



T.C.
KONYA TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ



ŞIRNAK İLİ, MERKEZ VE SİLOPİ İLÇELERİ
SINIRLARI DAHİLİNDEKİ ASFALTİT
OCAKLARININ JEOLJİSİ VE ÇEVRESEL
ETKİLERİ

Derya ÖZGÜL

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı

Mayıs-2025
KONYA
Her Hakkı Saklıdır

TEZ KABUL VE ONAYI

Derya Özgöl tarafından hazırlanan “Şırnak İli, Merkez Ve Silopi İlçeleri Sınırları Dahilindeki Asfaltit Ocaklarının Jeolojisi Ve Çevresel Etkileri” adlı tez çalışması 20/06/2025 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği ile Konya Teknik Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı’nda YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri

İmza

Başkan

Dr.Öğr.Üyesi Adnan Döyen
Konya Teknik Üniversitesi

Danışman

Prof. Dr. Fetullah ARIK
Konya Teknik Üniversitesi

Üye

Dr.Öğr.Üyesi Mehmet Demirbilek
Dumlupınar Üniversitesi

Üye

Dr.Öğr.Üyesi Adnan Döyen
Konya Teknik Üniversitesi

Yukarıdaki sonucu onaylarım.

Prof. Dr. Mevlüt UYAN
Enstitü Müdürü

TEZ BİLDİRİMİ

Bu tezdeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edildiğini ve tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

DECLARATION PAGE

I hereby declare that all information in this document has been obtained and presented in accordance with academic rules and ethical conduct. I also declare that, as required by these rules and conduct, I have fully cited and referenced all material and results that are not original to this work.

İmza

Derya ÖZGÜL

Tarih:

ÖZET

YÜKSEK LİSANS TEZİ

ŞIRNAK İLİ, MERKEZ VE SİLOPİ İLÇELERİ SINIRLARI DAHİLİNDEKİ ASFALTİT OCAKLARININ JEOLJİSİ VE ÇEVRESEL ETKİLERİ

Derya ÖZGÜL

Konya Teknik Üniversitesi
Lisansüstü Eğitim Enstitüsü
Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Fetullah ARIK

2025, 94 Sayfa

Jüri
Prof. Dr. Fetullah ARIK
Dr.Öğr.Üyesi Adnan Döyen
Dr.Öğr.Üyesi Mehmet Demirbilek

Bu yüksek lisans tezinde, Şırnak ili Merkez ve Silopi ilçeleri sınırları içerisinde yer alan asfaltit ocaklarının jeolojik özellikleri, rezerv potansiyeli ve çevresel etkileri detaylı bir şekilde incelenmiştir. Yaklaşık 150 km²'lik çalışma alanında, 1/25.000 ölçekli topografik paftalar kullanılarak yapılan haritalama çalışmalarında, İnsansız Hava Aracı (İHA) teknolojisi yardımıyla ortofoto ve nokta bulutu verileri elde edilerek sayısal haritalar oluşturulmuştur. Bu haritalar üzerine jeolojik veriler ve sondaj bilgileri işlenmiş, Avgamasya filonu için yapılan rezerv hesaplamaları sonucunda toplam 6.996.105 ton asfaltit rezervi tespit edilmiştir.

Asfaltitlerin kalorifik değerleri 3.000–6.000 kcal/kg aralığında değişmekte olup, enerji üretiminde önemli bir kaynak oluşturmaktadır. Türkiye genelinde Maden Tetkik ve Arama (MTA) tarafından belirlenen toplam asfaltit rezervi yaklaşık 82 milyon ton olarak bildirilmektedir. Çalışma kapsamında Avgamasya filonundan alınan 4.384 kg ve 3.400 kg ağırlığındaki numuneler laboratuvar ortamında analiz edilmiştir. Yapılan analizler sonucunda asfaltitin nem içeriği %1–2, kül oranı %35–44 ve kükürt oranı %4–7 arasında tespit edilmiştir. Termik kullanım açısından başlangıçta 30 MJ/kg olan kalorifik değer, uygulanan zenginleştirme yöntemleri sonucunda 36.26 MJ/kg seviyesine çıkarılmıştır.

Çevresel etkileri azaltmaya yönelik olarak uygulanan işlemler arasında; flotasyon yöntemi ile kül oranı %32.95'e, aglomerasyon yöntemi ile %27'ye düşürülmüştür. Kimyasal liç uygulamalarında, özellikle %5 NaOH ve %40 HF çözelti kombinasyonu kullanılarak kül içeriği %13.89'a, kükürt içeriği ise %2.49'a kadar azaltılmıştır. Gravite ve yüzdürme yöntemleriyle ise %75 oranında yanıcı madde geri kazanımı sağlanmıştır.

Asfaltitin çevresel etkileri değerlendirildiğinde; su kaynakları ve hava kalitesinin kullanım sırasında olumsuz etkilendiği belirlenmiştir. Sahadan alınan su numunelerinde kimyasal kirlenme gözlemlenmiş, kükürtdioksit (SO₂) emisyonunun ise yürürlükteki yönetmeliklerde belirtilen 350 µg/m³ sınır değerini aşma riski taşıdığı saptanmıştır. Ayrıca, asfaltit külleri içerisinde 2.118 ppm molibden, 2.447 ppm nikel, 231 ppm bakır ve 31 ppm selenyum gibi ağır metallerin bulunduğu belirlenmiştir.

Şırnak-Silopi bölgesinde faaliyette olan 405 MW kapasiteli termik santral, asfaltitin enerji kaynağı olarak kullanımının önemli bir örneğini oluşturmaktadır. Bunun dışında asfaltit; asfalt yapımı, boya, yalıtım malzemesi, oto lastiği, mürekkep ve amonyak üretimi gibi çeşitli sanayi alanlarında da kullanılmaktadır.

Sonuç olarak, Şırnak bölgesinde bulunan asfaltit yatakları enerji üretimi açısından büyük bir potansiyel taşımaktadır. Ancak yüksek kül ve kükürt içeriği nedeniyle çevresel etkiler göz önünde bulundurulmalı; asfaltitin temizlenmesine yönelik işlemler uygulanmalı ve bu doğrultuda çevreci üretim yöntemleri benimsenmelidir. Ayrıca, rezerv bazlı planlamaya geçilmesi, kapalı işletme yöntemlerinin yaygınlaştırılması ve iş sağlığı-güvenliği standartlarının artırılması önerilmektedir. Tez kapsamında, asfaltitin enerji kaynağı olarak kullanımından doğan çevresel etkilerin azaltılmasına yönelik mevcut ve önerilen yöntemler ayrıntılı şekilde açıklanmıştır.

Anahtar Kelimeler: Asfaltit, evresel etki, ortofoto, rezerv, termik santral, Şırnak



ABSTRACT

MS THESIS

GEOLOGY AND ENVIRONMENTAL EFFECTS OF ASPHALTITE QUARRIES WITHIN THE BORDERS OF SIRNAK PROVINCE, CENTRAL AND SILOPI DISTRICTS

Derya ÖZGÜL

**Konya Technical University
Institute of Graduate Studies
Department of Geological Engineering**

Advisor: Prof. Dr. Fetullah ARIK

2025, 94 Pages

**Jury
Prof. Dr. Fetullah ARIK
Asst. Prof. Dr. Adnan Döyen
Asst. Prof. Dr. Mehmet Demirbilek**

This master's thesis investigates the geological characteristics, reserve potential, and environmental impacts of asphaltite deposits located within the boundaries of the Central and Silopi districts of Şırnak Province, Türkiye. The study area, covering approximately 150 km², was mapped using 1:25,000 scale topographic sheets. High-resolution orthophoto and point cloud data were obtained using Unmanned Aerial Vehicle (UAV) technology, and digital maps were generated. Geological data and drilling information were integrated into these maps. As a result of reserve modeling conducted for the Avgamasya vein, a total of 6,996,105 tons of asphaltite reserves were identified.

Asphaltite, with a calorific value ranging between 3,000 and 6,000 kcal/kg, is considered a significant energy source. According to the General Directorate of Mineral Research and Exploration (MTA), the total asphaltite reserve in Türkiye is approximately 82 million tons. In this study, 4,384 kg and 3,400 kg of asphaltite samples were collected from the Avgamasya vein and analyzed in the laboratory. The analyses indicated that the asphaltite has a moisture content of 1–2%, ash content between 35–44%, and sulfur content between 4–7%. The initial calorific value of 30 MJ/kg was increased to 36.26 MJ/kg through various enrichment methods.

To reduce environmental impacts, flotation reduced the ash content to 32.95%, while agglomeration lowered it to 27%. In chemical leaching, the combination of 5% NaOH and 40% HF solutions reduced ash content to 13.89% and sulfur content to 2.49%. Gravity and flotation methods achieved a combustible matter recovery rate of 75%.

The environmental assessments revealed negative impacts on both water sources and air quality during asphaltite usage. Water samples collected from the field indicated chemical contamination. Air quality evaluations showed that sulfur dioxide (SO₂) emissions could potentially exceed the regulatory limit of 350 µg/m³ set by national standards. Furthermore, analysis of asphaltite ash showed the presence of heavy metals, including 2,118 ppm molybdenum, 2,447 ppm nickel, 231 ppm copper, and 31 ppm selenium.

The 405 MW capacity thermal power plant currently operating in the Şırnak-Silopi region exemplifies the use of asphaltite as a primary energy source. In addition to energy production, asphaltite

is utilized in various industrial applications, such as asphalt production, paint, insulation materials, tires, ink, and ammonia production.

In conclusion, the asphaltite deposits in the Şırnak region hold significant potential for energy generation. However, due to the high ash and sulfur content, environmental considerations must be prioritized, and purification processes should be implemented before use. This study recommends the adoption of reserve-based planning, expansion of underground mining methods, and enhancement of occupational safety standards. It also provides a comprehensive overview of current and proposed methods to mitigate the environmental impacts resulting from the energy use of asphaltite.

Keywords: Asphaltite, , environmental impact, orthophoto, reserve thermal power plant, Şırnak



ÖNSÖZ

Bu tez çalışmasında, Şırnak ili Merkez ve Silopi ilçeleri sınırları içerisinde yer alan asfaltit ocaklarının jeolojik özellikleri ile bu ocakların çevresel etkileri detaylı olarak incelenmiştir. Çalışma kapsamında yapılan arazi gözlemleri, literatür taramaları ve analizler neticesinde, bölgenin yer altı kaynaklarının değerlendirilmesi ve bu kaynakların çevre ile olan ilişkilerinin daha iyi anlaşılması hedeflenmiştir.

Tez sürecim boyunca bilgi ve tecrübeleriyle bana rehberlik eden, değerli katkıları ve yönlendirmeleriyle çalışmamın bilimsel niteliğini güçlendiren saygıdeğer danışmanım Prof. Dr. Fetullah Arık'a en içten teşekkürlerimi sunarım.

Ayrıca, desteklerini esirgemeyen kurum ve kuruluşlara, bana her zaman moral ve motivasyon sağlayan arkadaşlarıma ve meslektaşlarıma teşekkür ederim. Hayatım boyunca yanımda olan, sabırları ve sonsuz destekleriyle her zaman arkamda duran aileme ve kıymetli eşim Jeoloji Yüksek Mühendisi Fatih Özgül'e minnettarım.

Bu çalışmanın, bölgedeki asfaltit kaynaklarının daha verimli ve çevreye duyarlı bir şekilde değerlendirilmesine katkı sağlamasını ve gelecek çalışmalara ışık tutmasını temenni ederim.

Derya ÖZGÜL
KONYA-2025

İÇİNDEKİLER

ÖZET	iv
ABSTRACT	vi
ÖNSÖZ	viii
İÇİNDEKİLER	ix
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	xii
1. GİRİŞ.....	1
1.1. Mevcut Çalışmanın Hedefi	3
1.2. Çalışma Sahasının Genel Durumu ve Coğrafi Özellikleri.....	4
2. KAYNAK ARAŞTIRMASI	6
3. MATERYAL VE YÖNTEM.....	20
3.1. Öncel Çalışmalar	20
3.2. Saha Çalışmaları.....	21
3.3. Laboratuvar Çalışmaları.....	21
3.3.1. Asfaltit Numunelerinin Kimyasal ve Fiziksel Analizleri.....	22
3.3.2. Su Numunelerinin Kimyasal Analizleri.....	23
3.4. Büro Çalışmaları.....	24
4. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA.....	25
4.1. Bölgesel Jeoloji	25
4.2. Stratigrafi.....	33
4.2.1. Tanin Grubu (Pzt)	33
4.2.1.1. Gomanibrik formasyonu (Pztg)	33
4.2.2. Çıgılı Grubu (TRç).....	34
4.2.2.1. Yoncalı formasyonu (TRçy).....	34
4.2.2.2. Uludere formasyonu (TRçu).....	34
4.2.2.3. Uzungeçit formasyonu (Trçuz).....	34
4.2.3. Cudi Grubu (TRKc)	35
4.2.3.1. Çanaklı formasyonu (TRJÇ).....	35
4.2.3.2. Latdağı formasyonu (JKI).....	36
4.2.4. Mardin Grubu (Km).....	36
4.2.4.1. Areban formasyonu (Kma).....	37
4.2.4.2. Derdere formasyonu (Kmd).....	37
4.2.5. Adıyaman grubu (Ka)	37
4.2.4.1. Ortabağ formasyonu (Kao).....	38

4.2.4.2. Sayındere formasyonu (Kas)	38
4.2.6. Şırnak Grubu (Kpş).....	38
4.2.5.1. Bozova formasyonu (Kşb).....	38
4.2.5.2. Üçkiraz formasyonu (Kşü)	39
4.2.5.3. Germav formasyonu (Kşg)	40
4.2.7. Midyat Grubu (Teom).....	41
4.2.6.1. Gercüş formasyonu (Plgmg).....	41
4.2.6.2. Becirman formasyonu (Plgmb).....	42
4.2.8. Şelmo formasyonu (Ngş).....	42
4.2.9. Lahta formasyonu (Ngl).....	43
4.2.10. Taraça/Yamaç Molozu (Eski Akarsu Çökelleri) (Qym)	43
4.2.11. Alüvyonlar (Qal).....	43
4.3. Yapısal Jeoloji	43
4.4. Asfaltit Filonları ve Avgamasya Asfaltitleri.....	47
4.4.1. Şırnak İl merkezi asfaltit yatakları.....	51
4.4.1.1. Segürik filonu.....	51
4.4.1.2. Avgamasya Filonu	52
4.4.1.3. Seridahli Filonu.....	53
4.4.1.4. Nivekara Filonu.....	53
4.4.1.5. Milli Filonu.....	54
4.4.1.6. İspindoruk Filonu	55
4.4.1.7. Karatepe Filonu.....	55
4.4.1.8. Rutkekurat Filonu.....	56
4.4.2. Silopi asfaltit yatakları	57
4.4.2.1. Üçkardeşler Filonu	57
4.4.2.2. Harbul Filonu	58
4.4.2.3. Silip Filonu	59
4.4.3. Uludere asfaltit yatakları	60
4.4.3.1. Ortasu Filonu	60
4.5. Avgamasya Asfaltitlerinin Analiz Sonuçları.....	61
4.6. Avgamasya Asfaltitlerinin Rezerv Hesabı ve Ocak Tasarımı.....	62
4.7. Asfaltit Ocaklarının Çevresel Etkileri.....	68
4.7.1. Asfaltitlerin su kaynaklarına etkileri.....	68
4.7.2. Asfaltitlerin hava kirliliğine etkileri.....	71
4.7.3. Ocakta Yapılan Patlatmanın Çevreye Etkileri.....	73
4.7.4. Asfaltit Pasa Alanlarının Çevresel Etkileri ve Değerlendirme Potansiyeli...74	
4.8. Asfaltitin Termik Santralde Değerlendirilmesi	76
4.9. Asfaltitin Zenginleştirme Yöntemleri.....	80
4.9.1. Özgül Ağırlık Farkına Göre Ayırma.....	80
4.9.2. Flotasyon	81

4.9.3. Kömürün Gazlaştırılması	81
4.9.4. Yerinde Kömür Gazlaştırma.....	81
4.10. Asfaltit Küllerinin Değerlendirilmesi	82
5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	83
5.1 Sonuçlar	83
5.2 Öneriler	87
KAYNAKLAR	90



SİMGELER VE KISALTMALAR

Simgeler

Qal: Alüvyon
Qym: Yamaç Molozu
Ngl: Lahta formasyonu
Ngş: Şelmo formasyonu
Plgmb: Becirman formasyonu
Plgmg: Gercüş formasyonu
Kşg: Germav formasyonu
Kşü: Üçkiraz formasyonu
Kşb: Bozova formasyonu
Kas: Sayındere formasyonu
Kao: Ortabağ formasyonu
Kmd: Dardere formasyonu
Kma:Araban formasyonu
Jkcl: Latdağı formasyonu
TrJcç: Çanaklı formasyonu
Trçuz: Uzungeçit formasyonu
Trçu: Uludere formasyonu
Trçy: Yoncalı formasyonu
Pztg: Gomanibrik formasyonu
Mo: Molibden
Ni: Nikel

Ti: Titanyum
V: Vanadyum
U₃O₈: Uranyum Trioksit
µm: Mikrometre
NaOH: Sodyum Hidroksit
HCL: Hidroklorik Asit
HNO₃: Nitrik Asit
H₂SO₄: Sülfürik Asit
HF: Hidroflorik Asit
H₂S: Hidrojen Sülfür
NH₃: Amonyak
Pb-Zn: Kurşun - Çinko
Cu: Bakır
µg/m³: Metreküp başına mikrogram
PM₁₀: Partikül Madde
SO₂: Kükürtdioksit
CO: Karbon Monoksit
O₃: Ozon
(SO₄²⁻): Sülfat İyonu

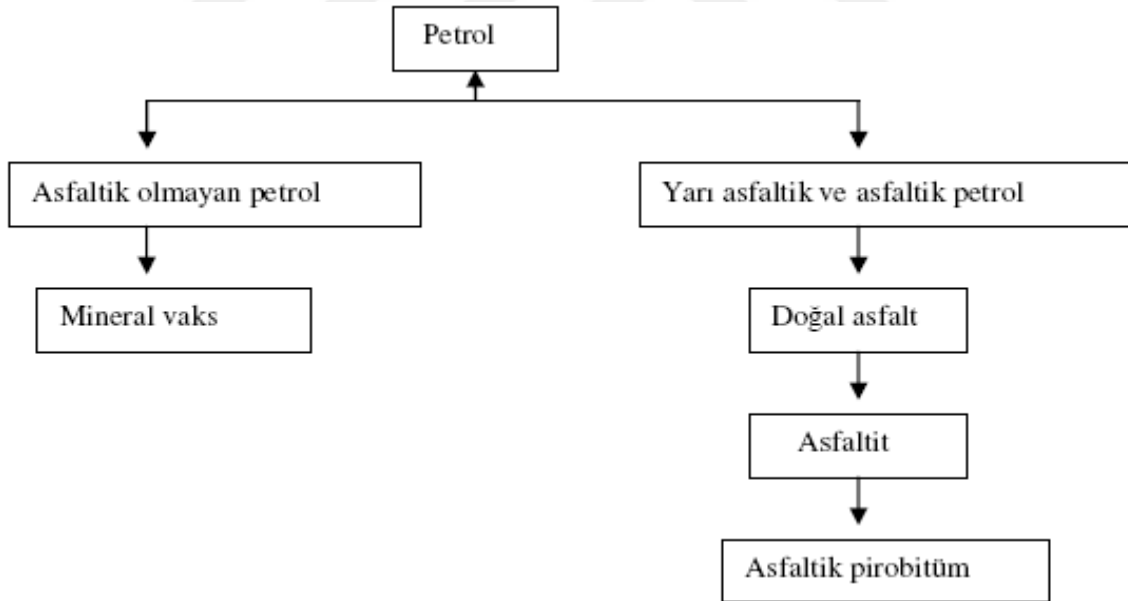
Kısaltmalar

MTA: Maden Tetkik Arama
TKİ: Türkiye Kömür İşletmeleri
İHA: İnsansız Hava Aracı
DPT : Devlet Planlama Teşkilatı
MGS: Multi Gravite Separatör (Çoklu Gravite Ayırıcı)
API : American Petroleum Institute
GIS: Geographical Information Systems
TPAO: Türkiye Petrolleri Anonim Ortaklığı
GAO: Güneydoğu Anadolu Orojenezi
WHO: World Health Organization
ASTM: American Society for Testing and Materials
AID: Analiz Isıl Değeri

1. GİRİŞ

Petrolün tektonik hareketler sonucu kendi yatağından ayrılarak çevredeki yarık ve çatlaklara yerleşerek sıcaklık ve basıncın etkisi ile metamorfizmaya uğramış maddelere asfaltit denir. Türkiye'de, özellikle Şırnak ili, Merkez ve Silopi İlçeleri sınırları içerisinde 11 farklı filonda zenginleşmiş asfaltit yatakları önemli bir enerji kaynağı olarak kabul edilmektedir.

Yeraltında petrolden oluşan veya petrole benzer kökenden gelen çeşitli hidrokarbonlar bulunur. Bunların en başında petrol çanağının üstünün açılmasıyla veya petrolün zaman, sıcaklık ve basıncın etkisi altında metamorfizmaya uğraması sonucu petrolün çanağını terk etmesi ile hafif maddelerin uçmasıyla meydana gelen "asfalt gölleri" ve "bitümlü kumlar" gelir (Kural, 1988; MTA, 1990). Kaya çatlaklarını dolduran veya damarlar şeklinde bulunan bu hidrokarbonlar, "asfaltit" ve "asfaltik pirobitümen" olmak üzere iki türdür. Hidrokarbonlar, hidrojen kaybına uğrayarak karbonca zenginleşirler ve sonunda yumuşak ve sert doğal asfalt, asfaltit ve asfaltik pirobitümü oluştururlar (Kural, 1991). Petrolden metamorfizma sonucu oluşan asfaltik maddeler Şekil 1.1. de gösterilmiştir.



Şekil 1.1. Petrolden metamorfizma sonucu oluşan asfaltik maddeler (Orhun, 1969).

Asfaltitler, parlak veya donuk siyah renkli, sertliği 2-3, özgül ağırlığı 1.03-1.20, ısı değeri yaklaşık 10-23 MJ/kg (2.388-5.493 kcal/kg) arasındadır (Nakoman, 1977). Karbon sülfürdeki (CS₂) çözünürlükleri %90-100, ergime dereceleri 120-315°C arasında değişmektedir. Esas olarak hidrojen ve karbondan oluşur. Mineral madde oranı %40'a kadar çıkabilmektedir (Işıganer, 1985).

Mesozoyik-Senozoyik jeolojik dönemlerine ait asfaltit yatakları, önemli miktarlarda kil mineralleri, kuvars, albit, ortoklaz ve pirit gibi mineral fazlarını içermektedir (Parnell, 1991). Asfaltitler, Neojen döneminde gelişen tektonik deformasyonlar sırasında oluşan bindirme fay sistemleriyle ilişkili oldukları anlaşılmaktadır. Özellikle fay zonları boyunca meydana gelen kırılma ve çatlak sistemlerinin, hidrokarbonların migrasyonu için uygun yapısal ortam sağladığı ve bu süreçte asfaltitlerin fay düzlemleri boyunca yerleştiği belirtilmektedir (Parnell, 1994). Ayrıca, asfaltitler yüksek kül içerikli, Mo, Ni ve Ti içeren metallerce zengin maddelerdir (Saltoğlu, 1978; Lebküchner, 1972).

Başlangıçta kömür, turba ve diğer bitkisel kökenli organik materyallerin ürünü olarak değerlendirilen filon tipi asfaltit yatakları hakkındaki görüş, sonraki dönemlerde yapılan bilimsel çalışmalarla önemli ölçüde revize edilmiştir. Yapılan karşılaştırmalı analizlerde, linyitteki oksijen içeriğinin asfaltitlere kıyasla belirgin şekilde yüksek olması, bu materyallerin farklı kökenlere sahip olduğunu ortaya koymuştur. Bu bulgular, asfaltitlerin petrol kökenli hidrokarbonlardan türediğine dair kesin kanıtlar sunarak, konuya ilişkin paradigmanın değişmesine yol açmıştır. Asfaltitte oksijen oranı yaklaşık %3 dolayında iken, farklı kömür türlerinde bu oran %3-44 arasında değişmektedir (Kural ve Pişkin 1988).

Türkiye'nin Güneydoğu Anadolu Bölgesi'nde, özellikle Şırnak il merkezinin güney kesimleri ile Silopi ilçesi ve çevresinde, ekonomik açıdan işletilebilir rezervlere sahip asfaltit ve asfaltik pirobitümen yatakları bulunmaktadır. Bölgedeki bu hidrokarbon oluşumları, stratigrafik olarak Üst Kretase - Paleosen yaşlı birimler içerisinde damar ve merccek şeklinde yataklanmış olup, yerel olarak önemli enerji hammaddesi potansiyeli taşımaktadır. Özellikle Silopi bölgesindeki yatakların kalınlığı ve yayılımı, bölgenin bu tür hidrokarbon kaynakları açısından jeolojik olarak elverişli koşullara sahip olduğunu göstermektedir. Söz konusu oluşumlar, Türkiye'nin bitümlü maddeler envanterinde önemli bir paya sahiptir ve enerji kaynakları çeşitlendirme stratejileri kapsamında değerlendirilmektedir (Seyhan, 2000; TKİ, 2007). MTA raporlarında bu asfaltitlerin kalori değer aralığı 3.000 ve 6.000 kcal/kg olarak belirtilmektedir. Asfaltitlerin %1-2 nem, %4-7 kükürt, %35-40 kül içerdiği belirtilmiştir. Laboratuvar analizleri, asfaltit küllerinde radyoaktif mineral fazlarının yanı sıra, nadir bulunan mineralojik bileşenler ve iz elementlerin varlığını ortaya koymuştur (Orhun, 1969; TKİ, 2007). Bu bulgular, söz konusu küllerin jeokimyasal karakterizasyonu bağlamında dikkat çekici bir elementer zenginleşme profili

sergilediğini göstermektedir. Asfaltit teshin amaçlı yakacak kaynağı olarak kullanımının yanı sıra termik santrallerde enerji üretiminde de kullanılmaktadır (Seyhan, 2000).

Türkiye'nin en önemli iki asfaltit yatağı, Güneydoğu Anadolu Bölgesi'nde konumlanmaktadır. Filon tipi yataklanma özelliği gösteren bu sahalardan birincisi Şırnak ilinin güney kesimlerinde, ikincisi ise Silopi ilçesinin kuzeydoğu yönünde yer almaktadır. Her iki saha da ekonomik açıdan değerlendirilebilir rezerv büyüklükleriyle dikkat çekmekte olup, bölgenin hidrokarbon potansiyeli açısından stratejik öneme sahiptir. Şırnak'ın güneyinde bulunan Avgamasya, Segürek, Seridahlı, Nivekara, Milli, İspindoruk, Karatepe ve Rutkekurat filonlarından çıkarılan asfaltitler, başlangıçta 1920'lerde asfalt üretiminde kullanılmış olup günümüzde boya, cila, yalıtım malzemeleri, otomobil lastikleri, yol yapımı, elektrik izolasyonu, su geçirmez kablolar, fayanslar, mürekkepler ve amonyak üretimi gibi çeşitli endüstriyel uygulamalarda kullanılmakta; ayrıca ülkemizde katı yakıt olarak ve termik santrallerde elektrik üretiminde değerlendirilmekte ve piroliz yoluyla sentetik petrol üretimi için araştırma çalışmaları devam etmektedir (Şengüler, 2007).

1.1. Mevcut Çalışmanın Hedefi

Asfaltit, petrolün tektonik hareketler nedeniyle ana yatağından ayrılarak çevredeki kırık ve çatlak sistemlerine yerleşmesi ve yüksek sıcaklık-basınç koşullarında fizikokimyasal değişime uğraması sonucu oluşan organik kökenli bir hidrokarbon türüdür. Ülkemizde, Güneydoğu Anadolu Bölgesi'nde Şırnak ili ve çevresinde (Merkez ve Silopi İlçeleri) yoğunlaşan bu tür yataklar, bölgenin enerji jeolojisi açısından büyük önem arz etmektedir. Söz konusu bölgede tespit edilen 11 ayrı filon tipi asfaltit yatağı, hem rezerv büyüklükleri hem de endüstriyel kullanım potansiyelleri nedeniyle dikkatle incelenmektedir.

