluation of Thermal Islands Logical Relation with Lineament Density Changes in Pre and Post-Earthquake Satellite Images, *International Society for Digital Earth Conference*, Postdam-Germany, s. 356-362.

- Silhavy J., Minar J., Mentlik P. ve Sladek J. (2016). A New Artefacts Resistant Method for Automatic Lineament Extraction using Multi-Hillshade Hierarchic Clustering. *Computer&Geosciences* 92 , 9-20
- Siyako, M. (2005) Trakya ve yakın çevresinin Tersiyer Stragrafisi, TPAO Arama Dairesi Arşivi Rapor No:4608, Ankara (yayımlanmamış)
- Siyako, M. (2006). Trakya Havzası'nın "Linyitli Kumtaşları", *MTA Dergisi* 132, 63-73.
- Slimen S. ve Noamen R. (2016). Automatic Extraction of Lineaments from Landsat Etm+ Images and Their Structural Interpretation: Case Study in Nefza Region, *Journal of Research in Environmental and Earth Sciences* 04, 139-145
- Soltani A. ve Marandi E.Z. (2013) Bus Route Evaluation using A Two-Stage Hybrid Model of Fuzzy AHP and TOPSIS, *Journal of Transport Literature* Vol.7, 34-58
- Soto-Ponto.C, Arellano-Baeza A. ve Sanchez G. (2013). A New Code for The Automatic Detection and Analysis of Lineament Pattern for Geophysical and Geological Purposes (ADALGEO)", *Computers & Geosciences* 57, 93-103.
- Süzen,M.L ve Toprak,V. (1998). Filtering Of Satellite Images in Geological Lineament Analyses: An Application to A Fault Zone in Central Turkey, *International Journal of Remote Sensing* 19,1101–1114.
- Şengüler, İ. (2013) Ergene (Trakya) Havzasının Jeolojisi Ve Kömür Potansiyeli, *MTA Dergisi*, 109-113
- Temel, R. Ö. ve Çiftci, B. N. (2002). Gelibolu Yarımadası, Gökçeada ve Bozcada'da Tersiyer Çökellerinin Stratigrafisi ve Ortamsal Özellikleri, *TPJD bülteni*. 14, 17-42.
- Vaidya S.O. ve Kumar S. (2006). Analytic Hierarchy Process: An Overview Of Applications, [HYPERLINK "https://www.sciencedirect.com/science/journal/03772217"](https://www.sciencedirect.com/science/journal/03772217) \o "Go to European Journal of Operational Research on ScienceDirect" *European Journal of Operational Research* Vol. 169, 1-29

- Vassilas, N. (2002). Delineation of lineaments from satellite data based on efficient neural network and pattern recognition techniques, *Thessaloniki, Greece, Proceedings, Companion Volume pp*, 355-366
- Veronesi, F ve Hurni, L. (2015). A GIS Tool to Increase the Visual Quality of Relief by Automatically Changing the Light Direction , *Computers and Geosciences* 74,121-127.
- Walters C. (2007). The Origin of Petroleum, HYPERLINK "https://www.researchgate.net/publication/253687154_Practical_Advances_in_Petroleum_Processing" Practical Advances in Petroleum Processing,79-101
- Wang B., Li-Xie, Yang Hong, Ren, Li Xi, Chen Li ve Wu Bai ve diğerleri (2019). Application of AHP, TOPSIS, and TFNs to Plant Selection for Phytoremediation of Petroleum-Contaminated Soils in Shale Gas and Oil Fields, *Journal of Cleaner Production* 233, 13-22
- Wang, J. ve Howarth, P.J. (1990). Use of the hough transform in automated lineament detection. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing* 28,561–566.
- Yang T. ve Baatarkhu D. (2013). Petrophysical Properties (Density and Magnetization) of Rocks from the Suhbaatar-Ulaanbaatar-Dalandzadgad Geophysical Profile in Mongolia and Their Implications, *The Scientific World Journal*, 791918
- Zlatopolsky, A. (1992). Program LESSA (Lineament Extraction and Stripe Statistical Analysis) Automated Linear Image Features Analysis Experimental Results, *Computers and Geosciences*, 1121–1126.
- Zlatopolsky, A. (1997). Description of Texture Orientation in Remote Sensing Data Using Computer Program LESSA. *Computers and Geosciences*, 45–62.
- http-1:** HYPERLINK "http://dx.doi.org/10.1016/j.tecto.2011.07.010" <http://dx.doi.org/10.1016/j.tecto.2011.07.010> (Erişim tarihi: 10.02.2019).
- http-2:** HYPERLINK "https://www.edureka.co/blog/decision-trees/" <https://www.edureka.co/blog/decision-trees/> (Erişim tarihi: 02.05.2020).
- http-3:** HYPERLINK "https://topex.ucsd.edu/cgi-bin/get_data.cgi" https://topex.ucsd.edu/cgi-bin/get_data.cgi (Erişim tarihi: 16.03.2020).

http-4: [HYPERLINK "https://pro.arcgis.com/en/pro-app/latest/tool-reference/spatialstatistics/forestbasedclassificationregression.htm"](https://pro.arcgis.com/en/pro-app/latest/tool-reference/spatialstatistics/forestbasedclassificationregression.htm) (Erişim tarihi: 31.03.2019).

http-5: [reference/spatialstatistics/forestbasedclassificationregression.htm](https://pro.arcgis.com/en/pro-app/latest/tool-reference/spatialstatistics/forestbasedclassificationregression.htm) (Erişim tarihi: 31.03.2019).