Asfaltitin petrolojik kökeni, yüksek enerji içeriği ve nikel (Ni), molibden (Mo), vanadyum (V) gibi stratejik metal konsantrasyonları, Şırnak-Silopi bölgesinde 405 MW kapasiteli akışkan yataklı kazan (AFBC) teknolojisine sahip bir termik santralin kurulumunu mümkün kılmıştır. Bununla birlikte, bu hidrokarbon kaynağının yüksek mineral madde içeriği (%40'a varan oranlarda) ve yüksek kükürt konsantrasyonu, yakıt olarak kullanımında önemli teknik kısıtlamalar oluşturmaktadır. Bu nedenle, asfaltitlerin yerleşim alanlarında konut ısıtma amaçlı kullanımı, çevresel ve sağlık açısından riskler nedeniyle uygun görülmemektedir. Bu sorunları aşmak amacıyla,

asfaltitlerin çevre dostu bir enerji kaynağı haline getirilmesine yönelik çeşitli temizleme çalışmaları yapılmıştır. Yapılan çalışmalar kül oranında düşüşe neden olmuş olsa da kükürt değerlerinde istenilen düşüş gözlemlenememiştir. Bu çalışmada, Türkiye'nin Şırnak Bölgesinde bulunan asfaltit kaynaklarına odaklanılarak, asfaltit oluşumu, bölgenin jeolojisi, saha çalışmaları neticesinde belirlenecek bazı asfaltit filonlarında İHA ile ortofoto ve nokta bulutu oluşturularak, bölgenin sayısal haritalarının çıkartılması, oluşturulacak hassas haritalar üzerine hem jeolojik özelliklerin bindirilmesi hem de bölgede yapılan sondaj verileri de kullanılarak bu hassas haritaya işlenmesi ve asfaltit filonlarındaki güncel rezerv miktarlarının hesaplanması, çıkartılan asfaltitin enerji kaynağı olarak kullanılmasından kaynaklanan çevresel etkileri azaltmak için yapılan ve yapılması gereken çeşitli çalışmalar hakkında detaylı bir şekilde açıklanmasını hedeflemektedir.

1.2. Çalışma Sahasının Genel Durumu ve Coğrafi Özellikleri

Şırnak ili 37°31 kuzey enlemleri ve 42°28 doğu boylamları arasında yer almaktadır. Yüzölçümü 7.172 km², ortalama 1.400 metre rakımı ile deniz seviyesinden oldukça yüksek olan Şırnak ili topraklarının batı kesimi Güneydoğu Anadolu Bölgesinin Dicle bölümünde, diğer yarısı da Doğu Anadolu Bölgesi içerisinde kalmaktadır. İl batıda Mardin, kuzeyde Siirt, kuzeydoğuda Hakkâri illeri, güneyde Irak ve Suriye toprakları ile çevrilidir.

Çalışma sahası, Şırnak İli, Merkez İlçesi civarında 1/25000 ölçekli M48-c3, N48-b1, N48-b2, N49-a1, N49-a4 paftalarında yer alır. Çalışma alanı, Şırnak İli'nin Merkez ve Silopi ilçeleri arasında konumlanan Toptepe, Cevizdüzü ve Görümlü köylerini kapsayan yaklaşık 150 km² genişliğinde bir alandır (Şekil 1).



Şekil 1.2. İnceleme alanının yer bulduru haritası

2. KAYNAK ARAŞTIRMASI

Çalışma alanını kapsayan Şırnak ili, idari tarihsel gelişimi incelendiğinde, 16 Mayıs 1990 tarih ve 3647 sayılı Kanun'la Türkiye'nin 73. ili statüsü kazanmıştır. İlin oluşum sürecinde, daha önce Siirt iline bağlı bir ilçe statüsünde olan bölgeye; Siirt'in Eruh ilçesine bağlı Güçlükönak bucağı ilçe statüsüyle, Mardin'e bağlı İdil, Cizre ve Silopi ilçeleri ile Hakkâri'ye bağlı Uludere ve Beytüşşebap ilçeleri idari olarak bağlanmıştır. Şırnak ilini de içine alan ve Mardin, Siirt ile Hakkâri illerini kapsayan bu bölge, uzun yıllardır jeolojik yapısı, mineralojik özellikleri, maden potansiyeli ve çevresel etkileri açısından yoğun bilimsel araştırmalara konu olmuştur.

İnceleme alanının içinde yer aldığı Şırnak il olmadan önce Siirt'e bağlı bir ilçe olup 16 Mayıs 1990 tarihinde Türkiye'nin 73. ili olmuş, Siirt'in Eruh ilçesine bağlı Güçlükönak bucağı bu ilin ilçesi olmuş, ayrıca Mardin'in İdil, Cizre ve Silopi ilçeleriyle Hakkâri'nin Uludere ve Beytüşşebap ilçeleri Şırnak'a bağlanmıştır. Şırnak ilinin içinde olduğu bölgeyi kapsayan Mardin, Siirt ve Hakkâri illerini kapsayan bölgede çok eskiden bu yana jeolojik, mineralojik, maden potansiyeli ve çevre kirliliğiyle ilgili birçok çalışma yapılmıştır.

İnceleme alanını kapsayan ve geniş ölçekte Güneydoğu Anadolu Bölgesinin farklı kesimlerinde ilk çalışmalar Maxon (1937), Tromp (1941), Altınlı (1952) ve Türkünal (1951, 1953), Tolun (1954), Gossage (1956), Krummenacher ve Periam (1958), Ekim vd. (1961), Ketin (1964), Peksu (1965, 1969), Akarsu (1968), Boeuf (1969), Atan (1969), Lebküchner ve Orhun (1972), Tuna (1973), Sungurlu (1974), Arıkan (1975) tarafından gerçekleştirilmiş ve yörenin jeolojik, tektonik ve stratigrafik yapısı ile petrol olanakları hakkında ilgili önemli bilgiler ortaya konulmuştur.

Bölgede ilk çalışmaları gerçekleştiren Maxon (1937) inceleme alanını içine alan bölgeyi Hakkâri kompleksi olarak tanımlamıştır. Türkünal (1951, 1953) bazı yaş tayinleri yaparak bölgenin tektonik yapısı ve stratigrafisini belirlemiştir. Altınlı (1953) ise daha önce Hakkâri kompleksi olarak adlandırılan (Maxon, 1937) volkanitli karmaşığın önce Oligosen yaşlı olduğunu daha sonra Geç Kretase-Paleosen döneminde tektonizmaya eşlik eden volkanizmanın geliştiği bir havzada oluştuğunu ileri sürmüştür. Altınlı (1963) bu çalışmalardan yararlanarak 1/500.000 ölçekli Türkiye Jeoloji Haritalarından Cizre paftasını üretmiştir.

Orhun (1969) Güneydoğu Türkiye'deki asfaltit madenlerin özellikleri, metamorfoz dereceleri ve klasifikasyon problemleri konulu araştırması kapsamında

yapılan laboratuvar çalışmalarında, asfaltit küllerinde radyoaktif minerallerin yanı sıra nadir rastlanan minerallerin bulunduklarını ifade etmiştir.

Horstink (1971) Hakkâri yöresinin jeolojisi, paleocoğrafyası ve tektonik özelliklerini çalışmıştır.

Lebküchner (1969), asfaltit rezervlerinin belirlenmesine yönelik önemli katkılar sağlamış olup, Şırnak asfaltitlerinin uzun süredir kullanımda olduğunu vurgulamaktadır. Araştırmacı, çalışmasında şu önemli tespitte bulunmuştur: “Şırnak bölgesinde (o dönem Siirt İli'ne bağlı) yaklaşık 8 km güneybatı konumunda, Avgamasya köyü yakınlarında, bölgenin en büyük asfaltit oluşumu yer almaktadır. Bu oluşum, nispeten geç tarihlerde tanımlanmış olmasına rağmen, bilimsel olarak en kapsamlı şekilde incelenen asfaltik madde yatağıdır”. Tören (2018), bölge halkının geleneksel olarak "kömür" adıyla tanıdığı ve kireç üretiminde kullandığı bu maddenin, son yıllarda açık ocak işletmeciliği yöntemiyle çıkarılarak başta Diyarbakır olmak üzere Doğu Anadolu Bölgesi'ndeki kentsel yerleşimlerde konut ısıtma amaçlı yakıt olarak tüketildiğini belirtmektedir.

Lebküchner vd. (1972) Güneydoğu Türkiye'deki asfaltit oluşumlarının varlığını ortaya koyarak asfaltitlerin petrolden türeme hidrokarbonlar olduklarını ve fayların etkisiyle yüzeylediklerini ifade etmişlerdir.

Nakoman (1977) sedimanter uranyum yataklarının özelliklerini araştırdığı çalışmasında asfaltitlerin önemli bir uranyum kaynağı olabileceklerini değerlendirmiştir. Yazar Güneydoğu Anadolu'da, takriben 17.000 km²'lik bir alan içinde, kökeninin petrol olduğu şüphe götürmeyen asfaltik madde filonlarının bir kısmının varlığının geçen yüzyıllardan beri bilindiğini, nitekim 1870 yıllarında 1. Paylaşım Savaşı'nın sonlarına kadar bu materyal taşkömürü olarak Harbul filonundan çıkarılmış, Musul'a gönderilmiş, Musul, Bağdat ve Basra arasında Dicle Nehrinde işleyen buharlı gemilerde yakacak olarak kullanıldığını belirtmiştir. Bölgedeki asfaltitlerin, parlak veya donuk siyah renkli, sertliği 2-3, özgül ağırlığı 1.03-1.20, ısı değeri yaklaşık 10-23 MJ/kg (2.388-5.493 kcal/kg) arasında olduğunu ifade etmiştir.

Özkaya (1978), Yüksekova ve güney kesiminde yaptığı çalışmalarda Koçalı Karmaşığı ile Hakkari Karmaşığı'nın stratigrafik ilişkilerini detaylı olarak incelemiş ve bu birimlerin litostratigrafik korelasyonuna yönelik önemli veriler sunmuştur. Araştırmacı ayrıca, Hakkari Karmaşığı'nın iç yapısal özelliklerinin tanımlanmasına katkı sağlayacak temel jeolojik verileri sistematik bir şekilde derlemiştir. Önal (1978), Şırnak asfaltitlerinden kükürt giderimini yüksek yoğunluklu ıslak manyetik ayırma

yöntemi ile çalışmış ve asfaltitin kükürt içeriğinin % 85.6 ayırma verimi ile % 2.94'ten % 1.40'a düşürülebileceğini ortaya koymuştur

Saltoğlu vd., (1978) tarafından gerçekleştirilen X-ışını floresans spektrometresi (XRF) analizleri, bölgesel asfaltit yataklarında ve bunların küllerinde önemli metal konsantrasyonlarını ortaya çıkarmıştır. Çalışma sonuçları, molibden (Mo: 120-450 ppm), nikel (Ni: 80-320 ppm), vanadyum (V: 150-600 ppm) ve titanyum (Ti: 200-800 ppm) gibi endüstriyel açıdan değerli metalik elementlerin karakteristik bir şekilde biriktiğini göstermektedir. Bu bulgular, söz konusu asfaltitlerin sadece enerji kaynağı olarak değil, aynı zamanda metalik hammadde potansiyeli açısından da dikkate değer olduğunu işaret etmektedir. Yılmaz vd., (1979), Koçali karmaşığını oluşturan istifin eski bir okyanus kabuğu olduğunu belirtmişlerdir.

Perinçek (1980a) Kambriyen- Miyosen aralığında bölgede çökelmiş bulunan birimlerin stratigrafisini açıklayıcı bilgiler sağlamıştır. Balkaş ve diğ. (1980) Başkale-Gürpınar-Çatak-Van dolayında allohton birimler ile Doğu Anadolu iç havzalarında oluşan Neojen yaşlı kayaçların ilişkilerini açıklamışlardır.

Dean vd., (1981), Hakkâri bölgesinin güneyinde yüzeyleyen Kambriyen-Ordovisiyen yaşlı sedimanter istifler ile Güneydoğu Anadolu'nun diğer kesimlerindeki eşdeğer yaşlı birimleri karşılaştırmalı olarak incelemiş, litofasiyes varyasyonları, sedimanter yapılar, stratigrafik geçişler ve paleocoğrafik dağılımlar açısından detaylı analizler yapmışlardır. Çalışmada, bu birimlerin litolojik ve paleoçevresel korelasyonlarını ortaya koyarak bölgenin tektono-stratigrafik evrimine önemli katkılar sağlamışlardır. Araştırmacılar, elde ettikleri bulgularla bölgesel stratigrafik çerçevenin anlaşılmasına yönelik temel veriler sunmuşlardır. Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü (MTA, 1982) tarafından gerçekleştirilen laboratuvar ölçekli teknolojik değerlendirme çalışmaları, Türkiye asfaltitlerinin piroliz işlemiyle sentetik petrol üretimine uygun olduğunu ortaya koymuştur. Çalışma sonuçları, bu süreçte yan ürün olarak amonyak (NH₃) ve hidrojen sülfür (H₂S) elde edilebileceğini, ayrıca asfaltit küllerinden vanadyum (V), nikel (Ni), molibden (Mo), uranyum oksit (U₃O₈) ve titanyum (Ti) gibi nadir elementlerin kazanılabileceğini deneysel olarak kanıtlamıştır.

Görür ve Akkök (1982), Hakkari yöresinde Midyat formasyonunun sedimantolojik özelliklerini ortaya koyarak havzanın doğuya doğru derinleştiğini ifade etmişlerdir Janvier vd.,(1984), Güneydoğu Anadolu Bölgesi'nde Devoniyen-Karbonifer geçiş istiflerinde yaptıkları detaylı paleontolojik çalışmalarda, bu kritik döneme ait fosil topluluklarını sistematik olarak analiz etmişlerdir. Araştırmacılar, özellikle konodont ve

brakiyopod biyostratigrafisine dayanarak, Devoniyen ve Karbonifer sistemleri arasındaki stratigrafik sınırın kesin olarak tanımlanabilmesi için yeni biyozonasyon kriterleri önermişlerdir. Bu çalışma, bölgenin paleoekolojik evriminin anlaşılmasına önemli katkılar sağlamıştır.

Işıganer (1985), dönemin jeolojik çalışmaları kapsamında Mardin iline bağlı Silopi çevresinde yer alan Harbul ve Üçkardeşler asfaltit filonlarının detaylı jeolojik karakterizasyonunu yapmıştır. Araştırmacı, bu çalışmada söz konusu asfaltitlerin bölgedeki tektonik yapılar boyunca gelişen kırık ve çatlak sistemlerinde belirgin şekilde konsantre olduklarını sistematik olarak ortaya koymuştur. Özellikle fay zonları ve eklem sistemleri boyunca gözlenen bu yataklanma modeli, asfaltit oluşumlarının bölgenin tektonik evrimiyle olan yakın ilişkisini açıkça göstermektedir.

Perinçek (1990), bölgenin stratigrafik evrimini detaylandırarak, Üst Permian'den Üst Kretase'ye kadar olan dönemi kapsayan birimlerin litostratigrafik ilişkilerini ortaya koymuştur. Araştırmacıya göre, Üst Permian yaşlı ince taneli kumtaşlarını takiben kalın karbonat istifleri gelişmiş, bunları uyumlu olarak Alt Triyas yaşlı karasal kökenli çamurtaşları ile ara seviyelerde killi kireçtaşı-marn ardalanmaları izlemiştir. Bu birimler, Orta-Üst Triyas'tan Alt Kretase'ye kadar devam eden karbonat çökelimleriyle kesintisiz olarak devam etmektedir.

Stratigrafik kolonun daha üst seviyelerinde ise belirgin bir uyumsuzluk yüzeyi üzerinde Mardin Grubu'nun taban kırıntılıları ve sığ denizel karbonatları yer almaktadır. Bu birimler, şeyl ve bol kavkılı kireçtaşı ardalanmaları ile temsil edilmekte olup, üzerlerine uyumsuzlukla Üst Kretase yaşlı killi kireçtaşları, marn-killi kireçtaşı ardalanmaları ve marn-şeyl-kumtaşı birimleri gelmektedir. Bu detaylı stratigrafik çalışma, bölgenin Mesozoyik evriminin anlaşılmasında temel bir kaynak oluşturmaktadır. Perinçek (1990)'in bölgeye ilişkin detaylı çalışmaları, Cilo Dağları'nın karmaşık tektonostratigrafik evrimini ortaya koymaktadır. Araştırmacı, Kampaniyen döneminde bölgeye naplar halinde yerleşen allokon birimlerin radyolarit-tüf-aglomera-bazalt-kireçtaşı ardalanması şeklinde geliştiğini ve yer yer Triyas yaşlı mermer blokları içerdiğini belirtmiştir. Bu birimler, ofiyolitik bir dilimle temsil edilmekte olup, Eosen-Oligosen döneminde çökelmiş karbonat istifinin taban kırıntılıları tarafından örtülmüştür. Söz konusu karbonat istifi ise karasal kökenli Üst Miyosen yaşlı kırıntılılar ile uyumsuzluk ilişkisi göstermektedir. Perinçek (1990), bölgenin tektonik evrimine ilişkin önemli bulgular sunmuştur. Çalışmada, Geç Kretase ve Geç Miyosen sonlarında farklı yönlerden etkin olan sıkışma rejimlerinin, Kretase ve Tersiyer yapı eksenlerinin

farklı doğrultular kazanmasına neden olduğu vurgulanmıştır. Araştırmacı özellikle Tersiyer napları altında kalan alanlarda, napların altında Mesozoyik ve Tersiyer yaşlı karbonat birimlerinin hidrokarbon potansiyeli taşıyabileceğine dikkat çekmiştir. Bu bulgular, bölgenin petrol sistemleri açısından değerlendirilmesi gereken önemli jeolojik unsurlar içerdiğini göstermektedir.

Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü (MTA, 1990) tarafından yürütülen detaylı araştırmalar, Şırnak ve Silopi çevresinde 13 farklı lokasyonda gerçekleştirilen sondaj çalışmaları sonucunda toplam 82 milyon ton ekonomik rezerv potansiyeline sahip asfaltit yatağının varlığını ortaya koymuştur. Raporlarda, bölgedeki asfaltitlerin başlıca konut ısıtma amaçlı olarak yaygın şekilde kullanıldığı belirtilmekle birlikte, bu materyalin yüksek kükürt içeriği ve mineral madde oranı nedeniyle termik santral uygulamalarında katı yakıt olarak kullanımının teknik ve çevresel açıdan uygun olmadığı vurgulanmıştır. Parnell (1991 ve 1994), Sedimanter havzaların evrimi esnasında hidrokarbon ve metal etkileşimini incelediği araştırmalarında metallerin kaynağı, taşınması ve depolanmasının kömür ve asfaltit çökelişi ile eş zamanlı olduklarını belirtmiştir. Araştırmacı Mesozoyik-Senozoyik yaşlı asfaltit yataklarının büyük miktarda kil, kuvars, albit, ortoklaz ve pirit mineralleri içerdiklerini ve Neojen döneminde meydana gelen aşırı kırılmalara bağlı olarak asfaltitlerin kırık ve çatlaklar yardımıyla yukarı hareket ettiklerini ve bazılarının yüzeylediklerini ifade etmiştir.

Kural ve Pişkin (1988) tarafından gerçekleştirilen araştırmalar, sedimanter havzalarda petrol kökenli hidrokarbonların ikincil yataklanma süreçlerini sistematik olarak incelemiştir. Çalışma sonuçları, bu organik materyallerin kayaç çatlak sistemleri ve gözenekli ortamlarda birikerek, termobarik koşullar altında fizikokimyasal değişimlere uğradığını ortaya koymuştur. Araştırmacılar, bu süreçler sonucunda oluşan doğal asfaltik birikimlerin başlıca "asfalt gölleri" ve "bitümlü kum yatakları" şeklinde tezahür ettiğini belirlemişlerdir. Kural (1991)'in Şırnak bölgesinde yürüttüğü detaylı çalışmalar, kayaç çatlak sistemleri ve damar yapılarında gözlenen hidrokarbon birikimlerinin petrol kökenli olduğunu kesin olarak ortaya koymuştur. Araştırmacı, bu organik materyallerin diyajenetik süreçler sonucunda dehidrojenasyona uğrayarak karbonca zenginleştiğini ve asfaltit, doğal asfalt ile asfaltik pirobitümen gibi farklı formlara dönüştüğünü belirlemiştir. Özellikle asfaltitlerin düşük oksijen içeriği (%3) ile linyitlerdeki yüksek oksijen oranlarının (%3-44) karşılaştırılması, bu birikimlerin bitki kökenli olmadığını ve petrolojik kökenlerini kesin olarak kanıtlamıştır. Bu bulgular, bölgedeki hidrokarbon yataklarının oluşum mekanizmalarının yeniden

değerlendirilmesi gerektiğini ortaya koyarak petrol jeolojisi literatürüne önemli bir katkı sağlamıştır. Seyhan (2000) tarafından gerçekleştirilen kapsamlı çalışma, asfaltitlerin yüksek karbon içeriği ve kalorifik değeri nedeniyle enerji üretimi açısından önemli bir hidrokarbon kaynağı olduğunu ortaya koymuştur. Araştırmada, bu malzemenin termik santral uygulamalarında kullanım potansiyeli detaylı olarak incelenmiş, ancak yüksek kükürt ve mineral madde içeriği gibi teknik sınırlamalar da belirtilmiştir. Çalışma, asfaltitlerin enerji üretim sistemlerindeki rolünü anlamak açısından önemli veriler sunarken, bu malzemenin özgün bileşimsel özelliklerinden kaynaklanan kullanım zorluklarını da ele almaktadır. Önal ve Girgin (2001), asfaltitlerin ekonomik kullanım alanlarını ortaya koyarak özellikle termik santrallerde temiz yakma teknolojileri ile yakılan asfaltitlerden hem enerji hem de nadir metallerin elde edilebileceğini ifade etmişlerdir.

Devlet Planlama Teşkilatı (DPT, 2001) verilerine göre, Türkiye'nin en önemli asfaltit yatakları Güneydoğu Anadolu Bölgesi'nde konumlanmaktadır. Söz konusu yataklardan ilki Şırnak ilinin güney kesiminde, ikincisi ise Silopi'nin kuzeydoğu bölgesinde yer alan filon tipi oluşumlardır. Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü (MTA) tarafından yapılan rezerv hesaplamaları, bu sahaların toplam 82 milyon ton ekonomik rezerv potansiyeline sahip olduğunu göstermektedir. Ülkemizde uzun yıllardır Doğu ve Güneydoğu Anadolu Bölgeleri'nde konut ısınmasında kullanılan asfaltitlerin, yüksek kükürt konsantrasyonu (%4-7) nedeniyle yerleşim alanlarında tüketimi çevresel ve sağlık açısından önemli riskler oluşturmaktadır. Bu durum, asfaltit kullanımının kentsel alanlarda sınırlandırılması gerekliliğini ortaya koymaktadır.

Ayhan vd. (2003) tarafından gerçekleştirilen deneysel çalışmada, Şırnak asfaltitlerinin köpük flotasyon yöntemiyle zenginleştirilme potansiyeli sistematik olarak incelenmiştir. Araştırmacılar, optimize edilmiş flotasyon parametreleri altında %76.61 yanıcı madde verimine ulaşırken, elde edilen konsantrenin kül içeriğini %32.95 seviyesine düşürmeyi başarmışlardır. Bu sonuçlar, söz konusu yöntemin bölge asfaltitlerinin kalite iyileştirilmesinde etkin bir şekilde uygulanabileceğini göstermektedir. Doymaz vd. (2007) tarafından yürütülen deneysel çalışmada, Silopi asfaltitlerinin fizikokimyasal özelliklerinin iyileştirilmesi amacıyla kombine flotasyon ve demineralizasyon işlemleri uygulanmıştır. Araştırmacılar, -250 µm boyutuna öğütülmüş asfaltit numunelerine öncelikle köpük flotasyonu işlemi uygulamış, ardından alkali (NaOH) ve asidik (HCl, HNO₃, H₂SO₄, HF) çözeltilerle kimyasal demineralizasyon gerçekleştirmişlerdir. Deneysel sonuçlar, %5 NaOH ve %40 HF karışımı kullanılarak gerçekleştirilen işlemlerde %40.50 oranında kül giderim verimine

ulaşıldığını göstermiştir. Bu bulgular, söz konusu kombine prosesin asfaltit kalitesinin artırılmasında etkili bir yöntem olduğunu ortaya koymaktadır. Abakay vd. (2004) Şırnak asfaltitinin aglomerasyon yöntemi ile temizlenme olasılığını araştırdıkları çalışmalarında kül, kükürt, uçucu madde ve sabit karbon içeriklerinin sırasıyla % 44.8, % 6.0, % 38.0 ve % 17.2 olan asfaltit numunesi üzerinde deneysel çalışmalar yapılmış ve optimum koşulların; öğütme süresi: 50 dk, Köprüleme sıvısı tipi: % 50 Gazyağı: % 50 akaryakıt, köprüleme sıvısı konsantrasyonu: % 30, hamur yoğunluğu: %12.5, karıştırma hızı: 1800 rpm olduğunu ortaya koymuşlardır. Çalışma sonucunda deniz suyu ve göl suyunun külün uzaklaştırılması üzerindeki etkilerinin olumsuz olduğu tespit edilmiştir.

Kavak vd. (2010) tarafından yapılan karakterizasyon çalışmaları, Avgamasya asfaltitlerinin ortalama 15 mikron boyutunda ince gözenek yapısına sahip olduğunu ve yaklaşık %12 pirit içerdiğini ortaya koymuştur. Aynı çalışmada, bu asfaltitlerin %20 oranında kil ve diğer inorganik bileşenler içerdiği belirlenmiştir. Söz konusu yüksek kül ve kükürt içeriği, asfaltitlerin doğrudan kullanımının çevresel açıdan sorun teşkil etmesine neden olmaktadır (Kocaman, 2017). Bu durum, Chilingarian ve Yen (1978) tarafından da vurgulandığı üzere, asfaltitlerin enerji amaçlı kullanımı öncesinde uygun ön işlemlerle (demineralizasyon, desülfürizasyon gibi) saflaştırılması gerekliliğini ortaya koymaktadır. Bu bulgular ışığında, asfaltitlerin çevresel etkilerinin minimize edilerek değerlendirilebilmesi için ön arıtma proseslerinin uygulanmasının zorunlu olduğu anlaşılmaktadır.

Şengüler (2007) tarafından yapılan çalışmada, asfaltit petrol kökenli katı bir hidrokarbon olarak tanımlanmakta ve yüksek yumuşama noktasına sahip doğal asfalt benzeri bir malzeme olarak karakterize edilmektedir. Araştırmacı, asfaltit oluşumlarının migrasyonunu kontrol eden temel faktörlerin hidrostatik basınç, gaz basıncı, kapilarite, gravitasyonel kuvvetler ve termal etkiler olduğunu belirlemiş; bu süreçler sonucunda sıvı veya yarı sıvı haldeki asfaltik materyallerin kırık-çatlak sistemleri boyunca hareket ederek Şırnak bölgesinde fay zonları ve çatlak dolguları şeklinde depolandığını ortaya koymuştur. Çalışmada ayrıca asfaltitlerin endüstriyel uygulama alanları detaylı olarak incelenmiş olup, başlıca ısıtma sistemleri, boya ve vernik sanayi, otomotiv lastik üretimi, elektriksel yalıtım malzemeleri, batarya koruyucu bileşenler, genleştirilmiş kauçuk üretimi, fayans ve karolar ile su yalıtım kabloları gibi çeşitli sektörlerde kullanıldığı tespit edilmiştir. Bu kapsamlı araştırma, asfaltitlerin hem oluşum mekanizmaları hem de endüstriyel kullanım potansiyelleri hakkında önemli bilimsel

veriler sunmaktadır. Doymaz vd. (2007) tarafından gerçekleştirilen deneysel çalışmada, Silopi bölgesinden elde edilen yüksek kül içerikli asfaltit numuneleri üzerinde alkali ve asidik demineralizasyon prosesleri uygulanmıştır. Araştırmacılar öncelikle sulu sodyum hidroksit (NaOH) çözeltisi ile alkali ekstraksiyon işlemi yapmış, ardından nitrik asit (HNO_3), hidroklorik asit (HCl), sülfürik asit (H_2SO_4) ve hidroflorik asit (HF) gibi inorganik asitlerle kademeli arıtma gerçekleştirmişlerdir. Deneysel sonuçlar, %5'lik NaOH ekstraksiyonunu takiben %10 H_2SO_4 ve %40 HF karışımı ile yapılan işlemin en etkin demineralizasyon yöntemi olduğunu göstermiştir. Bu optimizasyon süreci sonucunda, numunelerin kalorifik değerinin 30 MJ/kg'dan 36.26 MJ/kg'a yükseldiği, kül içeriğinin ise %34.35'ten %13.89'a düştüğü tespit edilmiştir. Bu bulgular, uygulanan kimyasal arıtma yöntemlerinin asfaltit kalitesini önemli ölçüde iyileştirdiğini ortaya koymaktadır. Majumder vd. (2007) tarafından yürütülen deneysel çalışmada ise, asfaltit ince tanelerinin Çoklu Gravite Ayırıcı (MGS) ile zenginleştirilme potansiyeli sistematik olarak araştırılmıştır. Çalışma sonuçları, proses parametrelerinden özellikle tambur dönüş hızı ve besleme katı konsantrasyonunun, ürün verimi ve kül içeriği üzerinde belirleyici etkiye sahip olduğunu ortaya koymuştur. Araştırmacılar, orijinal kül içeriği %24.61 olan asfaltit numunelerinden, optimizasyon sonucunda %71.23 verimle %14.67 kül içeriğine sahip temiz bir konsantre elde etmeyi başarmışlardır. Bu bulgular, MGS sisteminin asfaltit zenginleştirme proseslerinde etkin bir şekilde kullanılabileceğini göstermektedir. Saydut vd. (2005) tarafından gerçekleştirilen kapsamlı çalışmada, asfaltit numunelerinin saflaştırılması amacıyla sulu kostik liçi (ACL) yöntemi kullanılarak kükürt giderme ve demineralizasyon prosesleri optimize edilmiştir. Araştırmacılar, alkali konsantrasyonu, reaksiyon süresi ve sıcaklık gibi kritik proses parametrelerinin liç verimliliği üzerindeki etkilerini sistematik olarak incelemişlerdir. Deneysel bulgular, uygulanan yöntemle asfaltitin kül içeriğinin %40.08'den %22.14'e başarıyla düşürülebildiğini ve %75 oranında yanıcı madde geri kazanımı sağlandığını göstermiştir. Aynı zamanda, numunelerin toplam kükürt içeriği %6.74'ten %2.49'a, uçucu madde oranı ise %33.72'den %19.10'a önemli ölçüde azaltılmıştır. Bu sonuçlar, ACL yönteminin asfaltit kalitesini iyileştirmede etkili bir arıtma teknolojisi olduğunu ortaya koymaktadır. Hiçyılmaz ve Altun (2006)'nın gerçekleştirdiği sistematik araştırma, Şırnak bölgesindeki asfaltit rezervlerini detaylı şekilde incelemiş ve başlıca yatakların rezerv potansiyelini ortaya koymuştur. Çalışmada, Harbul Filonu'nda 25.8 milyon ton, Üçkardeşler Filonu'nda 20.4 milyon ton ve Avgamasya Filonu'nda 14 milyon ton ekonomik rezerv tespit edilmiştir. Araştırmanın ikinci aşamasında,

asfaltitlerin çevresel etkilerini azaltmak amacıyla gravite ayırma ve flotasyon yöntemleriyle zenginleştirme denemeleri yapılmıştır. Deneysel bulgular, gravite ayırma yöntemiyle numunelerin kül içeriğinin %44.86'dan %31.44'e düşürülebildiğini ve bu süreçte %75 yanıcı madde geri kazanımı sağlandığını göstermiştir. Flotasyon yöntemiyle ise benzer yanıcı madde geri kazanım verimi (%75) elde edilirken, kül içeriğinin %24 seviyesine kadar indirilebildiği gözlenmiştir. Bu sonuçlar, her iki yöntemin de asfaltit kalitesini artırmada etkili olduğunu, ancak flotasyon prosesinin daha yüksek saflıkta ürün elde etme avantajı sunduğunu ortaya koymaktadır. Düz vd. (2008), katı fosil yakıtların saflaştırılması amacıyla erimiş kostik liç yönteminin etkinliğini sistematik olarak araştırmışlardır. Çalışma kapsamında, Şırnak-Silopi havzasındaki Segurik ve Harbul kömür ocaklarından alınan asfaltit numunelerine sırasıyla erimiş sodyum hidroksit (NaOH) ile alkali liç ve seyreltik asit çözeltisi ile nötralizasyon işlemleri uygulanmıştır. Araştırmanın bulguları, bu iki aşamalı işlemin mineral madde içeriğinde belirgin bir azalma sağladığını ve özellikle piritik ve organik kükürt bileşenlerinin etkili bir şekilde giderilmesine olanak verdiğini göstermiştir. Elde edilen sonuçlar, erimiş kostik liç yönteminin asfaltitlerin demineralizasyonu ve desülfürizasyonu için oldukça verimli bir proses olduğunu ortaya koymaktadır. Bu çalışma, katı fosil yakıtların kalite iyileştirilmesi alanında önemli bir metodolojik katkı sağlamıştır. Ünalın (2010)'ın yaptığı araştırmalar, Türkiye'deki en önemli asfaltit yataklarının Güneydoğu Anadolu Bölgesi'nde yoğunlaştığını ortaya koymaktadır. Araştırma sonuçları, bölgedeki asfaltit yataklarının başlıca iki ana zon halinde gruplandığını göstermektedir: (1) Şırnak'ın güneyindeki zon, Avgamasya'dan Rutkekurat'a kadar uzanan sekiz farklı filondan (Avgamasya, Segürek, Seridahlı, Nivekara, Milli, İspindoruk, Karatepe ve Rutkekurat) oluşmaktadır; (2) Silopi'nin kuzeydoğusunda yer alan zon ise Üçkardeşler, Harbul ve Silip filonlarını içermektedir. Bunlara ek olarak, Uludere'nin güneydoğusunda ve Irak sınırı yakınında konumlanan Ortasu filonu da kayda geçirilmiştir. Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü (MTA) verilerine göre, söz konusu yatakların toplam rezervinin yaklaşık 82 milyon ton olduğu hesaplanmıştır. Bu bulgular, Türkiye'nin asfaltit kaynakları açısından önemli bir potansiyele sahip olduğunu göstermektedir. Ünalın (2010) tarafından yapılan bu çalışma, ülkemizin enerji kaynakları envanterine önemli bir katkı sağlamıştır. Asfaltitler, yüksek karbon içeriği ve kalorifik değerleri nedeniyle önemli bir enerji kaynağı olarak kabul edilmekte olup, Seyhan (2000) tarafından yapılan çalışmalar bu malzemenin termik santral uygulamalarında etkin bir şekilde kullanılabileceğini deneysel verilerle

ortaya koymuştur. Özellikle Şırnak bölgesindeki asfaltit yataklarının enerji üretim potansiyelinin değerlendirilmesine yönelik yapılacak kapsamlı araştırmaların enerji kaynaklarının optimizasyonu, üretim verimliliğinin artırılması ve çevresel etkilerin minimize edilmesi açısından önemli katkılar sağlayacağı değerlendirilmiştir. Bu bağlamda, asfaltitlerin konut ısıtma uygulamalarındaki ve endüstriyel ölçekli enerji üretimindeki performans parametrelerinin sistematik olarak araştırılması, bölgenin enerji politikalarının bilimsel temellere dayandırılması açısından stratejik bir önem sunduğu, yapılacak detaylı çalışmaların, enerji planlama süreçlerine veri temelli katkılar sunacağı ve sürdürülebilir enerji yönetimi stratejilerinin geliştirilmesine yol göstereceği öngörülmüştür. Demir vd. (2010), asfaltit oluşum süreçlerini detaylı olarak incelemiş ve bu nadir hidrokarbon kaynağının petrolün diyajenetik ve katagenetik süreçler sonucunda dönüşümüyle meydana geldiğini ortaya koymuşlardır. Araştırmacılar, termobarik koşullardaki farklılıkların asfaltitlerin fizikokimyasal özelliklerinde kademeli değişimlere yol açtığını belirlemişlerdir. Güneydoğu Anadolu Bölgesi'ne ait veriler, bölgedeki asfaltit yataklarının net kalorifik değerlerinin 2876-5536 kcal/kg aralığında değiştiğini ve yaklaşık 82 milyon ton ekonomik rezerv potansiyeline sahip olduğunu göstermektedir. Bu bulgular, bölgenin enerji kaynakları açısından önemli bir potansiyel taşıdığını kanıtlamaktadır. MTA tarafından 1970'li yıllarda gerçekleştirilen araştırmalarda, asfaltitin termal damıtma yöntemiyle hidrokarbon üretiminin yanı sıra yan ürün olarak inorganik bileşenlerin geri kazanım potansiyeli incelenmiştir. Yapılan deneysel çalışmalarda, 900°C sıcaklık ve atmosferik basınç koşullarında uygulanan piroliz işlemi sonucunda asfaltitin %35.39 oranında damıtılabilir fraksiyon verdiği, geriye kalan %64.61'lik kısmın ise kok formunda kaldığı tespit edilmiştir. Damıtma ürünlerinin karakterizasyonu sonucunda %11.80 verimle 26.6 API graviteli petrol, %19.08 verimle 4800 kcal/m³ enerji içeriğine sahip gaz (H₂S ve NH₃ gibi yan ürünler içeren) elde edilmiştir. Ayrıca küllerinde vanadyum (V), nikel (Ni), molibden (Mo) ve uranyum trioksit (U₃O₈) gibi stratejik metallerin bulunması, asfaltitlerin enerji kaynağı olmanın ötesinde metalurjik hammadde potansiyelini de ortaya koymuştur (Ünalan, 2010).

Aydın (2013), asfaltitin enerji üretiminin yanı sıra endüstriyel hammadde olarak da değerlendirilebileceğini ortaya koymuştur. Yapılan analizler, asfaltitin yanma sonrası oluşan külünün yapısında nikel (Ni), molibden (Mo), vanadyum (V) ve uranyum (U) gibi stratejik öneme sahip metalik elementler içerdiğini göstermektedir. Çalışmada ayrıca, Doğu ve Güneydoğu Anadolu Bölgeleri'nde asfaltitin geleneksel olarak ısıtma

amaçlı kullanımının yanı sıra, son dönemde enerji üretim sektöründe de önemli bir kaynak haline geldiği vurgulanmıştır. Bu bağlamda, Şırnak-Silopi'de 2015 yılında tam kapasiteyle faaliyete geçen ve 405 MW kurulu güce sahip asfaltit yakıtlı termik santral örnek olarak gösterilmiştir. Çakır vd. (2013), Şırnak İli Silopi bölgesinde bulunan Harbul-Üç Kardeşler asfaltit filonunun ekonomik potansiyelini değerlendirmek amacıyla madencilik tasarım yazılımı kullanarak detaylı bir modelleme çalışması gerçekleştirmişlerdir. Araştırmacılar, yaptıkları teknik çalışmalar ve ekonomik analizler sonucunda sahanın açık işletme yöntemiyle işletilmesinin en uygun üretim stratejisi olduğunu belirlemişlerdir. Çalışmada, rezerv modellemesi ve maden planlaması yapılarak yatırımın ekonomik fizibilitesi ortaya konmuştur.

Bayrak ve Aktan (2018), Güneydoğu Anadolu Bölgesi'ndeki Şırnak havzasında bulunan asfaltit yataklarının bölgesel kalkınma üzerindeki çok boyutlu etkilerini incelemişlerdir. Çalışmada, bu kaynakların enerji üretimindeki stratejik rolünün yanı sıra, madencilik faaliyetlerinin tetiklediği sosyo-ekonomik kalkınmaya dikkat çekilmiştir. Araştırmacılar, asfaltit madenciliğinin bölgeye; ulaşım ağları, su temini, enerji altyapısı ve iletişim sistemleri gibi temel altyapı yatırımlarını getirdiğini ve bu gelişmelerin yerel istihdam olanaklarını artırarak bölgesel kalkınmaya katkı sağladığını ortaya koymuşlardır. Bu bulgular, asfaltit madenciliğinin enerji arz güvenliğinin sağlanması dışında bölgesel gelişim açısından da önemli bir katalizör görevi üstlendiğini göstermektedir. Ayhan (2018) tarafından gerçekleştirilen çalışmada, Şırnak Asfaltit Havzası'nda tespit edilen 12 adet asfaltit filonunun teknik ve ekonomik parametreleri detaylı olarak analiz edilmiştir. Araştırma bulgularına göre, söz konusu filonların alt ısı değerleri 2876-5440 kcal/kg (12041-22341 kJ/kg) aralığında değişmekte olup, bu değerler asfaltitlerin enerji üretimi açısından önemli bir potansiyele sahip olduğunu göstermektedir. Rezerv hesaplamaları ise görünür: 45.473.000 ton, muhtemel: 28.897.000 ton ve mümkün: 7.579.000 ton olmak üzere toplamda 81.949.000 ton seviyesinde tespit edilmiştir. Çalışmada ayrıca, havzada uygulanan açık ve yeraltı işletme yöntemlerinin operasyonel verimlilik ve iş sağlığı-güvenliği performansları karşılaştırmalı olarak değerlendirilmiştir. Özellikle filon geometrisine uygun projelendirmenin üretim verimliliği üzerindeki kritik rolü vurgulanmıştır. Araştırmacı, bölgede yeraltı madenciliği uygulamalarının geliştirilmesi gerekliliğini ortaya koyarak, bu alanda yapılacak bilimsel çalışmaların aciliyetine dikkat çekmiştir. Ayaz vd.(2018) tarafından yapılan çalışmada, Türkiye'nin mineral kaynak potansiyeli ve bu kaynakların ekonomik önemi sistematik olarak incelenmiştir. Araştırmacılar,

endüstriyel üretimde kullanılan malzemelerin ve teknolojik cihazların büyük çoğunluğunun mineral kaynaklardan türetildiğini ve enerji kaynaklarına olan talebin küresel kalkınmanın temel göstergelerinden biri olduğunu vurgulamışlardır. Çalışmada özellikle Türkiye'nin jeolojik çeşitliliğinin sağladığı önemli maden potansiyeli analiz edilmiştir. Çalışmanın odak noktalarından biri olan Şırnak bölgesinin jeolojik evrimi detaylı şekilde irdelenmiştir. Bölgede, Mesozoyik yaşlı Cudi Grubu karbonatları içerisinde gelişen sülfitsiz (non-sülfidik) çinko içerikli sedimanter ekzalatif (SEDEX) tipi Zn-Pb yatakları tanımlanmıştır. Ayrıca, Geç Kretase-Paleosen yaş aralığındaki Germav formasyonu ile Alt Eosen yaşlı Gercüş formasyonunda önemli boyutlarda asfaltit rezervlerinin varlığı rapor edilmiştir. Araştırmacılar, asfaltit küllerinin yüksek konsantrasyonlarda vanadyum (V), nikel (Ni), molibden (Mo) ve uranyum oksit (U_3O_8) gibi stratejik öneme sahip elementler içerdiğini tespit etmişlerdir. Bu bulgular, bölgenin hem enerji hem de metalik hammadde kaynağı olarak çift yönlü ekonomik potansiyelini ortaya koymaktadır. Aydın (2018) tarafından yürütülen "Şırnak Asfaltit Külünün Değerlendirilmesi" başlıklı çalışmada, asfaltit yanma ürünlerinin çevresel etkileri ve ekonomik potansiyeli kapsamlı şekilde incelenmiştir. Araştırmacılar, enerji üretim proseslerinde kullanılan asfaltitlerin yanması sonucu oluşan küllerin çevresel risk oluşturmalarına rağmen, içerdikleri metalik elementler nedeniyle ikincil hammadde kaynağı olarak değerlendirilebileceğini ortaya koymuşlardır. Çalışmada, Şırnak bölgesindeki asfaltit yataklarının özellikle Karatepe Asfaltiti'nin metal içeriği ICP-OES (Inductively Coupled Plasma Optical Emission Spectrometry) yöntemiyle kantitatif olarak analiz edilmiştir. Elde edilen verilere göre kül örneklerinde; 2118 ± 21 ppm molibden (Mo), 2447 ± 15 ppm nikel (Ni), 231 ± 8 ppm bakır (Cu), 276 ± 1 ppm krom (Cr) ve 31.42 ± 1.23 ppm selenyum (Se) konsantrasyonları tespit edilmiştir. Bu sonuçlar, asfaltit küllerinin metal geri kazanımı açısından önemli bir potansiyele sahip olduğunu göstermektedir. Araştırmacılar, metal ekstraksiyon proseslerinin uygulanmasıyla hem çevresel atık yönetimi sorunlarının azaltılabileceğini, hem de ekonomik değeri yüksek metallerin kazanımının sağlanabileceğini vurgulamışlardır. Bu bulgular, sürdürülebilir kaynak yönetimi açısından döngüsel ekonomi yaklaşımının uygulanabilirliğini destekler niteliktedir.

Bilgin vd. (2018), Şırnak İlının başta enerji ham maddeleri olmak üzere çeşitli maden potansiyeline sahip olduğunu ve yaklaşık 150 milyon ton asfaltit rezervinin tahmin edildiğini belirtmektedir. Araştırmacılar asfaltitin açık ve kapalı işletme yöntemleriyle işletildikten sonra üretilen ham ürünlerin cevher hazırlama (kıırma-eleme-

yıkama) tesislerinde zenginleştirme işlemlerine tabi tutularak temiz kömür üretildiğini ve özellikle kapalı işletmelerde güvenli üretim ve cevher zenginleştirme açısından verimli yöntemleri tartışmışlardır.

Tören (2018) tarafından gerçekleştirilen çalışmada, Şırnak bölgesindeki asfaltit yataklarının kullanım dinamikleri ve madencilik faaliyetlerinin sosyo-ekonomik etkileri sistematik olarak incelenmiştir. Araştırmacı, bölgedeki asfaltitlerin geleneksel olarak ısınma ve endüstriyel amaçlarla kullanımının yanı sıra, son dönemde enerji üretim sektöründe de önemli bir kaynak haline geldiğini ortaya koymuştur. Çalışmada özellikle vurgulanan bulgulara göre, kontrolsüz madencilik uygulamaları nedeniyle ciddi iş güvenliği sorunları yaşanmakta ve bu durum ölümlü/yaralanmalı iş kazalarıyla sonuçlanmaktadır. Ayrıca, sürdürülebilir olmayan çıkarım yöntemleri ve rezerv yönetimi eksiklikleri nedeniyle asfaltit kaynaklarının plansız şekilde tüketildiği tespit edilmiştir. Demirci vd. (2019) Şırnak civarında 12 adet asfaltit filonu bulunduğunu ve asfaltitlerin geçmişten bu yana boya ve kimyasalların üretimi ile 1920'lerden günümüze yaygın olarak asfalt yapımında kullanıldığı günümüzde ise boya, cila, yalıtım, otomobil lastiklerinin üretimi, yol yapımında, elektrik izolasyonu, su geçirmez kablolar, fayanslarda, mürekkep, amonyak vb. pek çok sanayi kolunda tüketildiğini belirtmişlerdir. Ayrıca asfaltitin ülkemizde büyük çoğunlukla katı yakıt olarak ve termik santrallerde elektrik üretiminde kullanıldığını ve piroliz yoluyla sentetik petrol üretimi üzerinde de çalışmalar yapıldığını (Hiçyılmaz ve Altun, 2006; Saydut vd., 2007) ifade etmişlerdir. Demirci vd. (2019) tarafından gerçekleştirilen çalışmada, Şırnak bölgesindeki 12 asfaltit filonunun endüstriyel uygulamaları ve enerji potansiyeli detaylı olarak incelenmiştir. Araştırmacılar, asfaltitlerin 1920'lerden bu yana başta boya, kimyasal madde ve asfalt üretimi olmak üzere çeşitli endüstriyel alanlarda kullanıldığını; günümüzde ise boya, cila, yalıtım malzemeleri, otomotiv lastikleri, elektrik izolasyonu, su geçirmez kablolar, seramik fayanslar, mürekkep ve amonyak üretimi gibi geniş bir yelpazede değerlendirildiğini ortaya koymuşlardır. Çalışmada ayrıca, bu kaynağın ülkemizde ağırlıklı olarak katı yakıt olarak kullanıldığı ve termik santrallerde elektrik enerjisi üretiminde önemli bir rol oynadığı vurgulanmış; piroliz teknolojisi kullanılarak sentetik petrol üretimine yönelik çalışmaların (Hiçyılmaz ve Altun, 2006; Saydut vd. 2007) enerji çeşitliliği açısından stratejik önem taşıdığına dikkat çekilmiştir. Yapılan çalışmada, asfaltitlerin yüksek kükürt, uçucu madde ve kül içeriği nedeniyle doğrudan kullanımının çevresel etkiler, endüstriyel zorluklar ve teknolojik kısıtlamalar oluşturduğu (Kocaman ve Kocaman, 2017; Chilingarian ve Yen,

1978) vurgulanmış ve yakıt olarak kullanılmadan önce bu istenmeyen bileşenlerden arındırılması gerektiği belirtilmiştir. Araştırmacılar, asfaltitlerin ısınma amaçlı kullanımının yanı sıra damıtma prosesleriyle petrol ve gaz üretiminin mümkün olduğunu, ayrıca küllerinde bulunan vanadyum (V), nikel (Ni), molibden (Mo) ve uranyum oksitinin (U_3O_8) geri kazanılabileceğini, ancak Türkiye'deki rezervlerin düşük tenörlü olması nedeniyle bu proseslerin ekonomik olmadığını ifade etmişlerdir. Ayrıca, asfaltit kullanımının neden olduğu hava kirliliği etkilerini azaltmak amacıyla çeşitli temizleme yöntemlerinin geliştirildiği bildirilmiş; kül ve kükürt içeriğini azaltmaya yönelik yapılan çalışmalarda flotasyon ve liç yöntemlerinin hem teknik verimlilik hem de ekonomik uygulanabilirlik açısından en uygun çözümler olduğu sonucuna varılmıştır.



3. MATERYAL VE YÖNTEM

Bu yüksek lisans tez çalışması, Şırnak Bölgesi'ndeki asfaltit kaynaklarının kapsamlı bir şekilde karakterizasyonunu ve değerlendirilmesini amaçlamaktadır. Çalışma kapsamında; asfaltitlerin jeolojik özellikleri, oluşum mekanizmaları, filon geometrilerinin sayısal haritalama teknikleriyle modellenmesi ve bu haritalara jeolojik parametrelerin entegre edilmesi sistematik olarak incelenmiştir. Sayısal haritalama yöntemleri kullanılarak asfaltit filonlarının güncel rezerv hesaplamaları gerçekleştirilmiş ve bu rezervlerin ekonomik potansiyeli analiz edilmiştir. Araştırmanın önemli bir boyutunu, asfaltitin enerji üretiminde yakıt olarak kullanımından kaynaklanan çevresel etkilerin azaltılmasına yönelik iyileştirme çalışmaları oluşturmaktadır. Bu kapsamda mevcut çevresel azaltım stratejileri değerlendirilmiş ve geleceğe yönelik optimizasyon önerileri geliştirilmiştir.

Metodolojik yaklaşım olarak; (1) saha öncesi literatür araştırması ve veri toplama, (2) detaylı saha çalışmaları (jeolojik haritalama, örnekleme ve in-situ ölçümler), (3) laboratuvar analizleri ve (4) elde edilen tüm verilerin istatistiksel analizlerle değerlendirildiği büro çalışmaları olmak üzere dört aşamalı bir araştırma hiyerarşisi benimsenmiştir. Bu çok disiplinli yaklaşım, bölgenin asfaltit potansiyelinin bilimsel temellere dayalı olarak ortaya konulmasını sağlamıştır.

3.1. Öncel Çalışmalar

Bu dönemde çalışma alanının jeolojisi ve asfaltit ile ilgili önceden hazırlanmış olan raporlar, yayınlar derlenerek ve arazi ile ilgili ön bilgiler elde edilmiştir.

Jeolojik haritanın hazırlanması ve verilerin 3d modelleme programına aktararak arazi modelinin çıkarılması için bölgenin 1/25000 ve 1/100000 ölçekli topografik ve jeoloji haritaları temin edilmiştir. Saha için gerekli olan ölçüm, örnekleme ve görüntüleme ekipmanı temin edilmiş ve ilgili kurum ve kuruluşlarla görüşülerek arazi çalışmaları için bilgilendirme yapılmıştır.

3.2. Saha Çalışmaları

Bu çalışma kapsamında, Şırnak İli Merkez İlçesi'nde bulunan asfaltit ocaklarının temsili alanlarında detaylı jeolojik araştırmalar yürütülmüştür. Saha çalışmaları sonucunda elde edilen litolojik ve stratigrafik veriler doğrultusunda, bölgede yüzeyleyen jeolojik birimler sistematik olarak tanımlanmış ve birim sınırları revize edilerek 1:25.000 ölçekli jeolojik harita güncellenmiştir. Arazi çalışmaları sırasında, bölgenin jeolojik çeşitliliğini temsil eden stratigrafik birimler ile asfaltit filonlarından temsili numune setleri metodolojik bir yaklaşımla toplanmıştır.

Saha incelemelerinde, Şırnak bölgesindeki asfaltit filonlarının konumları GPS destekli yöntemlerle hassas şekilde belirlenmiş, filonların boyutsal parametreleri ve yapısal karakteristikleri multidisipliner analiz teknikleriyle incelenmiştir. Haritalama ve üç boyutlu modelleme çalışmalarında, Mavic 3 RTK Enterprise drone sistemi kullanılarak yüksek çözünürlüklü (2 cm/piksel) ortofoto mozaikler ve yoğun nokta bulutu veri setleri oluşturulmuştur. Bu dijital veriler, topoğrafik detayların netleştirilmesinde ve filon morfolojilerinin analizinde kritik rol oynamıştır. Fotogrametrik veri toplama işlemleri, optimum ışık koşullarının sağlandığı sabah (08:00-10:00) ve akşam (16:00-18:00) saatlerinde gerçekleştirilerek veri kalitesi maksimize edilmiştir. Elde edilen tüm veriler, bölgenin jeolojik evriminin anlaşılmasına ve asfaltit yataklarının oluşum mekanizmalarının yorumlanmasına önemli katkılar sağlamıştır.

3.3. Laboratuvar Çalışmaları

Laboratuvar çalışmalarında, saha örneklemeleriyle toplanan asfaltit ve su numuneleri üzerinde fiziksel ve kimyasal analizler yapılmış, böylece asfaltit filonlarının tenör değerleri ve rezerv verileri tespit edilmiştir. Elde edilen bu veri setleri, söz konusu asfaltit filonlarının enerji üretim kapasitesinin ve olası çevresel etkilerinin objektif olarak değerlendirilebilmesi için analitik yöntemlerle incelenmiştir.

Kimyasal analiz çalışmaları kapsamında, Avgamasya asfaltit filonundan iki adet temsili numune (4,384 kg ve 3,400 kg) alınmıştır. Ayrıca, filon bölgesindeki gölet suyunun kimyasal kompozisyonunun karakterizasyonu için 7 litre su örneği toplanmıştır. Silopi bölgesinden temin edilen 50 ton asfaltit ve 10 ton kireçtaşı

numuneleri ise yakma testleri için 9 Kasım 2004 tarihinde Çin'in Xian kentine deniz yoluyla sevk edilmiştir.

3.3.1. Asfaltit Numunelerinin Kimyasal ve Fiziksel Analizleri

Asfaltit, yüksek enerji içeriği ve stratejik önemi nedeniyle alternatif bir fosil yakıt kaynağı olarak değerlendirilmektedir. Bu bağlamda, asfaltit numunelerinin fizikokimyasal karakterizasyonu, hem enerji dönüşüm verimliliğinin optimizasyonu hem de çevresel etki değerlendirmelerinin yapılabilmesi açısından büyük önem taşımaktadır. Bu çalışmada, Şırnak havzasında yer alan asfaltit filonlarından metodolojik örnekleme teknikleriyle alınan numuneler, standardize edilmiş laboratuvar protokolleri kapsamında analitik yöntemlerle incelenmiştir. Asfaltitlerin termik santrallerde birincil yakıt olarak kullanımı, yüksek nem içeriği nedeniyle önemli ısı verim kayıplarına ve yüksek kükürt konsantrasyonu sebebiyle hava emisyonlarının artışına bağlı çevresel riskler oluşturmaktadır. Bu çerçevede gerçekleştirilen analitik çalışmalar, asfaltitlerin enerji üretimindeki uygulanabilirliğinin değerlendirilmesi ve çevresel etki profilinin belirlenmesi açısından temel bilimsel veri seti sağlamıştır.

Şırnak bölgesinden alınan asfaltit numuneleri, enerji üretim potansiyelinin belirlenmesine yönelik olarak Normlab Laboratuvarı'nda kapsamlı analizlere tabi tutulmuştur. Çalışma kapsamında; (i) enerji kapasitesini karakterize eden alt kalorifik değer ölçümleri, (ii) yakma verimliliğini etkileyen nem içeriği analizleri ve (iii) çevresel etki değerlendirmesi açısından kritik öneme sahip toplam kükürt içeriği tayinleri gerçekleştirilmiştir. Elde edilen bu parametreler, bölge asfaltitlerinin termik santral uygulamalarındaki teknik uygunluk ve çevresel sürdürülebilirlik açısından kapsamlı bir değerlendirme yapılmasını sağlamıştır.

Kimyasal karakterizasyon çalışmaları kapsamında, Avgamasya asfaltit filonundan temsili örnekleme yöntemleriyle 4,384 kg ve 3,400 kg ağırlıklarında iki adet numune alınmış ve uygun şartlarda paketlenerek laboratuvara transfer edilmiştir. ASTM D3173 standartlarına göre 1 g asfaltit numunesi hassas terazide tartılarak 105 ± 5 °C sıcaklıkta etüvde 1 saat kurutulmuştur. Kurutma sonrası numune tekrar tartılarak nem içeriği belirlenmiştir. Asfaltitin ASTM D3174 standartlarına göre kül içeriği hesaplaması için önceden kurutulmuş yaklaşık 1 g numune alınmıştır. %100 hava ortamında 750 ± 25 °C sıcaklıkta 2 saat süreyle kül fırınında yakılmıştır. Soğutulduktan sonra tartılarak ilk ve son ağırlığı oranlanarak kül içeriği hesaplanmıştır. ASTM D3175

standartlarına göre uçucu madde oranı hesaplaması için kurutulmuş asfaltit numunesi, hava girişi olmayan bir kap içinde 950 ± 20 °C sıcaklıkta 7 dakika tutulmuştur. Daha sonra ilk ağırlığı ve son ağırlığı oranlanarak içerisindeki uçucu madde oranı hesaplanmıştır. Yüksek ve düşük ısı değer hesaplaması için ASTM D5865 standartlarına göre yaklaşık 1 g numune bomb kalorimetresi ile yakılarak çıkan ısı miktarı ölçülmüştür. Asfaltit içindeki yanıcı karbon miktarı $100 - (\text{Nem} + \text{Kül} + \text{Uçucu Madde})$ formülüyle hesaplanmıştır. ASTM D4239 standartlarına göre toplam kükürt hesaplaması yapılmıştır. Numune ısıtılarak yakılmış ve tüm kükürt, SO₂ formuna dönüştürülmüştür. Sonrasında SO₂ gazı oksitlenerek sülfat iyonuna (SO₄²⁻) dönüştürülmüştür. Sülfat iyonları, baryum klorür (BaCl₂) çözeltisi ile reaksiyona sokularak baryum sülfat (BaSO₄) çöktürülmüştür. Oluşan çökelti filtreleneip kurutularak ve sonrasında tartılmıştır. Gravimetrik hesapla toplam kükürt miktarı yüzdesi belirlenmiştir.