[reference/spatialstatistics/forestbasedclassificationregression.htm](https://pro.arcgis.com/en/pro-app/latest/tool-reference/spatialstatistics/forestbasedclassificationregression.htm) (Erişim tarihi: 19.07.2020).

http-6: [HYPERLINK "https://www.intechopen.com/chapters/41889"](https://www.intechopen.com/chapters/41889) (Erişim tarihi: 22.09.2019).

http-7: [HYPERLINK "https://www.toppr.com/guides/chemistry/coal-and-petroleum/petroleum-and-refining-%20of-petroleum/"](https://www.toppr.com/guides/chemistry/coal-and-petroleum/petroleum-and-refining-%20of-petroleum/) (Erişim tarihi: 28.06.2018).

http-8: [HYPERLINK "https://gharpedia.com/blog/types-of-stone-masonry-choose-wisely-for-your-house-construction/"](https://gharpedia.com/blog/types-of-stone-masonry-choose-wisely-for-your-house-construction/) (Erişim tarihi: 11.01.2021).

http-9: [HYPERLINK "https://gfycat.com/blindfortunatealpineroadguidetigerbeetle"](https://gfycat.com/blindfortunatealpineroadguidetigerbeetle) (Erişim tarihi: 06.08.2021).

http-10: [HYPERLINK "https://es.slideshare.net/cesarfrancisco_77/propiedades-fisica-2"](https://es.slideshare.net/cesarfrancisco_77/propiedades-fisica-2) (Erişim tarihi: 02.10.2019).

http-11: [HYPERLINK "https://tr.wikipedia.org/wiki/Petrol"](https://tr.wikipedia.org/wiki/Petrol) (Erişim tarihi: 07.04.2020).

http-12: [HYPERLINK "https://gharpedia.com/blog/types-of-stone-masonry-choose-wisely-for-your-house-construction/"](https://gharpedia.com/blog/types-of-stone-masonry-choose-wisely-for-your-house-construction/) (Erişim tarihi: 27.02.2019).

http-13: [HYPERLINK "https://arkansasgeological.wordpress.com/2015/03/18/geopic-of-the-week-oolitic-](https://arkansasgeological.wordpress.com/2015/03/18/geopic-of-the-week-oolitic-)

limestone/" <https://arkansasgeological.wordpress.com/2015/03/18/geopic-of-the-week-oolitic-limestone/> (Erişim tarihi: 13.11.2018).

http-14: HYPERLINK "https://gfycat.com/adoredgentlebuckeyebutterfly"
<https://gfycat.com/adoredgentlebuckeyebutterfly> (Erişim tarihi: 03.12.2020).

http-15: HYPERLINK "https://grace.jpl.nasa.gov/data/get-data/"
<https://grace.jpl.nasa.gov/data/get-data/> (Erişim tarihi: 06.09.2020).

http-16: HYPERLINK "http://ftp.comet.ucar.edu/memory-stick/hydro/basic_int/hydrologic_cycle/%20navmenu.php_tab_1_page_4.4.0.htm"
http://ftp.comet.ucar.edu/memory-stick/hydro/basic_int/hydrologic_cycle/navmenu.php_tab_1_page_4.4.0.htm (Erişim tarihi: 19.01.2021).

http-17: HYPERLINK "https://www.e-education.psu.edu/earth103/node/719"
<https://www.e-education.psu.edu/earth103/node/719> (Erişim tarihi: 23.03.2019).

http-18: HYPERLINK "https://tr.wikipedia.org/wiki/Regresyon_analizi"
https://tr.wikipedia.org/wiki/Regresyon_analizi (Erişim tarihi: 08.06.2018)

ÖZGEÇMİŞ

EĞİTİM

Yüksek Lisans : Mayıs 2007 Jeodezi ve Coğrafi Bilgi Teknolojileri

Ortadoğu Teknik Üniversitesi.

Lisans : Haziran 2002, Geomatik Mühendisliği

İstanbul Teknik Üniversitesi.

DENEYİM

2008 – Halen TPAO, Kıdemli Uzman Mühendis

2005 – 2008 TEİAŞ Genel Müdürlüğü, CBS Uzmanı

YAYINLAR

ÖZTÜRK, T (2007). Finding the Optimum Route for Transmission Lines within GIS, Yüksek Lisans tezi, *Ortadoğu Teknik Üniversitesi*, Ankara.

CESUR, T (2002). Tarihi Eser Bilgi Sistemi, Lisans tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi*, İstanbul.