Asfaltitlerin enerji üretim potansiyelini belirlemek amacıyla Xian Termal Enerji Araştırma Enstitüsü'nde yakma testleri gerçekleştirilmiştir. Testler kapsamında asfaltit ve yanma sürecinde katkı maddesi olarak kullanılan kireçtaşı örnekleri analiz edilmiştir. Numunelerin kimyasal bileşimleri, mineralojik özellikleri ve ısı değerleri detaylı olarak incelenmiştir. Bu analizler, asfaltitlerin yanma verimliliğinin, ısı üretme kapasitesinin ve yanma sırasında oluşan atık gazların belirlenmesi amacıyla yapılmıştır. Test sonuçları, asfaltitlerin termal enerji potansiyelini ve yanma koşullarının optimizasyonuna ilişkin önemli veriler sağlamıştır.

3.3.2. Su Numunelerinin Kimyasal Analizleri

Avgamasya filonundaki açık işletme sahasında oluşan göletten, temsili örnekleme protokollerine uygun olarak 2 litre, 3 litre ve 2 litre olmak üzere toplam 7 litre su numunesi alınmıştır. Numuneler, kontaminasyon riskini minimize etmek amacıyla standart cam saklama kaplarına konularak, bekletme yapılmaksızın kimyasal kompozisyon analizleri için Martest Analiz Laboratuvarı'na transfer edilmiştir. Numunelerin analitik hazırlık aşamasında, 0.45 µm çapında gözenekli membran filtreler kullanılarak askıda katı madde (TSS) giderimi sağlanmıştır. Metal iyonlarının stabilizasyonu (çökmesini önlemek) amacıyla, her bir numune ultra saf nitrik asit (HNO₃, %65) ile pH < 2 koşulunda asidifiye edilmiştir. Numunelerin elementel kompozisyonu, Inductively Coupled Plasma Optical Emission Spectrometry (ICP-OES)

tekniki ile kantitatif olarak analiz edilmiştir. Bu incelemeler, ocak alanındaki suyun pH değeri, ağır metaller (Pb, Cd, As, Cr, Hg), iyonik bileşikler (sülfat, nitrat, fosfat) ve diğer kirlenici parametreler açısından kapsamlı bir şekilde analiz edilmesini içermiştir. Yapılan analizler, suyun çevresel etkilerinin belirlenmesi, yeraltı sularına olası bulaşma risklerinin değerlendirilmesi ve asit maden drenajı potansiyelinin tespiti amacıyla gerçekleştirilmiştir. Elde edilen sonuçlar, su kütlesinin kirlilik seviyelerini açıkça ortaya koymuş olup, çevresel etkilerin azaltılması ve sürdürülebilir su yönetimi stratejilerinin geliştirilmesi için temel veri sağlamıştır. Bu bulgular, madencilik faaliyetlerinin su kaynakları üzerindeki etkilerinin minimize edilmesi açısından kritik öneme sahiptir.

3.4. Büro Çalışmaları

Büro çalışmaları, saha çalışmalarında elde edilen verilerin işlenmesi, analiz edilmesi ve bu verilerden sayısal haritaların ve 3D modellerin oluşturulması sürecini kapsamaktadır.

İHA ile elde edilen görüntüler, Agisoft Metashape ve Pix4D yazılımları kullanılarak işlenmiş, ortofoto ve nokta bulutu verilerinden yüksek hassasiyetli 3D modeller oluşturulmuştur. Bu modeller, asfaltit filonlarının topografik yapısını ve jeolojik özelliklerini doğru şekilde yansıtmaktadır. Global Mapper ve Netcad yazılımları ise asfaltit filonlarının haritalanması ve rezerv hesaplamaları için kullanılmış, saha verileriyle karşılaştırılarak detaylı jeolojik haritalar oluşturulmuştur. Netpromine yazılımı, sondaj verileri ve numune analizleriyle entegre edilerek yer altı asfaltit kaynaklarının detaylı modellemesini sağlamış, rezerv kapasitesinin belirlenmesine katkıda bulunmuştur. Ayrıca, saha çalışmalarından elde edilen sondaj verileri GIS ortamına aktarılmış ve asfaltit yataklarının derinliği, yapısı ve kalitesi daha hassas şekilde analiz edilmiştir.

Büro çalışmaları sonucunda, Şırnak ilindeki asfaltit filonlarının konumları, yapısal özellikleri ve rezerv miktarları hakkında detaylı veriler elde edilmiştir.

4. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA

4.1. Bölgesel Jeoloji

Şırnak İlinin büyük bir kısmı, Güneydoğu Anadolu Orojenik Kuşağı'nın sınırları dahilinde yer almakta olup, söz konusu orojenik kuşağın tektonik evrimine ilişkin literatürde pek çok bilimsel çalışma gerçekleştirilmiştir. Ayaz vd. (2018) tarafından daha önceki araştırma verileri (Şenel, 2007a, b ve c; Şenel, 2008) dikkate alınarak kuşağın evrimi ile ilgili kapsamlı bir değerlendirme yapılmış olup bu bölümde ayrıntıdan kaçınmak için Perinçek (1990), Şenel (2007 a, b ve c), Şenel (2008) ile Ayaz vd. (2018)'nin çalışmaları baz alınmıştır. Buna göre GD Anadolu Orogenik Kuşağı Üst Kretase-Neojen döneminde kuzeyde Toros orojenik kuşağı ile güneyde Arabistan Levhasının arasında bölgeyi kaplayan Neotetis'in güney kolunun evrimine bağlı olarak oluşmuştur. GD Anadolu Orogenik Kuşağı yaklaşık D-B uzanımlı ve birbirlerinden kuzeye eğimli ana bindirme düzlemleri ile ayrılan kuzeyden güneye Nap Zonu, Yığılma Prizması ve Arap Platformu olmak üzere 3 ana tektonik birlikten oluşmaktadır.

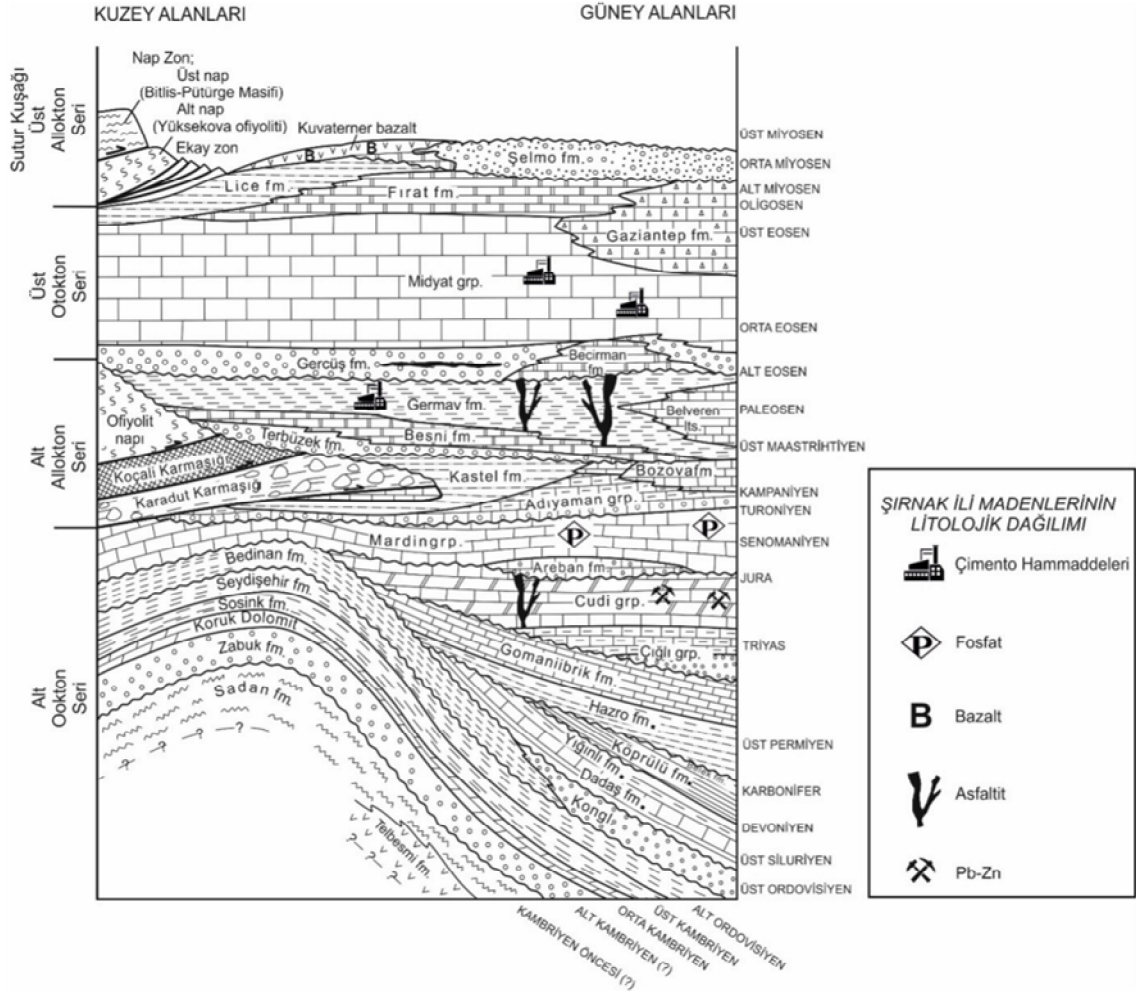
Şırnak genelinde en altta Güneydoğu Anadolu otoktonuna ait Prekambriyen-Kuvaterner yaşlı birimler bulunurken D-KD'sunda otokton birimler Çüngüş-Hakkâri napına ait allohton kaya birimleri tarafından örtülmektedir. Güneydoğu Anadolu otoktonunun temelini, Derik Grubu'na ait kumtaşı ve şeyllerle temsil edilen Sadan formasyonu ile Alt Kambriyen yaşlı kuvarsitlerden oluşan Zabuk formasyonu oluşturmaktadır. Bu temel birimler, başlıca dolomit ve kireçtaşlarından müteşekkil Alt-Orta Kambriyen yaşlı Çaltepe formasyonu ile üzerlenmekte olup, söz konusu formasyon, düşük dereceli metamorfizma geçirmiş metakırıntılılarla karakterize edilen Üst Kambriyen-Ordovisiyen yaşlı Seydişehir formasyonu ile yanal ve düşey geçişli olarak örtülmektedir. Bu birimlerin üstünde başlıca şeyl ve kumtaşlarından oluşan Üst Ordovisiyen yaşlı Bedinan formasyonu uyumsuz olarak yer almaktadır. Yer yer dolomit araseviyeli kuvarsit ve silttaşları ile temsil edilen Üst Devoniyen yaşlı Yığınlı formasyonu diğer birimlerin üzerinde açısız uyumsuz olarak yer almaktadır. Başlıca dolomit ara seviyeli kumtaşı ve şeyllerden oluşan Üst Devoniyen-Alt Karbonifer yaşlı Köprülü formasyonu ve kireçtaşlarından oluşan ve Alt Karbonifer yaşlı Belek formasyonu, Yığınlı formasyonu ile uyumlu olarak yerleşmiştir. Üst Permiyen yaşlı Gomanibrik formasyonu, kuvarsit ara seviyeleri içeren karbonatlarla temsil edilmekte olup, Belek formasyonu üzerinde transgresif bir ilişki sergilemektedir. Bunun üzerine

gelen Alt Triyas yaşı Çığlı Grubu ise, birbiriyle yanal ve düşey geçişli litolojik birimlerden oluşmaktadır. Bu birimler; şeyl, kireçtaşı ve killi kireçtaşlarından müteşekkil Uludere formasyonu, masif kireçtaşlarıyla karakterize edilen Yoncalı formasyonu ve killi kireçtaşı, şeyl, marn, dolomit ile silttaşlarını içeren Uzungöçit formasyonundan oluşmaktadır. Cudi Grubu'na ait Orta Triyas-Liyas yaşı Çanaklı formasyonu, dolomit ve kireçtaşlarından müteşekkil olup Çığlı Grubu'nu konkordan olarak örtmekte, üzerinde yer alan ve başlıca karbonatlı kayalardan oluşan Orta Jura-Alt Kretase yaşı Latdağı formasyonu ise altındaki Çanaklı formasyonu ile diskordan bir ilişki sergilemektedir. Bölgede stratigrafik olarak üst seviyelerde yer alan Alt Kretase (Apsiyen-Erken Santoniyen) yaşı Mardin Grubu, Cudi Grubu'nu uyumsuzlukla örterek litostratigrafik olarak alttan üste doğru: (1) kırıntılı kayalarla karakterize edilen Apsiyen-Albiyen yaşı Araban formasyonu, (2) şeyl ara seviyeli dolomitlerle temsil edilen Albiyen-Senomaniyen yaşı Sabunsuyu formasyonu, (3) kireçtaşı ve dolomitlerden oluşan Senomaniyen yaşı Derdere formasyonu ve (4) dolomitik kireçtaşı, kireçtaşı ve çörtlü kireçtaşları ile karakterize edilen Konisiyen-Alt Kampaniyen yaşı Karababa formasyonundan oluşan bir istif sergilemektedir. Başlıca pelajik kireçtaşı, çörtlü kireçtaşı, killi kireçtaşı, şeyl ve marnlardan oluşan birbirleriyle yanal ve düşey geçişli Karaboğaz, Ortabağ, Beloka ve Sayındere formasyonları ile temsil edilen Kampaniyen yaşı Adıyaman Grubu Mardin Grubunu uyumsuz olarak örtmektedir. Başlıca marnlardan oluşan Geç Kampaniyen-Erken Maestrihtiyen yaşı Bozova formasyonu ile kumtaşı, marn ve kilaşları ile temsil edilen Üst Kampaniyen-Alt Maestrihtiyen yaşı Kastel formasyonu Adıyaman grubunun üzerinde uyumlu olarak bulunmaktadır. Orta-Üst Maestrihtiyen-Paleosen yaş aralığına ait Germav formasyonu, başlıca şeyl, marn, kumtaşı ve miltaşı litolojileriyle karakterize edilmekte olup alttaki birimler üzerinde açısız uyumsuzlukla (diskordans) yer almaktadır. Bu birim, Alt Eosen yaşı Gercüş formasyonu ve Eosen yaşı Midyat Grubu tarafından yine uyumsuzluk ilişkisiyle örtülmektedir. Bölgedeki stratigrafik istif, Orta-Geç Miyosen dönemine tarihlendirilen ve temel olarak kırıntılı sedimentlerden oluşan Şelmo formasyonu tarafından tüm alttaki birimler üzerinde açısız uyumsuzlukla örtülmektedir. Söz konusu stratigrafik dizi, Kuvaterner yaşı volkanik (bazalt) ve sedimanter birimler (yamaç molozu, alüvyon, alüvyon yelpazeleri ve paleoakarsu çökelleri) tarafından belirgin bir uyumsuzluk yüzeyi üzerinde örtülmektedir (Şekil 4.1).

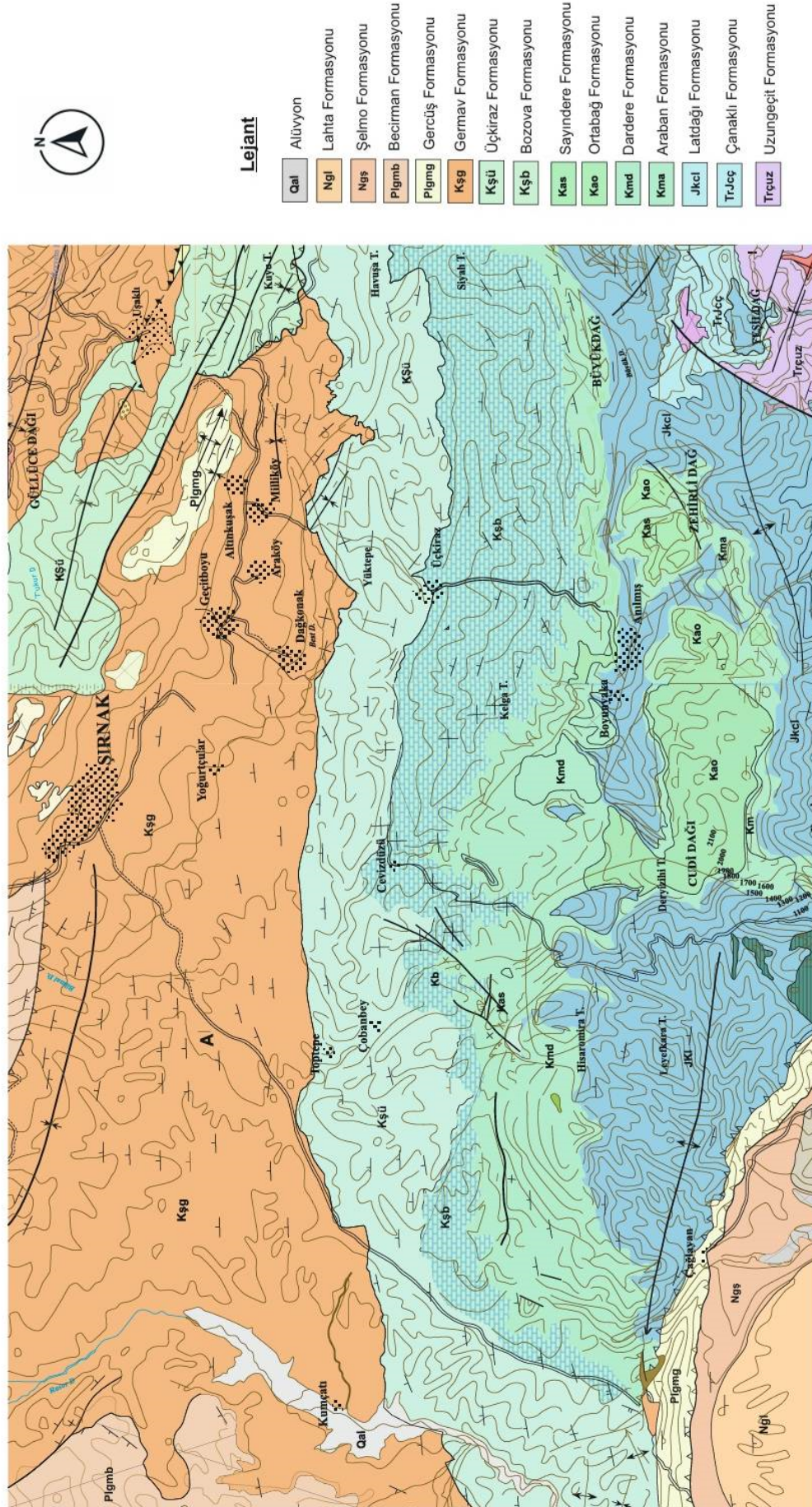
Oligosen geçiş dönemine ait kırıntılı istiflerle karakterize edilen Ure formasyonu ve Erken-Orta Eosen dönemine ait klastik sedimanter birimlerden oluşan Durankaya formasyonu'ndan müteşekkildir. Bölgenin kuzey kesimlerinde ise Bitlis-Ptrge nap sistemine ait Yüksekova napı ile birlikte Guleman ofiyoliti, Bitlis metamorfitleri ve Maden karmaşığı gibi ofiyolitik, metamorfik ve melanj birimleri yüzeylemektedir (Perinçek, 1990; Ayaz vd., 2018).

ırnak İli ve Silopi ilçesindeki asfaltit filonlarının bulunduğu bölgede Güneydoğu Anadolu Otoktonuna ait Paleozoyik'ten günümüze kadar oluşan kırıntılı ve karbonatlı kaya birimleri yüzeylemektedir. İnceleme alanında temeli oluşturan ve Perinçek (1990)'e göre Tanin Grubunun en st kesimini temsil eden st Permiyen yaşı Gomaniiibrik formasyonu başıca kırıntılı, kömürlü, marnlı ara seviyeler içeren kiretaşıları ile temsil edilmektedir. Alt Triyas yaşı ığlı Grubu, Yoncalı, Uludere ve Uzundere formasyonlarından oluşmakta olup, alttaki Gomaniiibrik formasyonu üzerinde açısal uyumsuzluk (diskordans) ile yer almaktadır. Bu birim, stratigrafik olarak üste doğru st Triyas-Alt Kretase yaşı aralığına ait Cudi Grubu'na geçiş sergilemektedir. Cudi Grubu ise anaklı ve Latdağı formasyonlarından müteşekkildir.

Bölgede stratigrafik olarak daha st seviyelerde yer alan Mardin Grubu, Albiyen-Apsiyen yaşı Areban formasyonu ve Koniasiyen-Senomaniyen yaşı Derdere formasyonundan oluşmakta olup, alttaki Cudi Grubu ile belirgin bir uyumsuzluk ilişkisi sergilemektedir. İnceleme alanında Koniasiyen-Kampaniyen yaşı Ortabağ ve Kampaniyen yaşı Sayındere formasyonları ile temsil edilen Adıyaman Grubu diğer birimleri uyumsuz olarak örterken Kampaniyen-Maestrihtiyen yaşı Bozova formasyonu, Maestrihtiyen yaşı Üçkiraz formasyonu, Maestrihtiyen-Paleosen yaşı Germav formasyonu ile temsil edilen ırnak Grubuna geçiş göstermektedir. Midyat grubuna ait Eosen yaşı Gerş formasyonu ve Paleosen yaşı Becirman formasyonları Miyosen yaşı elmo formasyonu ve Pliyosen yaşı Lahta formasyonu diğer birimleri uyumsuz olarak örtmektedir. Bütün birimler Kuvaterner- Holosen yaşı Yamaç Molozu ve alüvyonlarla uyumsuz olarak örtülmektedir (Perinçek, 1990; enel 2007 a, b, c; enel, 2008; ekil 4.2- 4.5).



Şekil 4.2. Kuzeydeki suture zonundan, güneyde Arap Plakasının kuzeyine, GD Anadolu'daki Arap Plakasının genelleştirilmiş tektono-stratigrafi kesiti ve Şırnak ili madenlerinin litolojik dağılımı (Yılmaz, 1993'ten değiştirilerek).



Şekil 4.3. Çalışma alanına ait 1/50.000 Ölçekli Jeoloji Haritası (MTA M48, M49, N48, N49 2007 yılı jeoloji paftaları değiştirilerek)

4.2. Stratigrafi

4.2.1. Tanin Grubu (Pzt)

Bölgede stratigrafik çalışmaları ilk gerçekleştiren Maxon (1937), Tanintanın Dağları'nda Triyas birimleri üzerinde konumlanan karbonatlı istifi "Tanintanın formasyonu" olarak adlandırmış ve bu birimin Jura-Kretase yaş aralığına ait olduğunu öne sürmüştür. Daha sonra Altınlı (1952) tarafından yapılan araştırmalarda, söz konusu karbonatlı birimlerin stratigrafik olarak Triyas istifinin altında yer aldığı tespit edilmiş ve Permo-Karbonifer dönemine tarihlendirilen bu birimler "Tanin formasyonu" olarak yeniden tanımlanmıştır. TPAO tarafından yapılan çalışmalarda Altınlı (1952) tarafından Permokarbonifer yaşlı birimler için kullanılan adlama Karboniferden ayrı haritalanan Permiyen yaşlı istif grup mertebesinde ele alınarak Tanin Grubu olarak adlandırılmıştır (Perinçek, 1980). Tip lokalitesini oluşturan Tanintanın Dağları'nda, söz konusu birim yaygın ve iyi gelişmiş mostralara temsil edilmektedir (Perinçek, 1990). Tanin Grubu, litostratigrafik olarak iki formasyona ayrılmış olup, istifin taban kesimini oluşturan ve baskın olarak kumtaşı ile kırıntılı sedimanter kayalardan müteşekkil birim Hazro formasyonu, üst kesimde yer alan karbonat hakim litoloji ise Gomanibrik formasyonu olarak tanımlanmıştır (Perinçek, 1990). Söz konusu birim, çalışma sahasının güneydoğusunda yer alan Hakkari bölgesinde yaygın olarak gelişmiş olan Büyük Zap antiklinalinin kuzey kanadında, antiklinalin doğu ve batı dalım zonlarında, Çukurca antiklinalinin her iki kanadında ve Cudi antiklinalinin çekirdek kesiminde stratigrafik olarak yüzylemektedir (Perinçek, 1990).

4.2.1.1. Gomanibrik formasyonu (Pztg)

Gomanibrik formasyonu, Tanin Grubu'nun üst kesiminde yer alır ve içeriğinde bol miktarda killi kireçtaşı, şeyl, marn ve kömürlü seviyeler barındırır. Bu kayalar, özellikle orta seviyelerde yüksek organik madde içerikleriyle dikkat çeker. Organik madde açısından zengin olan bu katmanlar, termal olgunlaşma sürecinde petrol ve gaz üretebilme potansiyeline sahiptir.

Nitekim bazı seviyelerde gözlenen petrol emareleri bu birimin aktif bir kaynak kaya (source rock) olarak çalıştığını göstermektedir. Ayrıca, formasyon içerisinde yer alan şeyl ve silttaşları, asfaltitlerin doğrudan köken aldığı kayalar olarak değerlendirilir (Şenel, 2007c; Perinçek, 1990).

4.2.2. Çıgılı Grubu (TRç)

Çıgılı Grubu, ilk olarak Perinçek vd. (1977) tarafından Hakkâri-Çukurca yöresinde tanımlanmış olup genelde kireçtaşı, killi kireçtaşı, marn ve şeyllerden oluşur (Perinçek, 1990; Şenel, 2007c). Bu birim, ince taneli organik madde içeren seviyeleri sayesinde hidrokarbon jenerasyonu için potansiyel kaynak kaya özellikleri taşır. Bölgedeki bazı asfaltit damarlarının oluşumunda bu Alt Triyas şeyl-marn seviyelerinin olgunlaşarak petrol üretmesi ve göç eden petrolün üst birimlerde katılaşması önemli rol oynamıştır (Hıcılmaz, 1986; Yalçın, 1982).

4.2.2.1. Yoncalı formasyonu (TRçy)

Alt seviyede yer alan Yoncalı formasyonu, kalın tabakalı oolitlik kireçtaşları ve killi kireçtaşlarıyla tanınır. Fosil içeriği düşüktür, yaşının Skitiyen olduğu belirlenmiştir (Çoruh vd., 1997). Killi kireçtaşı ve şeyl seviyeleri, potansiyel organik maddece zengin ara tabakalar içerebilir. Bu tip ince tabakalı organik seviyeler, olgunluk kazandığında sıvı petrol üretebilir ve ileride asfaltit şeklinde yüzeylenebilecek hidrokarbon göçüne katkıda bulunabilir (Tissot ve Welte, 1984). İnceleme alanının güneydoğu kesiminde Ballıkaya Köyünün batısındaki Yeşildağ civarında tipik olarak izlenmektedir.

4.2.2.2. Uludere formasyonu (TRçu)

Uludere formasyonu renkli şeyl, marn, killi kireçtaşı ve kumlu kireçtaşlarından oluşur. Fosil toplulukları Alt Triyas yaşını doğrular (Şenel, 2007c). Özellikle marn ve şeyl katmanları petrol sisteminin kaynak ve örtü kaya unsurları olarak önemli olabilir. Bölgede gözlenen asfaltit damarlarının bazıları, Uludere formasyonu'nun şeyl ve marnları içinden göç eden petrolün üst karbonatlara dolup katılaşmasıyla ilişkilendirilir (Açıkbaş, 1978).

4.2.2.3. Uzungeçit formasyonu (Trçuz)

Üst seviyeyi oluşturan Uzungeçit formasyonu ince tabakalı kumtaşı, silttaşı, marn ve killi kireçtaşlarından ibarettir. Claraia fosilleri Alt Triyas yaşını kanıtlar (Şenel, 2007c). İnce taneli marn ve şeyller, hidrokarbon üretim potansiyeli taşıyabilir. Fay zonları boyunca yukarı göç eden petrolün bu birimlerin çatlaklarında veya üzerindeki kireçtaşlarında katılaşarak asfaltit oluşturmaları mümkündür (Hunt, 1996).

4.2.3. Cudi Grubu (TRKc)

Cudi grubu Orta Triyas-Kretase yaşlı dolomit, dolomitik kireçtaşı ve kireçtaşları ile temsil edilmektedir. Cudi grubu Güneydoğu Anadolu otoktonunda çalışan pek çok araştırmacı tarafından farklı adlarla tanıtılmış olup petrol aramalarında açılan kuyularda alttan üstte doğru, Orta-Geç Triyas yaşlı Bakük, Girmeli, Çamurlu, Telhasan, Dinçer, Kozluca formasyonları ve Geç Triyas-Alt Jura yaşlı Yolaçan formasyonu olmak üzere 7 formasyona ayrılmış olup bu birimler yanal yönde Çanaklı formasyonuna karşılık gelir. (Şenel, 2007c). İnceleme alanının güneydoğusunda Ballıkaya Köyü güneyinde tipik olarak yüzeylemektedir.

Grup genellikle koyu-açık gri, siyah, bej, sarımsı gri, kahverengimsi siyah renkli orta-kalın tabakalı, masif, dolomit, dolomitik kireçtaşı ve kireçtaşları ile temsil edilmektedir. Birim içinde yer yer gastropod, lamellibrans, ekinid, mercan, ammonit, brakiyopod ve belemnit fosilleri bulunmaktadır.

Cudi grubu Skitiyen yaşlı Çığlı grubunu uyumlu olarak örterken Mardin grubu tarafından uyumsuz olarak örtülür.

Cudi grubunun kalınlığı Perinçek (1990)'ye göre 3790 m'ye ulaşmaktadır. Orta Triyas-Alt Kretase yaşlı Cudi grubu sınırlı-yarı sınırlı sığ deniz ortamında çökelmiştir.

Bu karbonatlı istif, çatlaklı rezervuar kaya niteliğindedir. Alt seviyelerden gelen sıvı petrol burada depolanarak, atmosferik etkileşim sonucu uçucu fraksiyonlarını kaybedip asfaltit fazına geçmiştir (Yılmaz ve Duran, 1997).

4.2.3.1. Çanaklı formasyonu (TRJÇ)

Çanaklı formasyonu genellikle kalın tabakalı yer yer masif dolomit ve kireçtaşları ile temsil edilmektedir. Birim ilk defa Hakkari Yüksekova ilçesi Cilo dağının güneybatısındaki Çanaklı köyündeki tip yerine atfen Kozak vd., (1977) ile Perinçek (1980b) tarafından Çanaklı formasyonu olarak adlandırılmıştır. İnceleme alanının güneydoğusundaki Yeşildağ çevresinde tipik olarak yüzeylemektedir.

Çanaklı formasyonu Çığlı grubunu uyumlu olarak örterken Latdağı formasyonu tarafından uyumsuzlukla örtülmektedir. Çanaklı formasyonu yanal olarak evaporitli karbonatlara (Bakük, Girmeli, Çamurlu, Telhasan, Dinçer, Kozluca ve Yolaçan formasyonları) geçmekte olup Yılmaz ve Duran (1997) tarafından en fazla 3533 m kalınlıkta olduğu belirtilmiştir (Şenel, 2007a).

Çanaklı formasyonunun yaşı Çoruh vd., (1997) tarafından birim içinde tespit edilen *Aulotortus termiş*, *A. biconvexa*, *Auloconus cordeuolica*, *A. multispira*, *Triadodiscus eomesozoicus*, *A. simiosus* cf. *A. pragsoides*, *A. veatroplana*, *A. cf. acula*, *A. cf. procera*, *Glomospira* sp., *Glomospirella* sp., *Daoriella* sp., *Orbitopsella* sp. ve *Megalodon* sp. fosillerine göre Orta Triyas-Liyas olarak belirlenmiştir.

Çanaklı formasyonu, kalın dolomit ve kireçtaşlarından oluşur ve sığ deniz ortamında çökelmiştir (Kozak vd., 1977). Bu karbonatlı istif, çatlaklı rezervuar kaya niteliğindedir. Alt seviyelerden gelen sıvı petrol burada depolanarak, atmosferik etkileşim sonucu uçucu fraksiyonlarını kaybedip asfaltit fazına geçmiştir (Yılmaz ve Duran, 1997).

4.2.3.2. Latdağı formasyonu (JKI)

Latdağı formasyonu, çoğunlukla dolomit ve dolomitik kireçtaşlarından oluşur. Bu kayaçlar, özellikle üst seviyelerinde yer alan masif, gözenekli ve kırıklı yapıdaki dolomitler sayesinde yüksek poroziteye sahiptir.

Bazı kesitlerde dolomitlerde hidrokarbon kokusu tespit edilmiş, bu da bu seviyelerin göç eden petrolü barındıran tuzak kayaçlar olarak görev yaptığını ortaya koymuştur.

Dolomitler aynı zamanda kimyasal kararlılıkları ve kırık sistemleriyle asfaltitlerin yukarıya çıkışı sırasında tutunduğu zonlar olabilir (Perinçek, 1980; Şenel, 2007b).

4.2.4. Mardin Grubu (Km)

Mardin Grubu, genellikle Mesozoyik yaşlı karbonatlı kayaçlarla temsil edilmekte olup, alttan üste doğru marn, kiltası, silttaşı, dolomit ve kireçtaşlarından oluşmaktadır (Perinçek, 1990; Şenel, 2007). Grup, Areban, Sabunsuyu, Derdere ve Karababa formasyonlarından meydana gelir ve kıyı çizgisi-sığ denizel ortamda çökelmiştir (Duran, 1981; Şengündüz ve Araş, 1986). Bu ortamlar, organik madde birikimi için uygun koşullar sağlayabilir. Özellikle Areban ve Derdere formasyonlarının karbonatlı ve kırıntılı kayaçları, ilerleyen süreçlerde organik maddelerin gömülmesi ve dönüşümüyle asfaltit gibi yarı-karbonlu kayaçların oluşumu için zemin hazırlayabilir.

4.2.4.1. Areban formasyonu (Kma)

Areban formasyonu, alt kesimlerinde alacalı renkli marn ve kuvars kristalli, çakıllı çapraz tabakalı kumtaşlarıyla başlar; üstte ise hematitli, limonitleşmiş sert kumtaşları görülür. Birim Apsiyen-Albiyen yaşlı olup, içeriğindeki fosiller (örneğin *Biconcava* sp., *Orbitolina* sp.) bu yaş tayinini destekler (Perinçek, 1990; Şenel, 2007c).

4.2.4.2. Derdere formasyonu (Kmd)

Derdere formasyonu, dolomit ve kireçtaşı ardalanmalarıyla temsil edilir. Özellikle platform kenarı ve gelgit düzlüğü ortamlarında çökelmiş seviyeleri, göç eden petrolün geçici olarak birikebileceği poroziteli zonlar oluşturur.

Organik madde içeriği nispeten düşük olsa da, asfaltit göçü sırasında rezervuar niteliği taşıyabilecek yapılar barındırır. Bu nedenle, özellikle üst düzeylerdeki karbonatlar ikincil depolama ortamı olabilir (Duran, 1981; Perinçek, 1990).

4.2.5. Adıyaman grubu (Ka)

Adıyaman grubu genellikle pelajik kireçtaşı, çörtlü kireçtaşı, killi kireçtaşı, şeyl, marn vb kaya türlerinden oluşur. Ancak Gossage (1956), Adıyaman çevresindeki Pliyosen-Kuvaterner yaşlı kırıntılı çökeller için Adıyaman gravel group terimini kullanmıştır. Çoruh (1991) Adıyaman çevresinde yüzeyleyen Karababa, Karaboğaz ve Sayındere formasyonları ile bu birimlerin Güneydoğu Anadolu otoktonunun doğu kısmındaki olan Ortabağ ve Beloka formasyonlarını tek bir grup altında toplamıştır. Adıyaman grubunun tip kesiti Adıyaman ilinin 32 km güneyindeki Karababa dağı çevresinde izlenir. Yılmaz ve Duran (1997) grubu birbirleriyle yanıl ve düşey geçişli Karaboğaz, Ortabağ, Beloka ve Sayındere formasyonları olmak üzere 4 formasyona ayırılır. Kampaniyen yaşlı kabul edilen grup, derin deniz-sığ deniz-bank / resifal ortamlarda çökelmiştir (Şenel, 2008).

İnceleme alanında bu birimlerden Ortabağ ve Sayındere formasyonları bulunmaktadır.

4.2.4.1. Ortabağ formasyonu (Kao)

Ortabağ formasyonu, organik maddece zengin, koyu renkli killi kireçtaşları ve marnlardan oluşur. Bu litolojik bileşim, göç eden hidrokarbonların taşınması ve yer yer geçici olarak birikmesine olanak tanır.

Formasyon içinde gözlenen glokonit, pirit ve mikrofosiller, redoks koşullarının uygun olduğunu ve organik maddenin korunarak hidrokarbonlaşma potansiyelinin arttığını göstermektedir. Bu nedenle Ortabağ formasyonu, asfaltitlerin yukarı yönlü göç ettiği ve geçici olarak yoğunlaştığı katmanlar arasında yer almaktadır (Perinçek, 1990).

4.2.4.2. Sayındere formasyonu (Kas)

Sayındere formasyonu, koyu gri renkli, orta-kalın tabakalı, killi biyomikrit dokulu killi kireçtaşlarından oluşur. Formasyon Orta-Üst Kampaniyen yaşlıdır ve fosil çeşitliliği açısından zengindir (örneğin Globotruncana türleri) (Çoruh vd., 1997; Perinçek & Çemen, 1991).

Sayındere formasyonu türbiditik özellik gösterir ve derin deniz akıntıları ile taşınmıştır. Stratigrafik olarak Mardin Grubu üzerinde uyumsuzdur ve Şırnak Grubu Bozova formasyonu ile yanal-düşey geçişlidir (Güven vd. 1991a). Perinçek (1990) tarafından bölgedeki kesitlerde 320 m, 214 m, 190 m, 178 m, 163 m, 28 m kalınlığında ölçülmüştür. Şenel (2008)'e göre kalınlığı 17-365 metre arasında değişir.

4.2.6. Şırnak Grubu (Kpş)

Şırnak grubu Üst Kretase - Paleosen yaşlı killi kireçtaşı, marn, şeyl, kumtaşı, çakıltaşlarının farklı oranlarda bir araya gelmesiyle oluşan Antak formasyonu, Kayaköy evaporit üyesi, Terbüzek çakıltaşı üyesi, Garzan, Besni, Sinan Kıradağ, Bozova, Üçkiraz, Germav formasyonlarından oluşmaktadır. İnceleme alanında Şırnak grubuna ait Bozova, Üçkiraz ve Germav formasyonları yüzeylemektedir.

4.2.5.1. Bozova formasyonu (Kşb)

Bozova formasyonu, genelde gri-yeşilimsi gri renkli kireçtaşı, marn ve şeyl araldanmasından oluşmaktadır. Periam ve Krummenacher (1958) tarafında Urfa dolayında Sayındere formasyonu ile birlikte haritalanmış ve ilk kez Gossage (1956) tarafından Adıyaman'ın güneyinde, Bozova ilçesi civarındaki Karababa Dağı yakınlarındaki tipik yüzeylemelerine atfen Bozova formasyonu olarak adlanmıştır.

İnceleme alanında Şırnak il merkezi ile Cudi dağı arasında oldukça geniş alanlarda tipik olarak izlenmektedir.

Bozova formasyonu litolojik olarak, ince-orta tabakalı, açık mavimsi gri, yeşilimsi gri, beyaz, krem renkli ve dağınık yapıdaki kireçtaşı, şeyl ve marnlardan oluşmaktadır. Kireçtaşları killi, marna geçişli yer yer çörtlü, orta-kalın tabakalıdır. Şeyller ise ince tabakalı yer yer yumruludur. Üst bölümlerinde kumlu kireçtaşı, killi kireçtaşı, silttaşı ve kumtaşı seviyeleri gözlenir. Tebeşirli ve çörtlü yapılar içermesiyle dikkat çeker ve türbiditik karakter taşır.

Stratigrafik olarak, Sayındere formasyonu ile genelde uyumlu olmakla birlikte bu ilişki tartışmalıdır. Üstte Üçkiraz ve Germav formasyonu ile uyumludur. Birim Şırnak güneyinde ölçülen bir kesitte 360 m kalınlığındadır (Perinçek, 1990).

Birim içinde belirlenen *Orbitoides medius*, *Lepidorbitoides socialis*, *Omphalocyclus macroporus*, *Globotruncana arca*, *Globotruncana Jalsostuarti*, *Globotruncana bulloides*, *Globotruncana contusa*, *Globotruncana stuarti*, *Globotruncana gansseri*, *Heterohelvc globulosa*, *Rugoglobigerina* sp. *Marssonella oxycona*, sp., *Siderolites calcitropoides*, *Hellenocycli-na* sp. fosillerine göre oluşum yaşı Kampaniyen Maestrihtiyen olarak belirlenmiştir (Perinçek, 1990). Güven vd., (1991a) ise birimin Orta?-Geç Kampaniyen yaşlı olduğunu belirtmişlerdir (Şenel, 2008).

Fosil içeriği, özellikle planktonik ve bentik foraminiferler bakımından zengin olup, derin denizel ortamda oluşmuştur.

4.2.5.2. Üçkiraz formasyonu (Kşü)

Üçkiraz formasyonu genellikle gri renkli, yer yer siltli ve killi, konkav kırılma yüzeyli kırılmalı, orta-kalın tabakalı kireçtaşları ve marnlarla temsil edilmektedir. Birim ilk kez Şırnak ili Cudi Dağının kuzey kanadındaki Üçkiraz köyü çevresindeki yüzeylemelerine atfen Kozak vd. (1977; Perinçek, 1980'den) tarafından adlandırılmıştır (Perinçek, 1990). İnceleme alanında Şırnak il merkezinin güneyi ve Cudi dağı arasında yayılım sunmaktadır.

Üçkiraz formasyonunun baskın kaya türleri orta-kalın tabakalı, grimsi beyaz aşınma yüzeyli, gri renkli, kırılma yüzeyi gri, koyu gri, yeşilimsi gri, mavimsi gri renkli killi yer yer siltli, konkav kırılma yüzeyli killi kireçtaşı ve marn aralanmasından oluşur. Kireçtaşlarının dayanımı marnlardan daha yüksektir. a göre

Bozova formasyonu üzerinde uyumlu olarak yer alan Üçkiraz formasyonu üstte Germav formasyonu tarafından uyumlu olarak örtülür. Birimde Perinçek

(1990) tarafından yapılan ölçümlerde 300-460 m kalınlık ölçülmüş olup Üçkiraz köyünde n fazla 459 m kalınlık gösteren birim yanal yönde özdeş yaşlı kırıntılı ya da karbonatlara geçerler.

Birim içinde belirlenen *Globotruncana stuarti*, *Globotruncana arca*, *Globotruncana contusa*, *Globotruncana gansseri*, *Globotruncana conica*, *Globotruncana bulloides*, *Globotruncana falsosturati*, *Globotruncana gagnebini*, *Omphalocyclus macroporus*, *Heterohelvc globulosa*, *Rugoglobigerina* sp. fosillerine göre yaşı Orta Maestrihtiyen olarak kabul edilmiştir (Perinçek, 990).

Birimi oluşturan kayaçların litolojik özellikleri ve içinde bulunan bentik fosillere göre açık veya derin deniz ortamında çökelmiştir (Güven vd., 1991a).

Üçkiraz formasyonu GD Anadolu otoktonunda çalışan Perinçek (1978a, 1980b, 1989, 1990), Abbot vd.(1985), Güven (1988, 1991a, b) ve Perinçek vd.. (1991) tarafından tanımlanmıştır.

4.2.5.3. Germav formasyonu (Kşg)

Germav formasyonu Üçkiraz formasyonu ile geçişli iken, Gercüş formasyonu ile alt ilişkisi bazı alanlarda uyumlu görünümlü ancak genel olarak uyumsuzdur. İstif Perinçek (1990)'e göre doğudan batıya kalınlaşmakta olup kalınlığı 370-1745 m arasında değişir ve yanal yönde farklı formasyonlara geçiş yapar.

Fosil içeriği bakımından oldukça zengin olup içerisinde radyolarya, bentik ve planktonik foraminifer, alg, ekinid, bryozoa, gastropod, orbitoides ve mercanlar belirlenmiştir (Şenel, 2008). Birim içinde tespit edilen *Globotruncana stuartiformis*, *Rugoglobigerina rotundata*, *Globotruncana calcarata*, *Gavelinopsis* sp. *Globotruncana cf mayorensis* *Globotruncana fornicata*, *Globotruncana stuartiformis*, *Orbitoides medius*, *Heterohelvc* sp., *Hedbergella* sp., *Gumbelina* sp., *Siderolites* sp., *Robulus* sp., *Pseudotextularia* sp. *Cibicidiidae* *Globorotalia pseudobulloides* sp., *Robulus* sp., *Gyrochina* sp., *Cibicides* sp., *Bathysphon* sp., *Lenticula* sp., *Rotaliidae*, *Globigeriniidae*, *Miliolidae* fosillerine göre yaşı Üst Kretase-Alt Paleosen olarak kabul edilmiştir (Çoruh ve diğ., 1997).

Çökelme ortamı olarak derin deniz, denizaltı yamaçları, denizaltı yelpazeleri, deltalar ve akarsu ortamları önerilmektedir (Güven ve diğ., 1991a).

4.2.7. Midyat Grubu (Teom)

Midyat grubu, Güneydoğu Anadolu otoktonunda taban kesimlerinde kırıntılıların olduğu Eosen yaşlı karbonatlı kayaçlarla temsil edilmektedir. Maxson (1936) tarafından Midyat kireçtaşı olarak adlandırılan birim ilk kez Gossage (1956) tarafından tip kesitinin bulunduğu Mardin ili Midyat ilçesi yakınlarındaki yüzeylemelerine atfen hem kırıntılı hem karbonatları kapsayacak şekilde Midyat Grubu olarak adlandırılmıştır. İnceleme alanında Şırnak il merkezinin kuzeydoğusunda ve ilin batısında yayılım göstermektedir.

Midyat Grubu, Eosen yaşlı karbonatlı ve kırıntılı kayaçlardan oluşur ve genellikle akarsu-alüvyon yelpazesi, sığ epirik deniz, şelf önü, yamaç ve derin deniz ortamlarında çökelmiştir (Duran vd., 1988). Grup içindeki Gercüş, Kavalköy, Hoya, Gaziantep ve diğer formasyonlar, pelajik ve sığ denizel koşullarda organik madde birikimini mümkün kılar. Bu koşullar, uygun sıcaklık ve basınçla birleştiğinde, organik maddelerin yarı-karbonlu kayaçlara (asfaltit) dönüşümünü tetikleyebilir. Midyat Grubu, bölgedeki asfaltit oluşumu için önemli potansiyel sağlayan jeolojik birimler arasında yer almaktadır.

Çökelme ortamı, akarsu-alüvyon yelpazesi, sığ epirik deniz, şelf önü, yamaç, yamaç ötesi ve derin deniz gibi çeşitli ortamlarda gelişmiştir (Duran vd., 1988, 1989).

4.2.6.1. Gercüş formasyonu (Plgmg)

Birim, Germav formasyonu üzerinde yer yer uyumlu, yer yer uyumsuz, Koçali ve Karadul napları üzerinde ise uyumsuz olarak yer alır. Becirman formasyonu ile olan ilişkisi geçişlidir. Üstte Hoya formasyonu tarafından uyumlu olarak örtülür.

Gercüş formasyonu, karasal-kıyı alanlarında kırıntılı kayaçlardan oluşur ve yer yer ince dolomit ve jips ara seviyeleri içerir (Şenel, 2008). Formasyonun gölgesel ve kıyı ortamları, organik madde birikimi için elverişli olup, yeterli gömülme ve termal rejim altında asfaltit oluşumuna katkıda bulunabilir (Perinçek, 1990). Bu birimin karbonatlı ara seviyeleri, organik maddeyi koruyabilen lokal ortamlar yaratır.

Kalınlığı 0-750 metre arasında değişen Gercüş formasyonu, yanal yönde denizel Hoya, Kavalköy gibi formasyonlara geçer.

4.2.6.2. Becirman formasyonu (Plgmb)

Becirman formasyonu genellikle farklı kalınlıkta krem, kirli beyaz, pembe, yeşilimsi gri, açık gri renkli, kireçtaşı, killi kireçtaşı, şeyl ve marnlarla temsil edilmektedir. GD Anadolu’da araştırmalar yapan Schmidt (1935a) tarafından Mardin üst kireçtaşı, Jordan (1936) tarafından Dolomitik kireçtaşı, Tromp (1940) tarafından Kireçtaşı-marn fasiyesi, Ortynsky (1947) tarafından Algli kireçtaşı ve Badglay (1957a, b) tarafından Gercüş formasyonu Becirman kireçtaşı üyesi olarak adlandırılmıştır. Birim ilk kez Batman ili Gercüş ilçesinin 20 km kuzeydoğusundaki Becirman köyü yakınlarında izlenen tip yerine atfen Maxson (1936) tarafından Becirman kireçtaşı olarak adlandırılmıştır.

Becirman formasyonu krem, kirli beyaz, pembe, yeşilimsi gri, açık gri renkli, ince- orta-kalın tabakalı kireçtaşı, killi kireçtaşı, şeyl ve marnlardan oluşur. Formasyon içinde yer yer siltli ve kumlu seviyeler izlenir. Bazı alanlarda Becirman formasyonunun egemen kaya türünü, algli, mercanlı, yer yer dolomitik, yer yer oolitik kireçtaşları oluşturur. Bu karbonatlar arasında yer yer kırmızı, alacalı renkli silttaşı ve şeyller izlenir. Bazı alanlarda birim içinde kumtaşı, dolomit ve kumlu dolomit gibi kayatürleri de bulunur. Dolomitlerle birlikte anhidrit- jips seviyeleri görülebilir (Şenel, 2007a).

Germav formasyonu üst üyesi üzerinde uyumlu ve Germav formasyonu üst üyesi ile yanal geçişli olan birim, üstte Midyat Grubu-Gercüş formasyonu tarafından uyumsuz olarak örtülür.

Kalınlığı 0-250 metre arasında değişir ve yanal yönde Germav formasyonunun üst seviyelerine geçer.

Yer yer alg, mercan, gastropod, ekinid vb kavkı kırıntıları kapsayan birim, *Alveolina* sp., *Opertorbitolites* sp., *Dictyoconus* sp., *Kathina* sp., *Lockhartia* sp., *Mardinella shirazensis*, *Miscellanea cf. primitiva*, *Ophthalmidium* sp., *Planorbolina* sp., *Rotalia* sp., *Sakesaria* sp. gibi fosillere göre Geç Paleosen yaşlıdır (Güven ve diğ., 1988, 1991a). İçerdiği fosiller ve litolojik özelliklerine göre formasyon sınırlı sığ deniz ortamında çökelmiştir (Güven ve diğ., 1991a).

4.2.8. Şelmo formasyonu (Ngş)

Şelmo formasyonuna ait kaya türleri genelde karasal ortam koşullarını yansıtmaktadır. Yer yer yoğunlaşan ince kırıntılılar ise plaj kumları-geçiş- gel/ git düzlüğü ve playa ortamlarında çökelmiştir.

Şelmo formasyonu, kırıntılı ve çamurtaşı seviyeleriyle karasal ortamlarda çökelmiş olup, yer yer ince kırıntılı seviyeler organik madde birikimine uygun ortamlar sunabilir (Bolgi, 1961; Şenel, 2008). Bu formasyonda lokal olarak biriken organik madde, ilerleyen süreçlerde uygun gömülme koşullarıyla asfaltit oluşumunu destekleyebilir.

4.2.9. Lahta formasyonu (Ngl)

Lahta formasyonu genellikle konglomera, kumtaşı, silttaşı ve çamurtaşlarından oluşmaktadır. Kozak vd.(1977; Perinçek, 1980b'den) tarafından tanımlanan birim, Cizre doğusunda oldukça geniş alanlarda yayılım göstermektedir.

4.2.10. Taraça/Yamaç Molozu (Eski Akarsu Çökelleri) (Qym)

Eski Dicle nehrine ait çökellerden oluşan birim, gevşek tutturulmuş konglomera, kumtaşı, silttaşı ve çamurtaşları ile temsil edilmektedir.

4.2.11. Alüvyonlar (Qal)

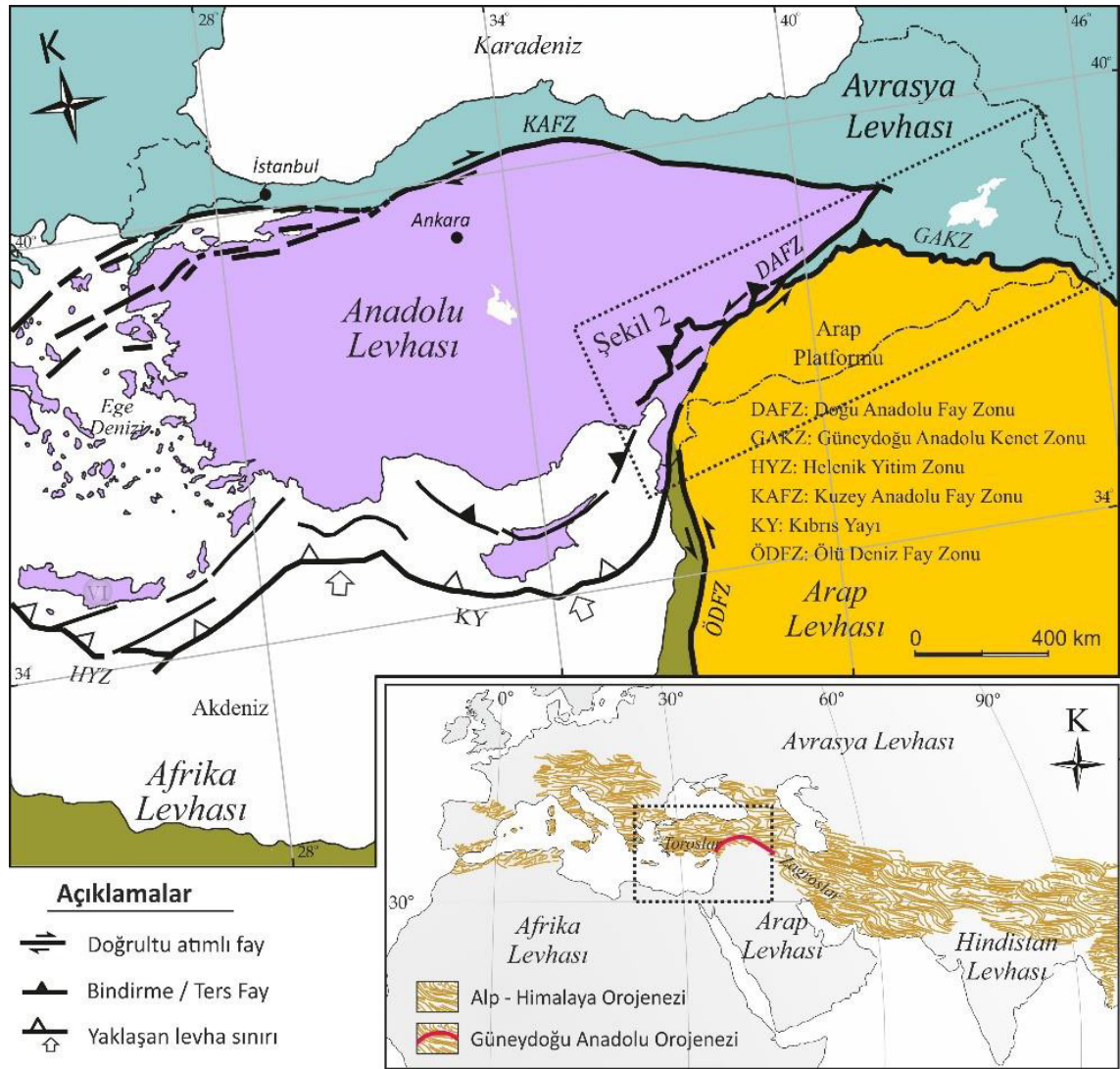
Akarsu yataklarında, çöküntü alanlarında ve ovalarda birikmiş çakıl, kum, çamur birikintileridir.

4.3. Yapısal Jeoloji

Güneydoğu Anadolu Bölgesi, Alp-Himalaya Orojenezi'nin bir parçası olup Avrasya, Afrika ve Arap Levhalarının tektonik etkileşim alanında yer almaktadır.

Bu kesim, Güneydoğu Anadolu Orojenezi (GAO) olarak adlandırılmaktadır (Yılmaz, 1993; Korucu ve Işık, 2023). GAO, levha çarpışmasına bağlı aktif dağ kuşağı gelişimini yansıtan önemli bir örnek teşkil etmektedir. Söz konusu orojenez, Geç Kretase'den Senozoyik'e kadar süren süreçte Avrasya ve Afrika/Arap Levhalarının birbirine yaklaşması, Neotetis Okyanusu'nun güney kolunun subduksiyonu (dalma-batma süreci-yitimi), okyanusal kabuğun obduksiyonu (üzerlekleme;bindirme) ve nihayetinde kıtasal çarpışma sonucu gelişmiştir (Rigo de Righi ve Cortesini, 1964; Perinçek, 1980; Şengör ve Yılmaz, 1981; Yılmaz, 2019; Korucu ve Işık, 2023).

Bölgede, Geç-Orta Miyosen'de Neotetis Okyanusu'nun tamamen kapanması, kenet kuşağı boyunca Arap ve Avrasya Levhalarının yoğun deformasyon geçirmesine yol açmıştır. Bu süreçte, yaygın ters faylar, bindirmeler, kıvrımlar ve bunlarla ilişkili havza gelişimleri karakteristik yapısal unsurlar olarak öne çıkmaktadır (Şengör ve Yılmaz, 1981; Korucu ve Işık, 2023). Günümüzde de devam eden bölgesel sıkışma rejimi, kabuk kalınlaşması, topografik yükselim ve Türk-İran Platosu'nun oluşumuyla sonuçlanmış; aynı zamanda doğrultu atımlı fay sistemleri ve neotektonik yapıların gelişimini tetiklemiştir. (Korucu ve Işık, 2023; Şekil 4.6).

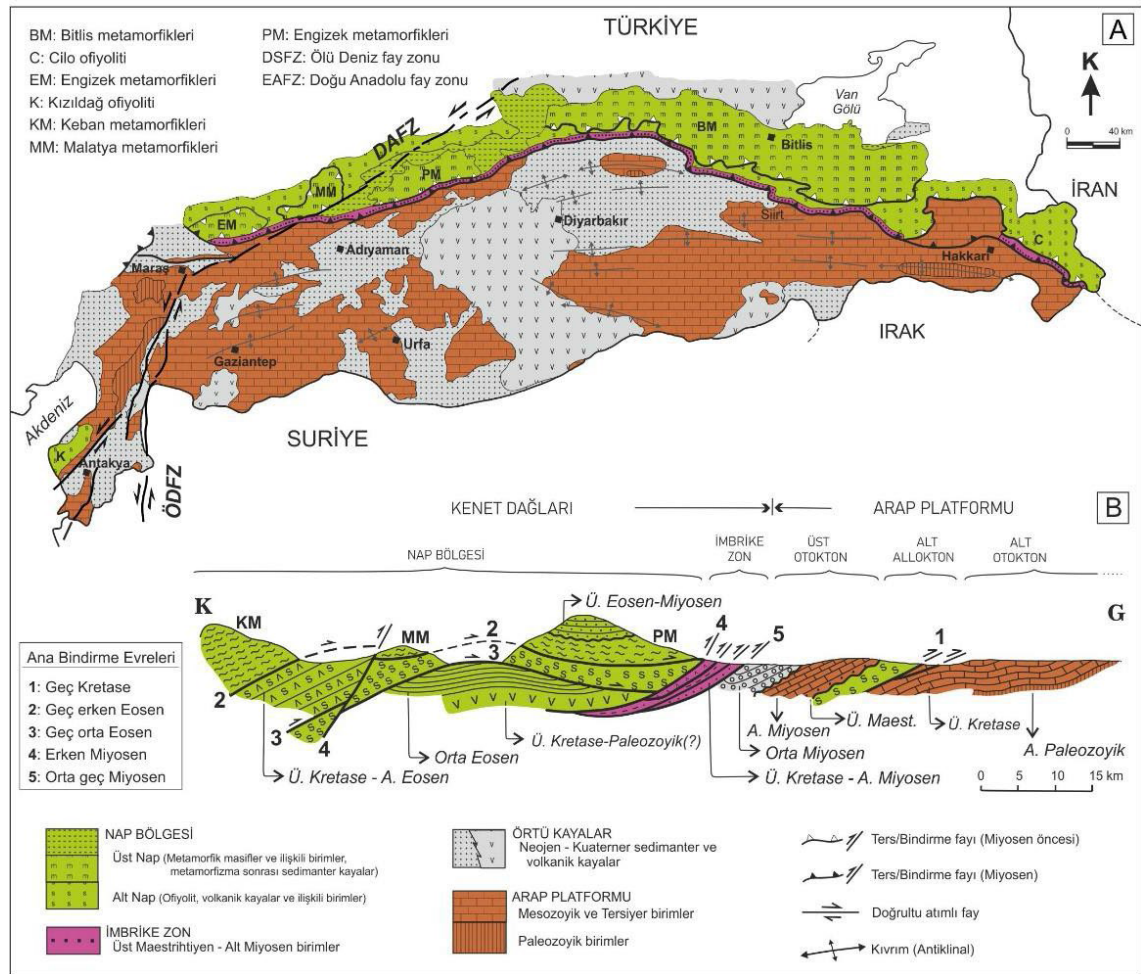


Şekil 4.6. Türkiye ve yakın çevresinin levha geometrisini gösterir harita. İç harita Alpin-Himalaya Orojenezinin genel yayılımını göstermektedir (Korucu ve Işık, 2023; Işık vd., 2014; 2021'den yeniden çizilmiştir).

Güneydoğu Anadolu Bölgesini etkileyen önemli tektonik yapılar, Afrika ve Arap plakalarının kuzeye doğru kayarak Avrasya levhasını sıkıştırması ve “Bitlis-

Zağros Kenet Kuşağı” boyunca Avrasya plakasının altına dalarak çarpışmaları sonucu (Şengör, 1980) kuzey-güney yönlü sıkışma rejimi altında oluşmuşlardır. Şırnak ilinde, kuzey-güney doğrultuda gelişmiş sıkışma rejimine bağlı olarak yaklaşık doğu-batı eksen gidişli antiklinal ve senklinaller ile güneye doğru bindirmeler gelişmiştir (Şekil 4.7).

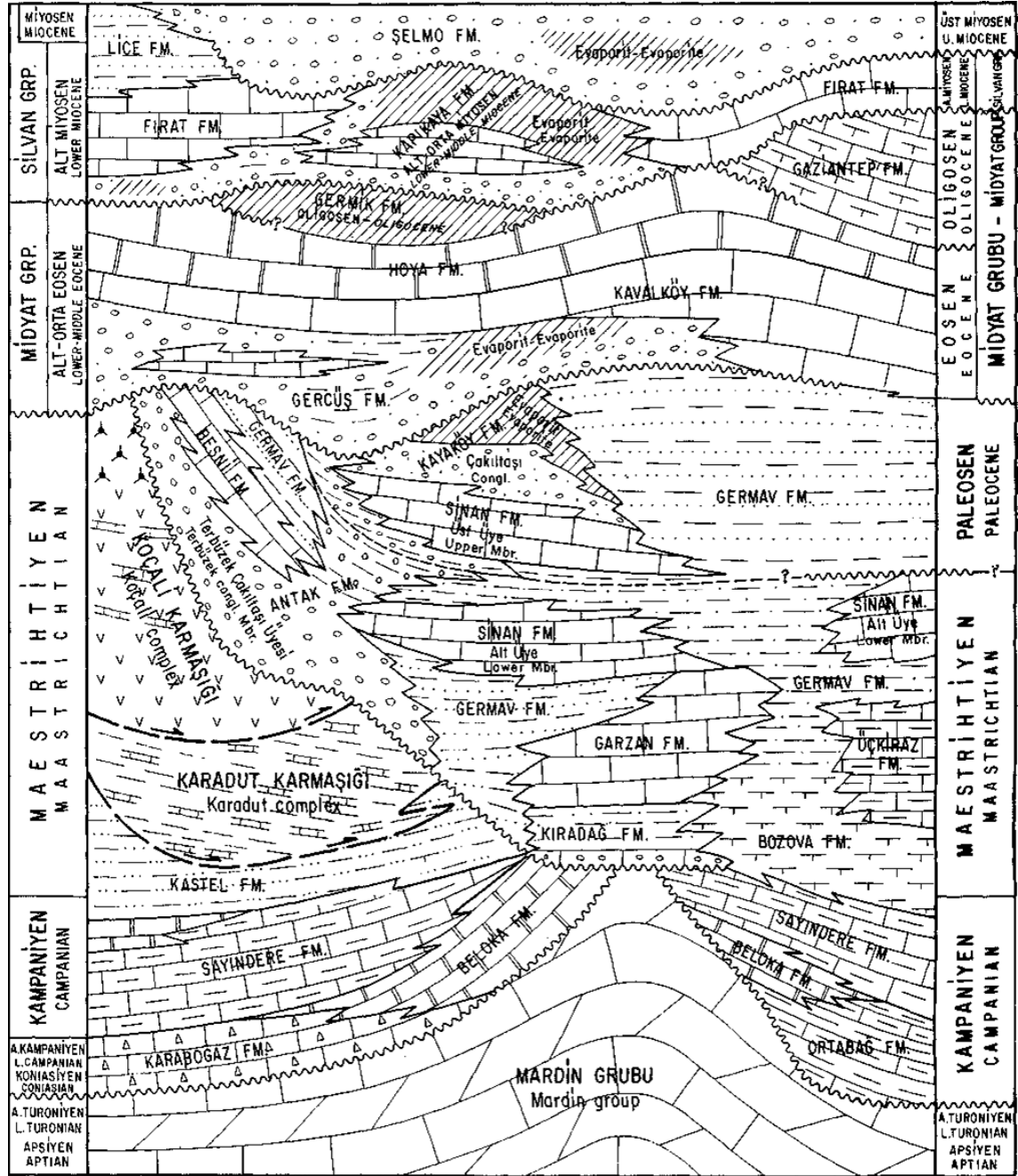
Güneydoğu Anadolu Kampaniyen Erken Maestrihtiyen döneminde kuzeyden güneye ilerleyen nap kütlelerinin etkisinde kalmıştır. Bu dönemde Koçalı karmaşığı ile birlikte Karadut karmaşığı ve Hezan grubu farklı tektonik dilimler halinde bölgeye yerleşmiştir. Cilo Dağları dolayında yüzeyde bulunan Üst Kretase nap cephesi İnceleme alanının bulunduğu Şırnak ili güneyinde Midyat grubu, sonra Miyosen napı ile bölgeye yerleşen allokton birimler altında kalmaktadır (Perinçek, 1990; Korucu ve Işık, 2023).



Şekil 4.7. (a) Güneydoğu Anadolu Orojenezinin sadeleştirilmiş bölgesel jeoloji haritası. (b) Orojenezin yapısal kuşaklarını gösterir jeolojik enine kesit. (Harita ve kesit Yılmaz, 1993'den düzenlenerek yeniden çizilmiştir, Korucu ve Işık, 2023'ten).

Geç Kretase döneminde bölgeyi etkileyen tektonik olayların etkisiyle nap cephesinin güneyinde kıvrımlanma ve yükselme olmuştur. Yükselim alanı üzerinde ve dolayında karasal veya sığ denizel ortam koşullarında Kıradağ formasyonu gelişirken

aynı dönemde derin denizel Germav formasyonu çökelmiştir. Bölge Erken Eosen öncesinde muhtemelen Orta Paleosen döneminde diğer bir tektonik fazın etkisinde kalmış olup Germav formasyonu ve altındaki otokton istif kıvrımlanmıştır (Şekil 4.8). Beytüşşebap batısındaki mostrada kıvrımlı Jura Kretase istifi Midyat grubu tarafından açılı uyumsuzlukla örtülmektedir. Olası Orta Paleosen yaşlı olan bu kıvrımlar KB-GD doğrultuludur. Oligomiyosen döneminde Şırnak GD'da D-B doğrultulu kıvrım yapıları hakim olmuş ve Cudi Antiklinali bu dönemde oluşmuştur (Perinçek, 1990).



Şekil 4.8. Güneydoğu Anadolu otokton kaya stratigrafi birimleri korelasyon çizelgesi (Perinçek, 1990)

Günümüzde de devam eden bu sistem içinde bindirme fayları, makaslama fayları, normal faylar ve içine asfaltit filonlarının yerleştiği büyük açılma çatlakları,

kıvrım yapıları (Cudi Dağı Antiklinali) gelişmiştir. Bölgede doğu-batı doğrultulu faylar, ters fay veya bindirme karakterli, kuzey-Güney doğrultulu faylar ise normal eğim atımlı faylar ve açılma çatlakları şeklinde gözlenmektedir (Perinçek, 1990).

Şırnak asfaltitleri bölgesinde güneyde BKB-GGB doğrultulu Cudi Bindirmesi ve aynı doğrultudaki Cudi Antiklinali büyük yapısal unsurlar olarak göze çarpar. Cudi Antiklinali kuzey kanadında asfaltit filonlarının yerleştiği büyük açılma çatlak sistemi doğrultularının yönü KD-GB'dır. Avgamasya Filonu yakın çevresini dikkate aldığımızda bölgenin tektonik açıdan sakin olduğu görülür. Formasyonlardaki tabaka eğimleri 8-15° Kuzey yönündedir.

Sahada yapılan arazi etüt ve incelemeleri neticesinde, Germav ve Üçkiraz formasyonlarında, filonların yerleştiği açılma çatlakları dışında, özellikle Üçkiraz formasyonunda yoğun eklem çatlaklarına rastlanmıştır. Ana eklem düzlemlerinin yönü kabaca K 10-20 D, K 75-85 B olarak ölçülmüştür. Eklem düzlem eğimleri 65-75° arasındadır.

Avgamasya Filonunun boğaz olarak tabir edilen kesiminin güneyinde K 18 B doğrultulu, Avgamasya Filonuyla 70°lik açı yapan dik bir asfaltit filonu gözlenmiştir. Filon kalınlığı yaklaşık 2 m kadardır. Bölgedeki genel filon doğrultularına aykırı duruşuyla ilginçtir.

4.4. Asfaltit Filonları ve Avgamasya Asfaltitleri

Asfaltit, petrol kökenli katı bir yakıt olup yüksek yumuşama noktasına sahip doğal asfalt benzeri bir maddedir. Asfaltit maddelerin yerleşimi petrolün göçüne neden olan; hidrostatik basınç, gaz basıncı, kapilarite, gravitasyon ve sıcaklık gibi etkenlere bağlıdır. Hareket halindeki sıvı veya yarı sıvı asfalt, çeşitli kırık ve çatlakları izleyerek yüzeye kadar çıkabilir. Doğada bulunuş şekilleri çeşitli olan asfaltit, Şırnak bölgesinde fay ve çatlak dolguları biçimindedir (Lebküchner vd.,1972; Şengüler, 2008).

Türkiye'de önemli iki asfaltit sahası bulunmakta olup her ikisi de Güneydoğu Anadolu Bölgesi'nde Cudi dağının güney ve kuzeyinde yer almaktadır. Filon toplulukları şeklinde olan bu sahalardan biri Cudi dağının kuzeyinde ve Şırnak il merkezinin güneyinde, ikincisi ise Şırnak İli Silopi ilçesinin kuzeydoğusunda ve Cudi dağının güneyinde bulunmaktadır. GD Anadolu Bindirme Kuşağı'nın güneyinde, Arap plakasının kıvrım kuşağı üzerinde yer alan antiklinal yapılar, Türkiye'nin en önemli petrol sahalarını oluşturmaktadırlar. Bu antiklinal yapılardan bazıları tektonik hareketler

sonunda kırılmış ve Şırnak-Silopi yöresinde gözlendiği gibi önemli asfaltit filonlarını oluşturmuşlardır (Ayaz vd., 2018).

Bölgedeki asfaltitlere yönelik çalışmalara MTA tarafından 1964 yılında başlanılmış ve değişik dönemlerde 1988 yılına kadar jeolojik etütler ve TKİ'nin talebi üzerine rezerv tespitine yönelik sondajlı aramalar şeklinde devam etmiştir (Ayaz vd., 2018). Şırnak'ın güneyinde MTA tarafından araştırılan asfaltit filonları Segürek, Avgamasya, Seridahlı, Nivekara, Milli, İspindoruk, Karatepe ve Rutkekurat filonlarıdır. Silopi ilçesinin kuzeydoğusunda ise Üçkardeşler, Harbul ve Silip filonları olmak üzere 3 adet asfaltit filonu vardır. Ayrıca Şırnak İli Uludere ilçesinin güneydoğusunda Ortasu asfaltit filonu yer almaktadır (Şengüler, 2008; Şekil 4.9 ve Şekil 4.10).

Çizelge 4.1. Şırnak asfaltit filonlarının rezerv bilgileri ile analiz sonuçları (Şengüler, 2008).

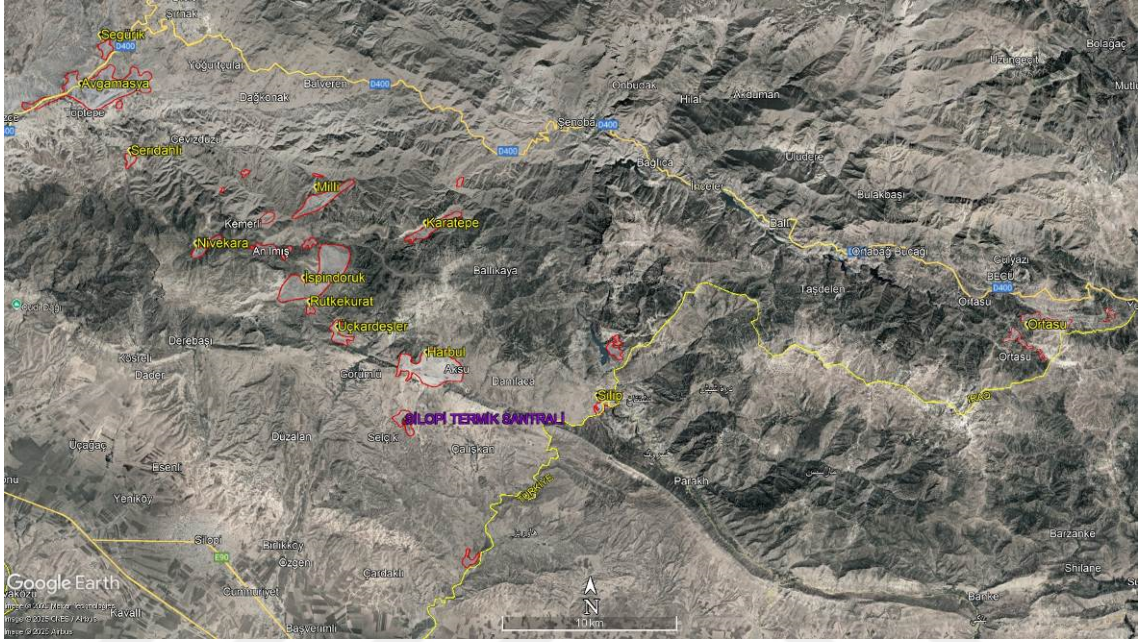
İlçe/Saha		Rezerv (*1000 ton)					Özellik			
İlçe	Saha	Görünür	Muhtemel	Mümkün	Toplam	İşletilebilir	Nem %	Kül %	S %	AID Kcal/kg
Silopi	Harbul	17.914	7.851	-	25.765	7.000	0.88	35.93	8.23	5536
	Silip	3.071	1.335	-	4.406	-	1.35	36.25	8.10	5485
	Üçkardeşler	9.472	10.881	-	20.352	-	1.21	35.55	7.70	5474
Merkez	Avgamasya	7.481	673	-	8.154	7.000	0.47	39.68	5.64	4191
	Milli	2.000	2.900	1.600	6.500	-	2.13	47.38	4.01	3400
	Karatepe	500	2.000	2.500	5.000	-	3.58	42.56	3.48	3695
	Seridahlı	3.534	1.254	1.279	6.067	-	0.22	46.72	4.92	3174
	Nivekara	300	1.000	700	2.000	-	5.40	42.72	5.83	3400
	İspindoruk	100	500	500	1.100	-	0.33	51.93	4.76	3300
	Segürik	550	450	-	1.000	-	-	38.80	6.36	4500
	Rutkekurat	-	-	1.000	1.000	-	3.60	42.12	4.40	3250
Uludere	Ortasu	551	53	-	604	-	0.40	46.03	5.08	2876
TOPLAM		45.473	28.897	7.579	81.949	14.000				

Şırnak'ın güneyindeki asfaltit filonlarının büyük bir bölümü Geç Kretase-Paleosen yaşlı Germav formasyonu içinde yer alırken az bir bölümü de Mesozoyik yaşlı Cudi karbonatları içerisindedir. Silopi'nin kuzeydoğusundaki asfaltit seviyeleri ise Gercüş formasyonu içerisindedir (Ünalın, 1990; Ayaz vd., 2018; Şekil 4.11).

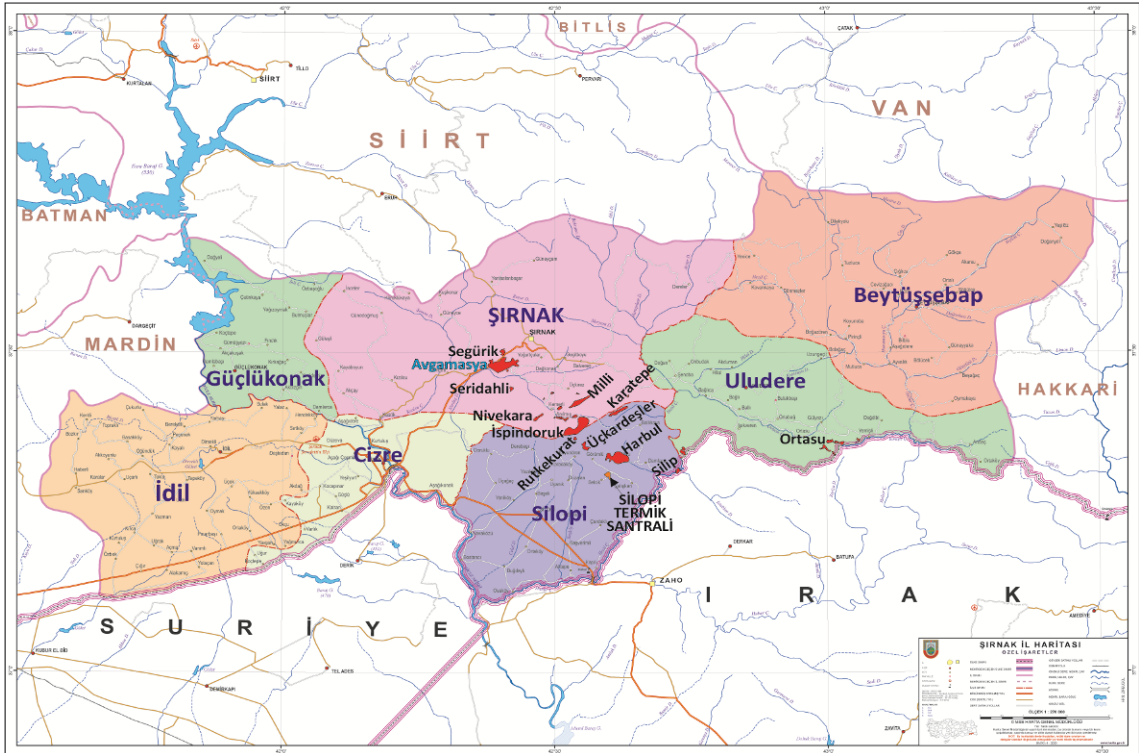
Türkiye'nin sahip olduğu MTA tarafından hesaplanan toplam asfaltit rezervi yaklaşık 82 milyon tondur (Çizelge 4.1; www.mta.gov.tr). Şırnak bölgesindeki en büyük asfaltit rezervleri sırasıyla Silopi-Harbul (25.8 milyon ton), Silopi-Üçkardeşler (20.4 milyon ton) ve Şırnak-Avgamasya (14 milyon ton) filonlarıdır (Şengüler, 2007; Hiçyılmaz ve Altun, 2006).

Şırnak bölgesinde bulunan asfaltitler daha çok ısıtma ve elektrik üretim amaçlı kullanılmaktadır. MAPEG kayıtlarına göre 2018 yılında Şırnak İlinde 21 adet asfaltit ruhsatı bulunmaktadır. MTA Genel Müdürlüğü'nün yarma ve sondaj açarak genel

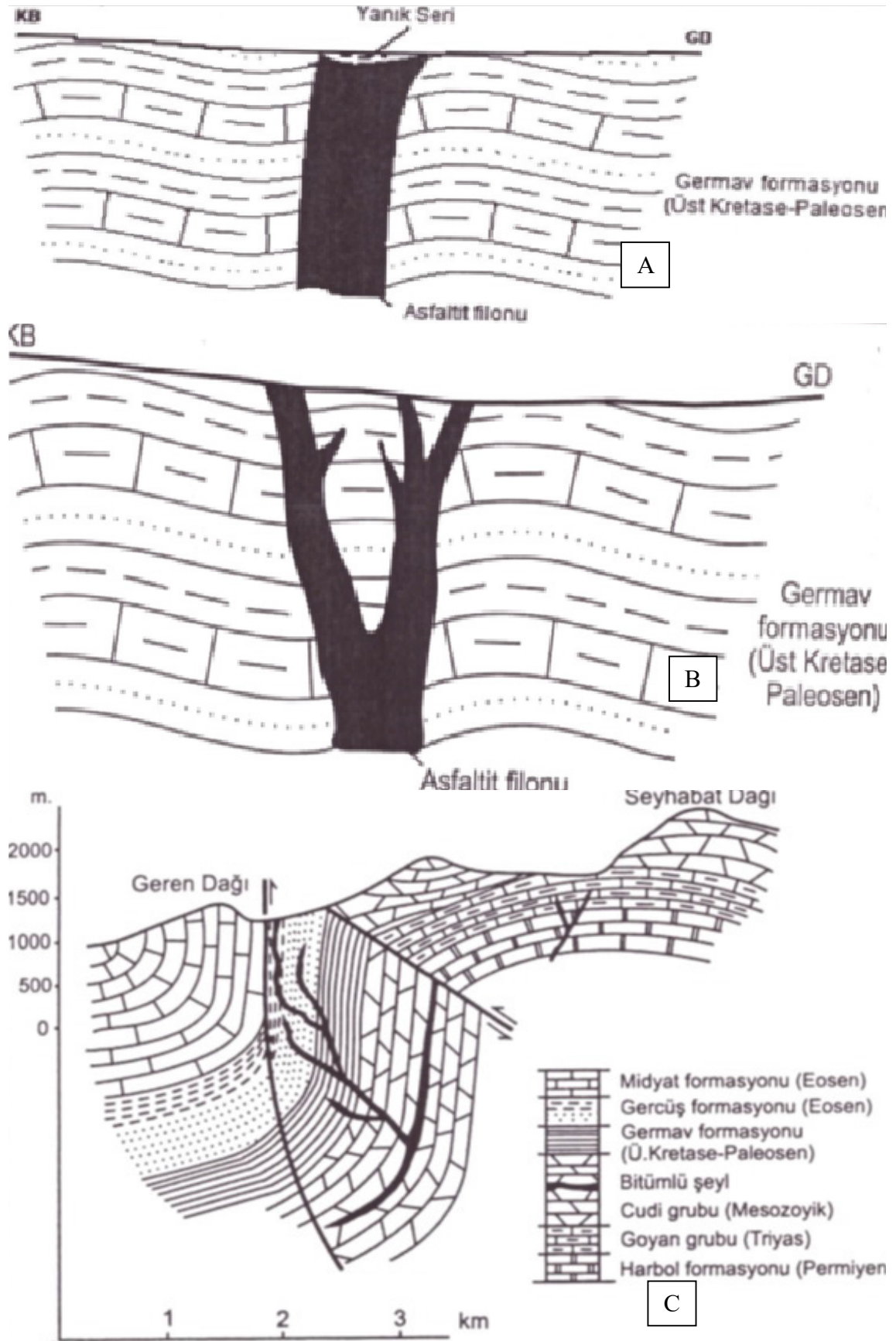
özelliklerini araştırdığı 12 asfaltit sahasının dışında Şırnak Merkezi ile Silopi ve Uludere ilçesi arasında onlarca asfaltit zuhuru bulunmaktadır (Şekil 4.8 ve 4.9). Bölgede Yöresel yakıt ihtiyaçlarının karşılanması ve başka nedenlerle belgesiz olarak işletilen ve sık sık ölümlü kazaların da yaşandığı çok sayıda asfaltit ocağı vardır. Özel Sektörün işlettiği asfaltitlerin gerçekçi ve güvenilir rezerv ve özellikleri bilinmemektedir (Tören, 2018).



Şekil 4.9. Şırnak ili asfaltit yataklarının uydu görüntüsü üzerindeki konumları (Google Earth, 2025)



Şekil 4.10. Şırnak ili asfaltit yataklarının dağılımı (Mülki İdari Harita www.harita.gov.tr, 2025)



Şekil 4.11. Şirnak ili asfaltit yataklarının ait şematik jeolojik kesitler (Ünalın, 1990) a) Avgamasya filonu, b) Cudi Dağı, c) Geren ve Seybahat dağlarından geçen kesit (Lebküchner vd., 1972)

4.4.1. Şırnak İl merkezi asfaltit yatakları

Şırnak il merkezinin güneyinde bulunan asfaltit yatakları kuzeyden güneye Segürik, Avgamasya, Seridahli, Nivekara, Milli, İspindoruk ve Rutkekurat asfaltit filonlarıdır.

4.4.1.1. Segürik filonu

Segürik filonu Şırnak İl merkezinin 3.5 km güneybatısında yer almaktadır (Şekil 4.12. Filona ait çalışmalar 1964-1965 yıllarında prospeksiyon, 1966-1967 yıllarında 1/2000 ölçekli haritasıyla 10 adet yarma, 25 adet sığ sondaj, 3 adet dik ve 4 adet eğimli sondaj yapılmıştır. 1988 yılında TKİ Kurumu adına MTA tarafından ücretli olarak 12 adet sondaj gerçekleştirilerek toplam sondaj sayısı 44 olmuştur. Filon çatlak boyu 800 m olup, filon çatlak genişliği 0.50-10.00 m arasında değişmektedir. Segürik asfaltitleri büyük gözenekli ve açık gri renklidirler (Demirci vd., 2019) Hesaplanan rezervi 1.000.000 tondur (Şengüler, 2007; Ayaz vd., 2018). Asfaltitin R_{max} değeri % 0.66 dır. Boşluklarını çoğunlukla % 14 oranındaki pirit doldurmaktadır. Kil ve inorganik madde oranı % 6 ve ısı değeri 4500 kcal/kg dır (Kavak vd., 2010; Ayaz vd., 2018; Demirci vd., 2019).



Şekil 4.12. Segürik filonunun doğrultusunu ve eğimini gösterir uydu görüntüsü (Google Earth,2025)

4.4.1.2. Avgamasya Filonu

Avgamasya Filonu Şırnak İl merkezinin 4.3 km güneybatısında ve Segürik filonunun hemen güneyinde yer almaktadır (Şekil 4.13 ve Şekil 4.14). Güneydoğu Anadolu Bölgesi'nin KD-GB uzanımlı en büyük asfaltit filonudur. Uzunluğu 3 km. genişliği en fazla 75 m'dir. Filon yüzeyde Geç Kretase Paleosen yaşlı Germav formasyonunu kesmektedir. Filonun güneybatı bölümü tek bir kırığın dolgusu şeklindedir. Kuzeydoğu kesimi ise harita görüntüsü olarak çatallanan sonra tekrar bileşen filon topluluğu şeklindedir (Demirci vd., 2019).



Şekil 4.13. Avgamasya filonunun doğrultusunu ve eğimini gösterir uydu görüntüsü (Google Earth, 2025)



Şekil 4.14. Avgamasya filonu uydu görüntüsü (Google Earth, 2025)

Avgamasya asfaltit filonu üzerindeki çalışmalar, 1964-1983 yılları arasında kesikli olarak sürdürülmüştür. Bu yıllarda toplam 208 adet sondaj yapılmıştır. Sondajlı çalışmaların 137 adedi sıg sondaj olup; asfaltit ön aramaları, işletme vb. amaçlara yönelik olarak yapılmıştır. Diğer 71 adeti arama ve rezerv amaçlı olarak yapılmıştır. Filon çatlak boyu 3500 m olup, filon çatlak genişliği 2.00-75.00 m arasında değişmekte olup yaklaşık 14 milyon ton rezerve sahiptir (Işıganer, 1985; Lebküchner vd., 1972). Asfaltitlerde % 0.4 nem, % 47.28 kül, % 34.30 Uçucu madde, % 18.2 sabit karbon, % 42.1 C, % 3.57 H, % 0.5 N, % 5.55 S ve % 47.88 O belirlenmiştir (Demirci vd., 2019). Asfaltitin ısı değeri 4191 kcal/kg dır (Şengüler, 2007; Ayaz vd., 2018).

Avgamasya filonunda kalsit, dolomit, pirit, kuvars ve az miktarda feldspat, illit ve jips mineralleri bulunmaktadır (Karayığit ve Querol, 2002). Avgamasya asfaltitleri ortalama 15 mikronluk ince gözeneklere sahiptirler. Yaklaşık %12 oranında pirit içermektedir. R_{max} değeri % 0.54 dür. Kil ve inorganik madde oranı ise % 20'dir (Kavak vd., 2010).

4.4.1.3. Seridahli Filonu

Seridahli filonu Şırnak ilinin 9 km güneybatısındadır (Şekil 4.15). MTA tarafından filon üzerindeki çalışmalar 1972-1986 yılları arasında yapılmış olup çalışmalar kapsamında 23 adet yarma ve 9 adet eğik sondaj açılmıştır. İlk çalışmalara göre filonun boyu 2520 m, kalınlığı 0.40-14.30 m ve asfaltitin ısı değeri 2600 kcal/kg olarak belirlenmiştir (Ayaz vd., 2018). Daha sonra devam eden çalışmalarla filonun uzunluğu 1750 m ve genişliği 1.9-14 m arasında ve rezervi 6.067 milyon ton olarak tespit edilmiştir (Işıganer, 1985; Saltoğlu, 1978; Demirci vd., 2019). R_{max} değeri % 1.48, pirit içeriği % 5 ve inorganik madde içeriği %17'dir (Kavak vd., 2010). Ortalama % 4.05 nem, % 40.36 kül, % 23.03 Uçucu madde, % 32.56 sabit karbon, % 5.33 kükürt içeren Seridahli asfaltitlerinin ısı değeri (4406-4581 kcal/kg'dır (Demirci vd., 2019).

4.4.1.4. Nivekara Filonu

Şırnak il merkezinin 9.2 km güneyinde yer almaktadır (Şekil 4.16). Nivekara filonunda MTA tarafından 1972-74 yılları arasında 22 adet yarma ve 6 adet eğik sondaj gerçekleştirilmiştir. Filon çatlak boyu 1285 m olup, filon çatlak genişliği 0.40- 11.80 m arasında değişmektedir. Nivekara asfaltitleri % 5.4 nem, % 42.72 kül, % 5.83 kükürt içermekte olup ısı değeri 3400 kcal/kg'dır (Şengüler, 2007; Tören, 2018). Nivekara Filonu'nda 0.5-11.80 m arasında genişlik gösteren 3300 m'lik kısım için 100 m derinliğe

kadar 1.914.410 ton mümkün + muhtemel rezerv tespit edilmiştir (MTA, 1982; Demirci vd., 2018).



Şekil 4.15. Seridagli filonunun doğrultusunu ve eğimini gösterir uydu görüntüsü (Google Earth, 2025).



Şekil 4.16. Nivekara filonunun doğrultusunu ve eğimini gösterir uydu görüntüsü (Google Earth, 2025).

4.4.1.5. Milli Filonu

Milli filonu Şırnak il merkezinin 12.5 km güneydoğusunda Üçkiraz köyünün güneyinde yer almaktadır (Şekil 4.17). Filon üzerindeki çalışmalara 1964 yılında başlanmış ve aralıklarla çalışmalar 1974 yılına kadar sürmüştür. Bu süreçte filon

üzerinde 23 yarma ve 10 adet eğik sondaj gerçekleştirilmiştir. Buna göre filon uzunluğu 3500 m kalınlığı 0.30-13.00 m arasında değişmekte olup 6.500.000 ton rezerv hesaplanmıştır (Şengüler, 2008). Buradaki asfaltitlerde % 2.2 nem, % 50.43 kül, % 37.82 uçucu madde, % 9.54 sabit karbon ve % 4.018 kükürt belirlenmiştir (Demirci vd., 2019). Milli filonu yaklaşık % 4 pirit içermekte olup R_{max} değeri % 0.38 olduğundan dolayı uçucu madde oranının az olduğu düşünülmektedir. Yaklaşık %13 civarında da kil ve benzeri inorganik madde içermektedir (Kavak vd., 2010). Milli filonundaki asfaltitlerin alt ve üst ısı değerleri 2953-3084 kcal/kg (Demirci vd., 2019) olup ortalama ısı değeri ise Ayaz vd. (2018) tarafından 3400 kcal/kg olarak verilmiştir.



Şekil 4.17. Milli filonunun doğrultusunu ve eğimini gösterir uydu görüntüsü (Google Earth, 2025).

4.4.1.6. İspindoruk Filonu

İspindoruk filonu Şırnak il merkezinin 17 km güneydoğusunda Anılmış köyünün güneyinde bulunmaktadır (Şekil 4.18). İspindoruk filonunda 1972’de MTA tarafından araştırmalara başlanmış olup 1974 yılına kadar 11 adet yarma ve 2 adet eğik sondaj yapılmıştır. Çalışmalar sonucunda 100 m derinlik için toplam 1.100.000 ton (görünür + muhtemel + mümkün) rezerv belirlenmiştir (Şengüler, 2008).

4.4.1.7. Karatepe Filonu

Karatepe filonu Şırnak İl merkezinin kuş uçuşu 18.5 km güneydoğusunda yer almaktadır (Şekil 4.18). Karatepe filonunda MTA tarafından 1972 yılında çalışmalara başlanmış ve 1974 yılına kadar 24 adet yarma ve toplam derinliği 307.30 m olan 4 adet

eğik sondaj gerçekleştirilmiştir (Şengüler, 2008. Filonun uzunluğu 2950 m kalınlığı 1.50-12.00 m arasında değişmekte olup ortalama ısı değeri 3695 kcal/kg olan toplam 5.000.000 ton asfaltit rezervi hesaplanmıştır (Ayaz vd., 2018). Karatepe asfaltitlerinde % 3.61 nem, % 46.86 kül, % 21.11 uçucu madde, % 22.42 sabit karbon, % 5.56 toplam kükürt belirlenmiş olup alt ve üst ısı değeri 3760 - 3910 Kcal/kg'dır (Demirci vd., 2019). Mineralojik olarak analizine; kalsit, dolomit, kil mineralleri ve pirit rastlanmıştır (Kavak vd., 2010).



Şekil 4.18. Karatepe filonunun uydu görüntüsü (Google Earth, 2015).

4.4.1.8. Rutkekurat Filonu

Rutkekurat filonu Şırnak İl Merkezi'nin 17.9 km güneydoğusunda Silopi ilçe merkezinin 14.5 km kuzeyinde bulunmaktadır (Şekil 4.19). Diğer asfaltit filonlarına göre daha küçük olan Rutkekurat filonu Cudi dağı üzerinde bulunmaktadır. Filonda MTA tarafından 7 adet yarma açılmıştır. Bu çalışmalarda filonda 800 m yayılım ve 50 m derinlik için 1.000.000 ton mümkün asfaltit rezervi olduğu tespit (Şengüler, 2008).



Şekil 4.19. Rutkekurat filonu uydu görüntüsü (Google Earth, 2025).

4.4.2. Silopi asfaltit yatakları

Silopi ilçesinde Cudi dağının güneyinde bulunan asfaltit yatakları kuzeybatıdan güneydoğuya doğru sırasıyla Üçkardeşler, Harbul ve Silip filonlarıdır.

4.4.2.1. Üçkardeşler Filonu

Üçkardeşler filonu Silopi ilçe merkezinin 13.7 km kuzeydoğusunda Cudi dağının güney eteklerine yer almaktadır (Şekil 4.20). Filonda MTA tarafından 1980-84 yılları arasında sığ, dik ve eğik olmak üzere toplam derinliği 10.584,10 m olan 54 adet sondaj yapılmıştır. 1985-86 yıllarında yapılan 5 adet eğik sondaj ile filonda yapılan sondaj derinliği 11.527,50 m'ye ulaşmıştır. Yüzeyde asfaltitlerin dike yakın bir çatlağı doldurduğu ancak derin sondajlarda eğim kazandığı ve yöredeki hakim kıvrım gidişlerine uyumlu olduğu tespit edilmiştir. Yapılan çalışmalar sonucunda filonda toplam 20.352.000 ton (görünür + muhtemel) rezerv belirlenmiştir (Şengüler, 2008). Üçkardeşler asfaltit filonlarındaki asfaltitlerin ısı değeri ortalama 3.400-5.000 Kcal/kg arasında değişmekte olup TKİ tarafından 1984 yılına kadar açık işletme çalışmaları yapılmıştır (Barış vd.,2013).



Şekil 4.20. Uçkardeşler filonu uydu görüntüsü (Google Earth, 2025).

4.4.2.2. Harbul Filonu

Türkiye’de bulunan asfaltit yataklarının en büyüğü olan Harbul filonu Silopi ilçe merkezinin 15.8 km kuzeydoğusunda Aksu köyü sınırları içinde yer almaktadır (Şekil 4.21). Cudi Dağı’nın güneye doğru olan bindirmesinin önünde Güneydoğu Anadolu Otoktonuna ait Eosen yaşlı ve devrik Gerçüs formasyonu içinde tabakalanmaya paralel mercekli seviyeler şeklindedir. Filon ile ilgili çalışmalara 1940 yıllarında başlanmış olup 1976-1984 yılları arasında sık, dik ve eğik olmak üzere toplam derinliği 10.387.30 m olan 46 adet sondaj yapılmıştır. Filonun uzunluğu 1850 m genişliği ise en çok 55 m’dir. 300 m derinliğine kadar olan kesimi için hesaplanan toplam rezerv 25.765.000 ton olup bunun 17.914.000 tonu görünür rezervdir. TKİ tarafından, açık işletmeye uygun ve 150 m derinliğe kadar olan kesim için saptanan rezerv ise 7.000.000 tondur (Şengüler, 2008).

Harbul asfaltitleri renk olarak çok koyudur. Harbul asfaltitlerinde yapılan analizlerde % 1.77 nem, % 29.29 kül, % 55.42 uçucu madde, % 7.81 toplam kükürt, % 56.49 C, % 5 H, % 0.75 N ve % 1.68 O belirlenmiş olup asfaltitlerin alt ısı değeri 5583 kcal/kg ve üst ısı değerleri 5854 kcal/kg’dır (Demirci vd., 2019). R_{max} değeri çok düşük ancak pirit içeriği %10 ve inorganik madde içeriği % 20 civarındadır. Harbul asfaltitlerinin mineralojik analizlerinde kuvars, kalsit, dolomit, pirit, jips, feldispat, mika ve kil mineralleri belirlenmiştir (Kavak vd., 2010).



Şekil 4.21. Harbul filonunun doğrultusunu ve eğimini gösterir uydu görüntüsü (Google Earth, 2025)

4.2.3. Silip Filonu

Silopi ilçe merkezinin 23.4 km kuzeydoğusunda Harbul filonunun 1 km doğusunda Türkiye-Irak sınırında yer almaktadır. (Şekil 4.22) Filonda 1982-86 yılları arasında dik ve eğik olmak üzere toplam derinliği 5.112.70 m olan 22 adet sondaj yapılmıştır. Diğer filonlardan farklı bir yataklanma şekli olan Silip filonunda toplam 4.406.314 ton (görünür + muhtemel) rezerv belirlenmiştir (Şengüler, 2008).



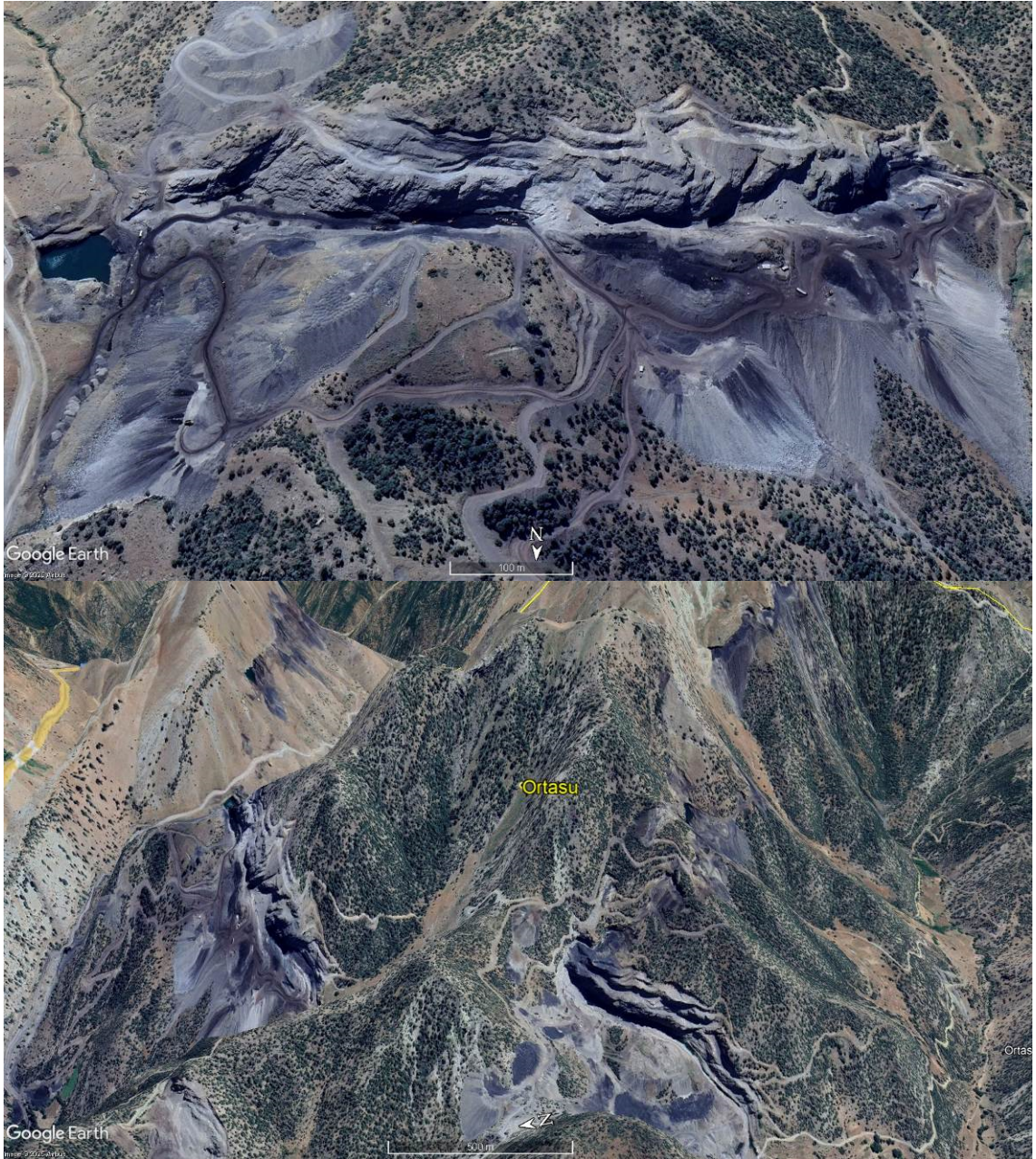
Şekil 4.22. Silip filonunun uydu görüntüsü (Google Earth, 2025).

4.4.3. Uludere asfaltit yatakları

Uludere’de günümüze kadar tespit edilen tek asfaltit sahası Ortasu filonudur.

4.4.3.1. Ortasu Filonu

Ortasu asfaltit filonu Uludere ilçe merkezinin 15.2 km güneydoğusunda Gülyazı kasabasının güneyindeki Ortasu köyü civarında yer almaktadır (Şekil 4.23). Ortasu Filonlarındaki çalışmalar 1982 yılında prospeksiyon ile başlamış ve 1984 yılına kadar dik ve eğik olmak üzere 12 adet sondaj ve 12 adet yarma yapılmıştır. Yapılan çalışmalar sonucunda toplam 604.985 ton asfaltit rezervi belirlenmiştir (Şengüler, 2008).



Şekil 4.23. Ortasu filonunun uydu görüntüsü (Google Earth, 2025).

4.5. Avgamasya Asfaltitlerinin Analiz Sonuçları

Avgamasya filonundan alınan 2 adet asfaltit numunesi laboratuvara gönderilerek ASTM test standartlarına göre nem, kül, uçucu madde, toplam kükürt ve sabit karbon miktarları, ISO test standartlarına göre brüt ve net ısı değerleri belirlenmiştir (Çizelge 4.2.). Analiz sonuçlarına göre orijinal kömürde nem miktarı % 0.5-% 6.2 olarak belirlenmiştir (Çizelge 4.2.).

Çizelge 4.2. Asfaltit Numunesi Analiz Sonucu

Parametre	Sınır Değeri (Çevresel / Kalite Limiti)	Kaynak / Standart	Analiz / Test Standardı	AA1 Orijinal Baz (%)	AA1 Kuru Baz (%)	AA2 Orijinal Baz (%)	AA2 Kuru Baz (%)
Toplam Nem (%)	Maks. 10–15 %	Genel pratik	ASTM D3302	0.50	-	6.02	-
Kül (%)	Maks. 20–30 %	TS EN ISO 1658, ASTM D3174	ASTM D3174	54.09	54.36	43.51	46.29
Uçucu Madde (%)	Sınır yok – Kalite ve yanma özelliği göstergesi	Kalite sınıflaması	ASTM D3175	30.52	30.67	22.05	23.46
Toplam Kükürt (%)	Maks. 1.0 %	EPA, Avrupa Çevre Standartları	ASTM D4239	0.65	0.66	6.00	6.38
Sabit Karbon (%)	Kalite göstergesi – sınır değeri yok	Kalite sınıflaması	ASTM D3172	14.89	14.97	28.42	30.25
Brüt Kalori (kcal/kg)	Min. 4000 kcal/kg	Genel yakıt standartları	ASTM D5865	1826	1835	3005	3197
Net Kalori (kcal/kg)	Min. 4000 kcal/kg	Genel yakıt standartları	ISO 1928	1721	1733	2866	3084

Avgamasya asfaltitlerinin kül miktarı orijinal numunelerde % 54.09 ve 43.51 iken kuru numunelerde % 54.36 ve % 46.29'dur (Çizelge 4.2). Asfaltitlerin yüksek kül miktarı yanma sonrası oluşacak atık miktarını artıracığından yakıtın endüstriyel kullanımında uygun kül arıtma sistemleri gereklidir.

Asfaltitlerin uçucu madde miktarı orijinal numunelerde % 30.52 ve % 22.05, kuru numunede % 30.67 ve % 23.46'ye yükselmektedir (Çizelge 4.2). Yanma verimliliğini belirleyen uçucu madde içeriği asfaltitin tutuşma kabiliyeti açısından dengeli bir yapıya sahip olduğunu göstermektedir.

Avgamasya asfaltitlerinin sabit karbon miktarları orijinal numunelerde % 14.89 ve % 28.42, kuru numunelerde % 14.97 ve % 30.25'tir (Çizelge 4.2). Asfaltitlerin sabit karbon miktarı uzun süreli yanma süresi açısından düşük-orta seviyede olduğunu işaret etmektedir.

Asfaltitlerin brüt kalorifik değerleri orijinal numunede 1826 kcal/kg ve 3005 kcal/kg iken kuru numunelerde 1835 kcal/kg ve 3197 kcal/kg'dır. Net kalorifik değerlerine bakıldığında orijinal numunede 1721 kcal/kg ve 2866 kcal/kg iken kuru numunelerde 1733 kcal/kg ve 23084 kcal/kg olmaktadır. Brüt ve net ısı değerleri

elektrik enerjisi üretimi açısından yeterli sayılmakla birlikte üretilen cevherin doğrudan termik santrale beslenmeden stok sahasına gönderilmesi ve doğal kurumaya bırakılması ile ısı değerinde bir yükselme gerçekleşecektir. Ancak kuru kömürde nispeten yükselen kül miktarı yanma verimliliğini olumsuz etkileyebilecektir.

Asfaltillerin toplam kükürt içerikleri orijinal numunelerde % 0.65 ve % 6 kuru numunelerde ise % 0.66 ve % 6.38'dir. Toplam kükürt miktarı çevresel etkiler açısından önemli bir sınırlayıcı faktördür. Yüksek kükürt içeriği yanma sırasında SO₂ (kükürt dioksit) emisyonuna yol açarak hava kirliliğine katkıda bulunabilir. Bu nedenle asfaltit kullanımında uygun filtreleme ve kükürt giderme sistemleri uygulanmalıdır.

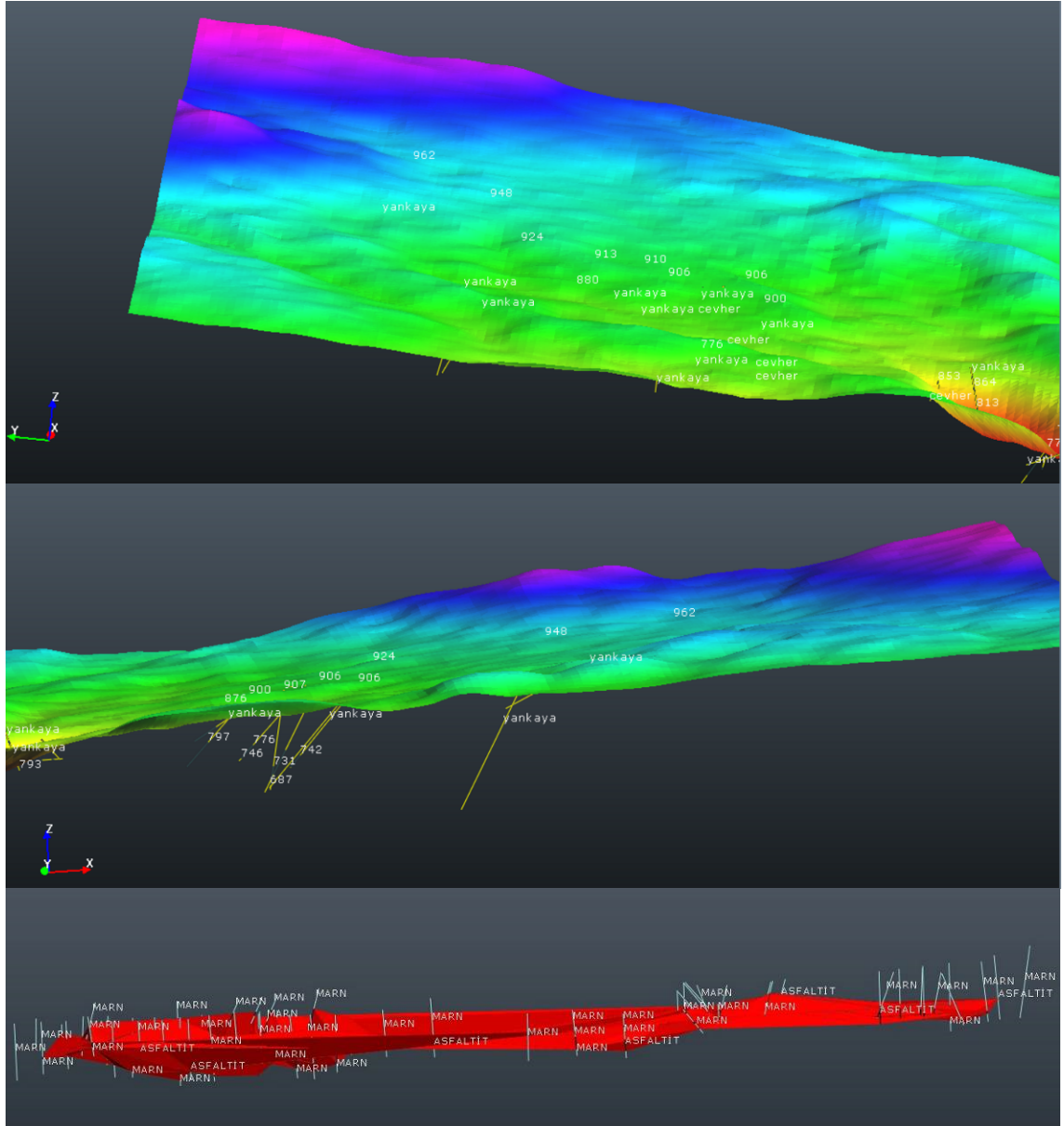
4.6. Avgamasya Asfaltitlerinin Rezerv Hesabı ve Ocak Tasarımı

Şırnak ili sınırları içerisinde bulunan Avgamasya Asfaltit sahasında, Maden Tetkik ve Arama (MTA) Genel Müdürlüğü tarafından gerçekleştirilen sistematik sondaj çalışmaları, 1963-1980 yılları arasında 162 adet sondaj ile toplam 4.911,05 metre, 1980-1983 yılları arasında 46 adet sondaj ile 7.827,75 metre ve 1988 yılında 6 adet sondaj ile 936,70 metre olmak üzere kümülatif 13.675,50 metre derinliğe ulaşmıştır (Şekil 4.24).

Ayrıca, Galata Enerji tarafından yürütülen çalışmalarda 36 adet eğimli ve dik sondaj ile toplam 8.470 metre delme işlemi gerçekleştirilmiştir. Saha çalışmaları kapsamında MTA Genel Müdürlüğü'nce elde edilen veriler arasında; sondaj güzergâh görüntüleri, karot örnekleri, detaylı sondaj logları ve stratigrafik log kesitleri bulunmaktadır ki bu veriler Şekil 4.24'te sunulmuştur. Bu kapsamlı araştırmalar, sahanın jeolojik yapısının anlaşılması ve rezerv potansiyelinin belirlenmesi açısından kritik öneme sahiptir.

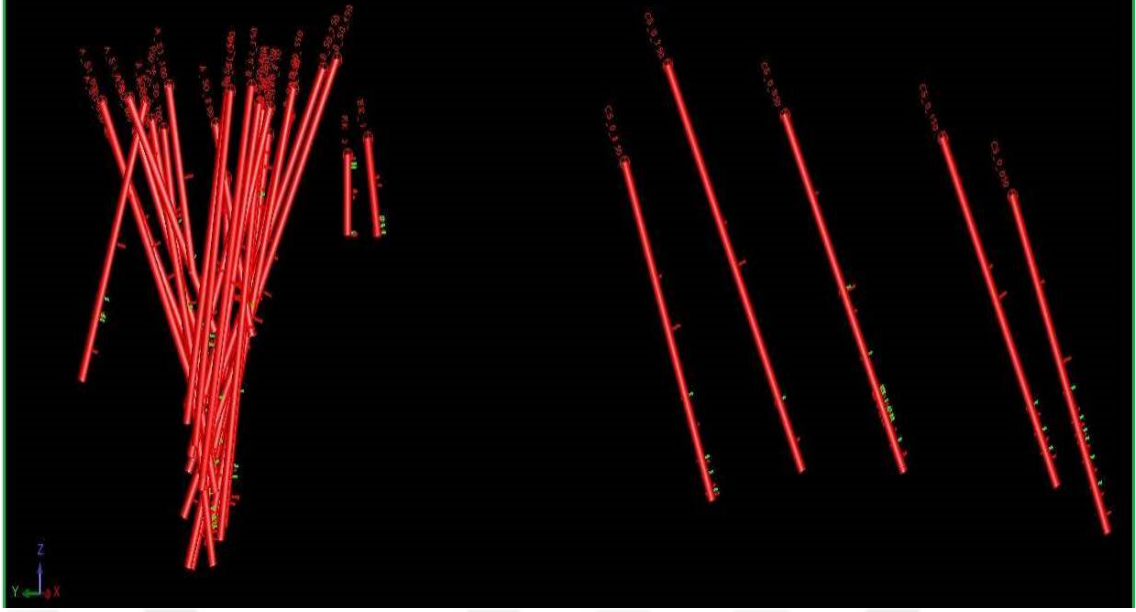
Avgamasya asfaltit filonunun modellenmesi için uydu görüntüleri, sahada yapılan ölçümler, gerçekleştirilen sondajlar ve İHA çalışmalarına ait veriler kullanılmış ve oluşturulan kesitler yardımı ile yapılan değerlendirmeler sonucu asfaltitin katı modeli oluşturulmuştur (Şekil 4.25; 4.26).

Ruhsat sahasındaki asfaltit tamamen tektonizmanın da etkisi ile sıvı haldeki petrolün kayalar arasında düzgün ve dik bir damar şeklinde soğuyup katılaşması sonucu oluşmuştur. Bu oluşum asfaltitin aranması, rezerv tespiti ve korelasyonunu oldukça kolaylaştırmıştır.

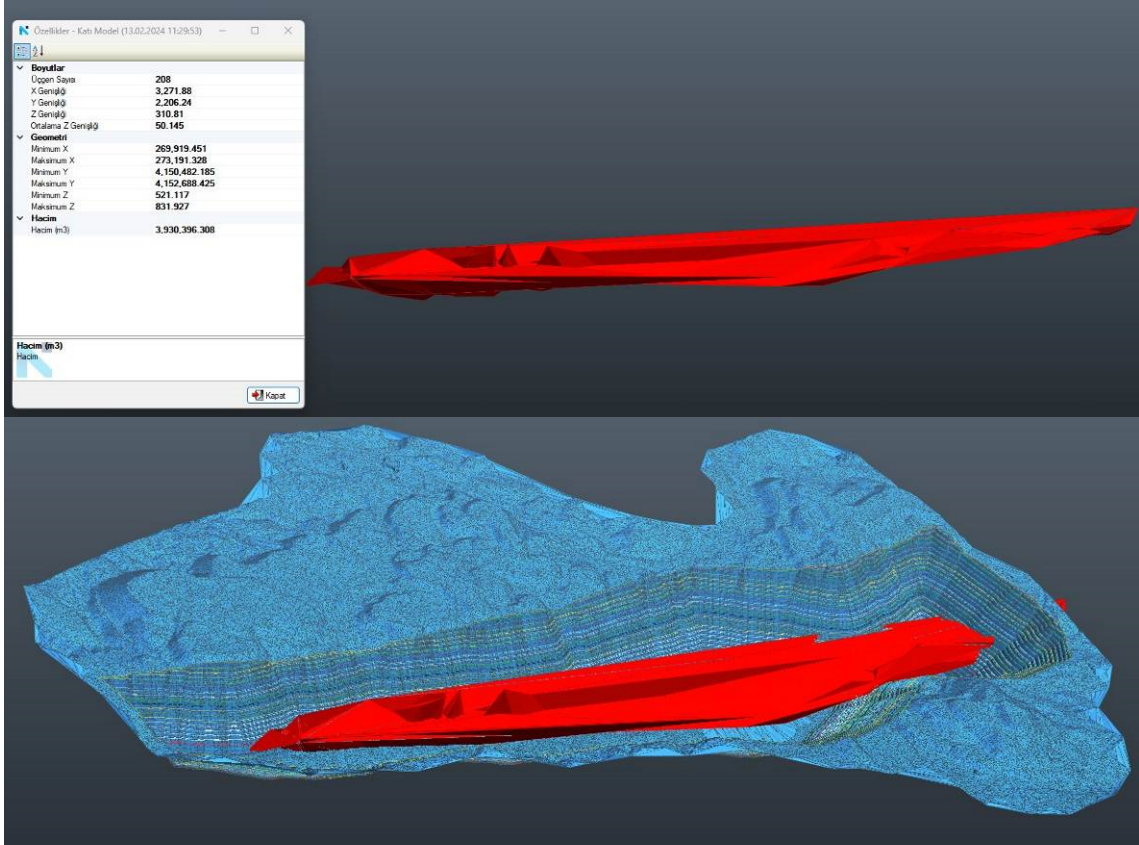


Şekil 4.25. a) Avgamasya filonu sondaj yerlerinin topoğrafya üzerinde görünümü b) Avgamasya filonu sondaj yerlerinin kesit üzerinde görünümü c) Katı model hesaplamasında kullanılan sondaj lokasyonları ve litolojileri

Saha çalışmaları kapsamında gerçekleştirilen her bir sondajda, 10 metrelik aralıklarla kot bazlı olarak asfaltitin alt ısı değer, nem, kül ve kükürt içeriği gibi temel karakteristik parametreleri sistematik şekilde ölçülmüş ve kayıt altına alınmıştır. Yapılan analizler sonucunda, petrol kökenli bir yakıt olan asfaltitin tüm örneklerinin endüstriyel kullanım için uygun nitelikte olduğu ve değerlendirme dışı bırakılması gereken herhangi bir birimin bulunmadığı tespit edilmiştir. Ayrıca, asfaltit zonu içerisinde litolojik süreksizlik oluşturacak killi veya marnlı ara seviyelerin bulunmaması, filonun homojen yapısını ortaya koymaktadır. Bu veriler ışığında, üç boyutlu modelleme yazılımı kullanılarak sondaj verilerine dayalı katı bir model oluşturulmuştur (Şekil 4.27).



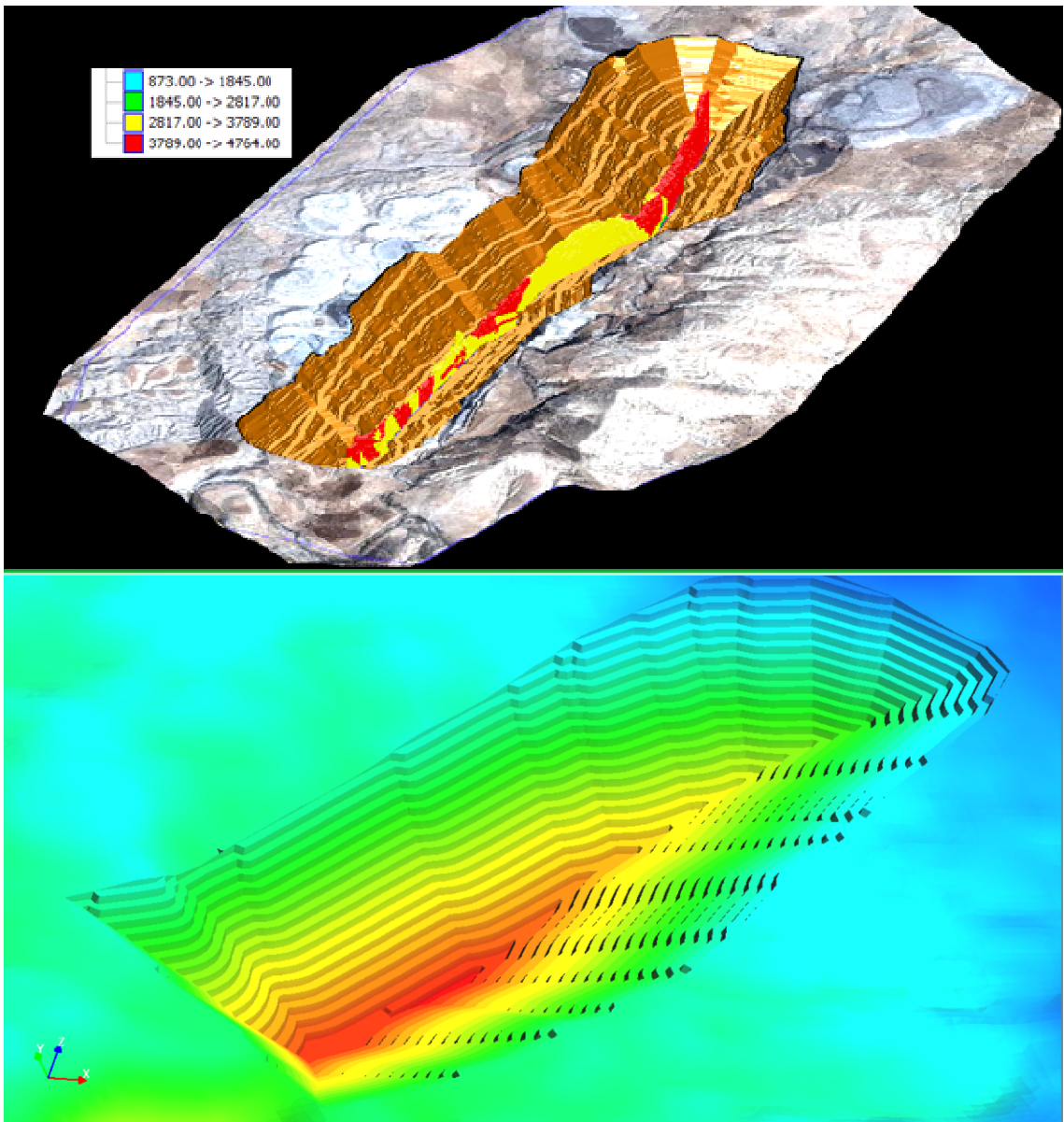
Şekil 4.26. Avgamasya asfaltit sahası sondajları 3B görüntüsü



Şekil 4.27 a) Sondaj verilerine göre oluşturulan katı model ve rezerv miktarı b) Sondaj verilerine göre oluşturulan katı model ve ocak tasarımı

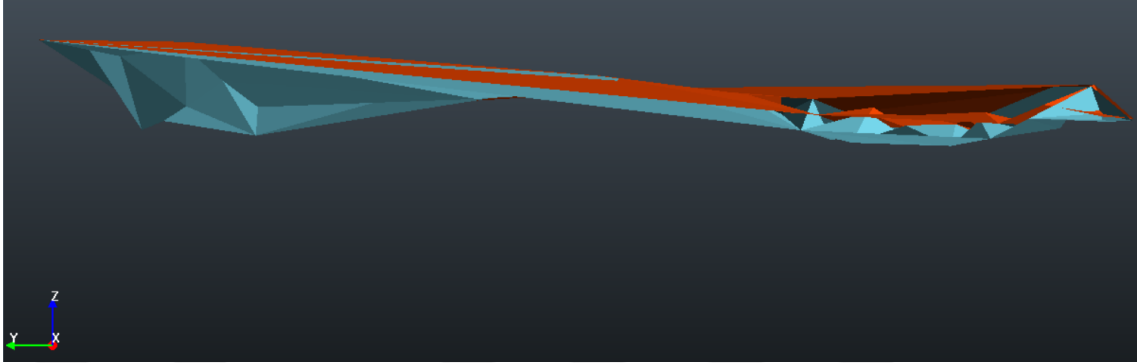
Modelleme çalışmaları sonucunda Avgamasya filonunda toplam 3.930.396.308 m³'lük bir asfaltit rezervinin varlığı hesaplanmış olup, bu sonuçlar sahanın önemli bir enerji hammaddesi potansiyeline sahip olduğunu göstermektedir. Rezerv hesaplamalarında kullanılan metodoloji ve elde edilen bulgular, bölgenin ekonomik değerlendirilmesi açısından kritik öneme sahiptir. Avgamasya asfaltit filonunun rezerv

hesaplamalarında temel parametre olarak kullanılan yoğunluk değeri, karot örnekleri ve üretim öncesi numuneler üzerinde yapılan laboratuvar analizleri sonucunda ortalama 1.78 t/m^3 olarak belirlenmiş ve bu değer ışığında filonun görünür rezerv miktarı 6.996.105 ton olarak hesaplanmıştır; açık ocak madenciliği tasarımı ise mevzuat gerekliliklerine uygun şekilde genel şev açısı 45° 'yi geçmeyecek parametrelerle +550 ile +873 kotları arasında planlanmış olup, 20 metre basamak genişliği ile basamaklar arası ulaşım güvenliği, yüzey suyu drenaj kontrolü, malzeme kayması ve taş düşmesi risklerinin minimize edilmesi, zemin taşıma kapasitesinin optimizasyonu ve iş sağlığı-güvenliği gerekliliklerinin sağlanması amaçlanarak nihai ocak geometrisi ortaya konulmuştur (Şekil 4.28).

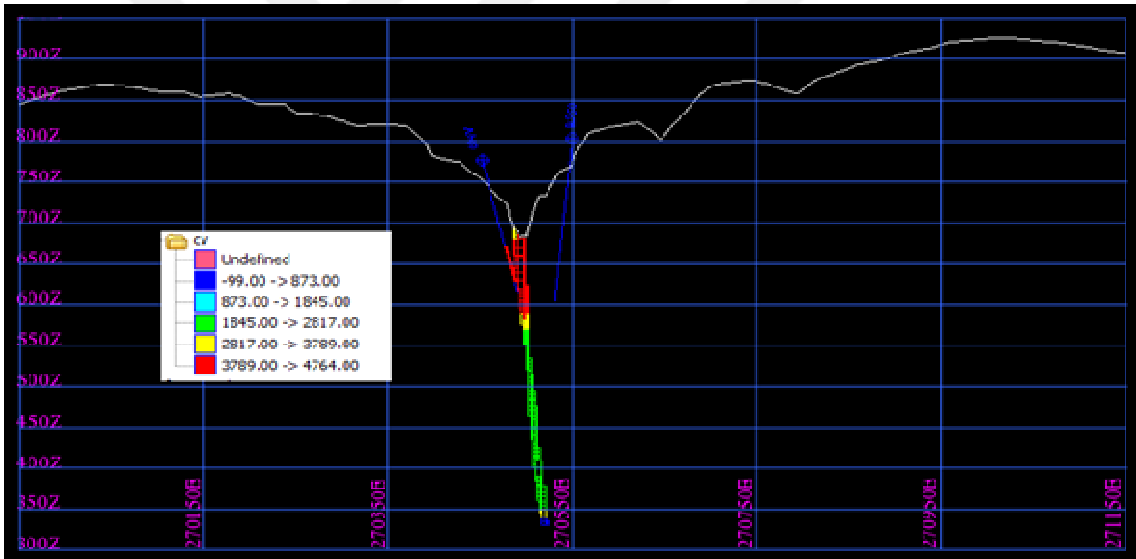


Şekil 4.28. a) Avgamasya filonuna ait planlanan basamak görüntüsü . b) Avgamasya Asfaltit sahası nihai açık işletme geometrisi

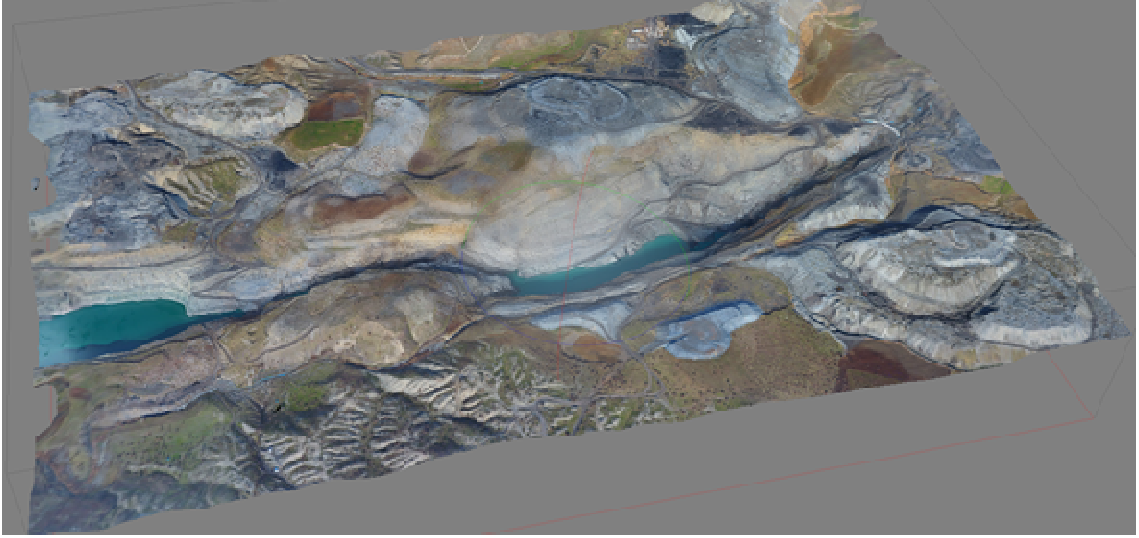
Geliştirilen üç boyutlu katı model üzerinden alınan kesitler (Şekil 4.29 ve 4.30), asfaltit filonunun yapısal geometrisini ve yataklanma karakterini detaylı şekilde ortaya koyarken, nihai açık işletme tasarım parametreleri ve saha verilerinin entegrasyonu ile oluşturulan 3B model (Şekil 4.31 ve 4.32), filonun morfolojik özelliklerini ve ekonomik potansiyelini görselleştiren kapsamlı bir temsil sağlamaktadır.



Şekil 4.29. Avgamasya filonundan kuyulara giden damarın yan kesiti



Şekil 4.30. Avgamasya Asfaltit sahası A 600_B 550 no'lu sondajlardan alınan enine kesit



Şekil 4.31. Avgamasya Fılonu Üç Boyutlu Modelleme Görüntüsü



Şekil 4.32. Avgamasya Fılonu Üç Boyutlu Modelleme Görüntüsü

4.7. Asfaltit Ocaklarının Çevresel Etkileri

4.7.1. Asfaltitlerin su kaynaklarına etkileri

Şırnak ili, Dicle Havzası içerisinde yer almakta olup, bölgedeki Habur, Hezil, Kızılsu ve Nerdüş akarsuları havza drenaj sistemini oluşturmaktadır. Asfaltit ocaklarına en yakın su kaynağı olan Nerdüş Deresi'nde Kantarcı vd., (2024) tarafından gerçekleştirilen hidrojeokimyasal çalışmalar kapsamında, mevsimsel varyasyonları temsil edecek şekilde kurak (Eylül 2021) ve yağışlı (Mayıs 2022) dönemlerde 8 farklı lokasyondan su numuneleri alınmıştır (Şekil 4.33). Çalışmada, dere sularının fizikokimyasal parametreleri (sıcaklık, pH, elektriksel iletkenlik) yerinde ölçülmüş ve

majör iyon (Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+ , HCO_3^- , SO_4^{2-} , Cl^-) ile iz element (As, Cd, Cr, Cu, Pb, Zn) analizleri laboratuvar ortamında gerçekleştirilmiştir.

Ölçüm sonuçlarına göre, su sıcaklıkları kurak dönemde $18.50-22.93^\circ\text{C}$, yağışlı dönemde ise $19.67-23.23^\circ\text{C}$ aralığında değişim göstermiştir. pH değerleri ise kurak dönemde $7.96-8.29$, yağışlı dönemde $7.90-8.84$ aralığında ölçülmüş olup, bu değerler Dünya Sağlık Örgütü (WHO, 2011) tarafından belirlenen içme suyu standartlarına ($6.5-9.5$) uygunluk göstermektedir. Elde edilen veriler, bölgedeki asfaltit yataklarının jeolojik yapısından kaynaklanabilecek asidik drenaj riskinin bulunmadığını ve suların bazik karakterde olduğunu ortaya koymaktadır. Ayrıca, majör iyon ve iz element konsantrasyonlarının mevsimsel değişimleri, hidrojeokimyasal süreçlerin ve antropojenik etkilerin belirlenmesi açısından önemli veriler sağlamıştır (Kantarıcı vd., 2024). Bu bulgular, bölgedeki su kaynaklarının sürdürülebilir yönetimi ve madencilik faaliyetlerinin çevresel etkilerinin izlenmesi açısından kritik öneme sahiptir.



Şekil 4.33. Nerdüş Deresi'nden su numunelerinin alım noktaları (Kantarıcı vd., 2024).

Nerdüş Deresi'nden alınan numunelerin analiz sonuçlarına göre, maden işletme çukurundaki su birikintisinde ölçülen toplam çözünmüş madde (TDS) değeri 509.51 mg/L olarak belirlenmiş olup, bu değer suyun düşük mineralizasyonlu (oligometalik) karakterde olduğunu göstermektedir. İyonik kompozisyon analizleri, suyun başlıca

kalsiyum (Ca^{2+}), magnezyum (Mg^{2+}), bikarbonat (HCO_3^-) ve sülfat (SO_4^{2-}) iyonlarından oluştuğunu ortaya koymaktadır.

Bu çalışmada, Avgamasya asfaltit işletme sahasında biriken suyun hidrolojik kökeninin belirlenmesi ve çevresel etki potansiyelinin değerlendirilmesi amacıyla hidrojeokimyasal bir araştırma yürütülmüştür. Çalışma kapsamında, işletme çukurundaki su birikintisi ile bölgedeki Çilgişavadi ve Şilerut derelerinden temsili su örnekleri alınmış ve kapsamlı kimyasal analizler gerçekleştirilmiştir.(Çizelge 4.3). Hidrojeokimyasal veriler, suyun sığ dolaşımli olduğunu ve bölgedeki karbonat kayaları (özellikle kireçtaşları) ile hidrojeokimyasal etkileşimde bulunduğunu işaret etmektedir. Düşük buharlaşma kalıntısı değerleri ise evaporatif konsantrasyon süreçlerinin minimal düzeyde kaldığını göstermektedir. Buna göre su birikintisinin çevresel etki potansiyeli değerlendirilmiş olup, özellikle sülfat içeriğinin uzun vadeli izlenmesi önerilmektedir. Çalışma, bölgedeki madencilik faaliyetlerinin hidrolojik sistemler üzerindeki etkilerinin anlaşılması açısından önemli veriler sunmaktadır.

Çizelge 4.3. Su Numunelerinin Analiz Sonuçları

Parametre	Birim	Analiz Sonucu			Analiz Metodu	Sınır Değer (TS 266)
		N ₁	N ₂	N ₃		
pH	-	7,82	7,5	8,05	TS EN ISO 10523	6.5 - 8.5
Krom	mg/L	<0,05	<0,05	<0,05	TS EN ISO 11885	0.05 mg/L
Renk	Pt-Co	37,60	87,79	38,36	TS EN ISO 11885	15 Pt-Co (estetik)
Çinko	mg/L	<0,05	0,12	<0,05	TS EN ISO 11885	5.0 mg/L (estetik)
Nikel	mg/L	0,048	0,067	0,074	TS EN ISO 11885	0.02 mg/L
Bakır	mg/L	0,086	0,088	0,086	TS EN ISO 11885	2.0 mg/L
Demir	mg/L	0,043	0,048	0,04	TS EN ISO 11885	0.2 mg/L
E.Coli	kob/100ml	>100	>100	>100	TS EN ISO 9308-1	0 /100 ml
Sodyum	mg/L	18,52	23,62	29,63	TS EN ISO 11885	-
Mangan	mg/L	<0,01	<0,01	<0,01	TS EN ISO 11885	0.05 mg/L
Kurşun	mg/L	0,176	0,17	0,157	TS EN ISO 11885	0.01 mg/L
Nitrat	mg/L	8,34	21,38	8,69	TS 6231	50 mg/L
Nitrit	mg/L	0,631	0,483	0,503	TS 7526 EN 26777	0.5 mg/L
Sülfat	mg/L	135,30	94,32	150,77	SM 4500-SO4-2 C	250 mg/L
Klorür	mg/L	42,54	46,80	55,31	TS 4164 ISO 9297	250 mg/L
Amonyum	mg/L	4,102	4,598	4,656	TS 7159	0.5 mg/L
Sertlik	Clark	11,51	11,09	11,79	TS 4474 ISO 6059	-
Kadmiyum	mg/L	<0,05	<0,05	<0,05	TS EN ISO11885	0.003 mg/L
Alüminyum	mg/L	<0,05	<0,05	0,075	TS EN ISO11885	0.2 mg/L
Bulanıklık	NTU	32,1	74,3	13,1	SM 2130 B	5 NTU
Toplam Canlı	kob/ml	>100	>100	>100	TS EN ISO 6222	100 kob/ml
Toplam Koliform	kob/100ml	>100	>100	>100	TS EN ISO 9308-1	0 /100 ml
Elektriksel İletkenlik	µs/cm	625	699	890	TS 9748 EN 27888	2500 µS/cm

4.7.2. Asfaltitlerin hava kirliliğine etkileri

Asfaltitlerin yüksek kükürt (% 5.55) ve kül (% 47.28) içeriği, termal dönüşüm süreçlerinde önemli çevresel etkilere yol açabilmektedir. Özellikle kış aylarında ısınma amaçlı kullanımının artmasıyla birlikte, partiküler madde (PM₁₀) ve kükürtdioksit (SO₂) emisyonlarında artış gözlenmekte olup bu durum bölgesel hava kalitesini olumsuz yönde etkileyebilmektedir.

Şırnak ilinde hava kalitesinin izlenmesi amacıyla, Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı (ÇŞİDB) tarafından Ulusal Hava Kalitesi İzleme Ağı (UHKİA) kapsamında İl Milli Eğitim Müdürlüğü bahçesine kurulan istasyonda sürekli ölçümler yapılmaktadır (Şekil 4.34). İstasyon, SO₂ (kükürtdioksit), CO (karbon monoksit), O₃ (ozon) ile partiküler madde (PM₁₀ ve PM_{2.5}) parametrelerini izlemekte ve veriler gerçek zamanlı olarak paylaşılmaktadır (<https://sim.csb.gov.tr/SERVICES/airquality>).

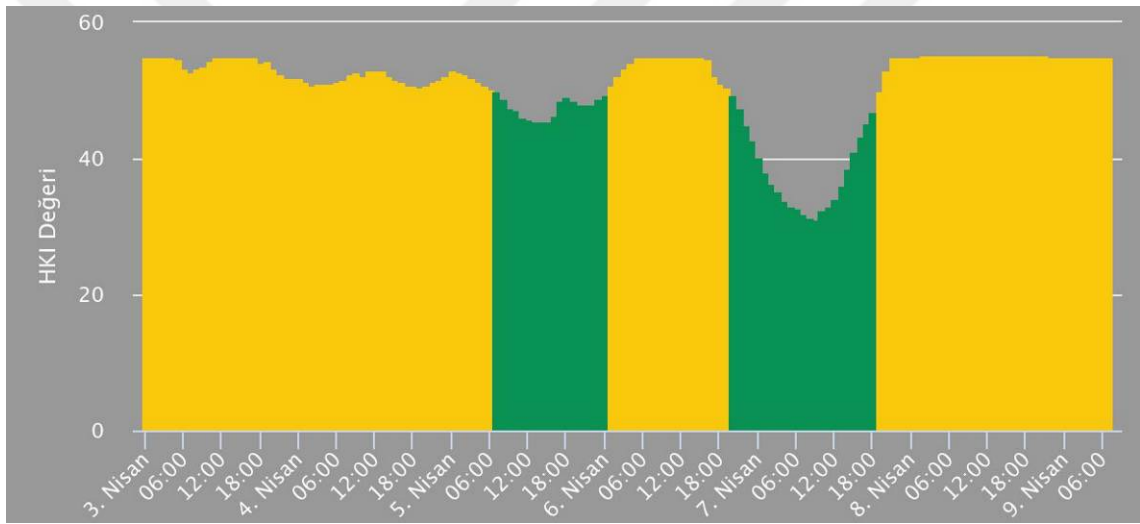
Ölçüm verileri incelendiğinde, 09.04.2025 tarihi saat 07:00 itibarıyla Şırnak-Silopi istasyonunda ölçülen değerler şu şekildedir: CO 422.7 µg/m³, O₃ 17.8 µg/m³, PM₁₀ 53.7 µg/m³ ve PM_{2.5} 18.5 µg/m³. Bu değerler doğrultusunda hesaplanan Hava Kalitesi İndeksi (HKİ) 55 olarak belirlenmiş olup, bu değer "orta" ile "iyi" kategorileri arasında değişim göstermektedir. Ancak, özellikle kış aylarında artan yakıt tüketimi ve meteorolojik şartların etkisiyle bu değerlerin yükselme potansiyeli bulunmaktadır.



Şekil 4.34. Şırnak Hava Kalitesi Ölçüm İstasyonu

2023 yılı Şırnak-Silopi hava kalitesi verilerine göre, asfaltit kullanımı ve termik santral faaliyetlerinden kaynaklanan SO₂ ve PM₁₀ konsantrasyonlarında mevsimsel

dalgalanmalar gözlemlenmiştir (Şekil 4.35). SO₂ seviyeleri 7.57-122.79 µg/m³ aralığında değişim göstermiş olup, özellikle kış aylarında düşük kaliteli yakıt kullanımına bağlı olarak artış eğilimi göstermesine rağmen mevzuatta belirtilen sınır değerler aşılmamıştır. PM₁₀ konsantrasyonları ise 44.03-80.45 µg/m³ bandında seyretmiş ve termik santral kaynaklı kül emisyonlarının etkisiyle orta seviyede hava kalitesi kategorisinde kaydedilmiştir (Çizelge 4.4, Şekil 4.36 ve Şekil 4.37). Mevcut veriler, bölgedeki asfaltit yatakları ve termik santral operasyonlarının henüz hava kalitesi parametreleri üzerinde kritik düzeyde olumsuz etki oluşturmadığını göstermekle birlikte, özellikle hava hareketlerinin sınırlı olduğu ve atmosferik kararlılığın arttığı kış dönemlerinde emisyonların izlenmesi ve kontrol önlemlerinin sürdürülmesi gerekliliğini ortaya koymaktadır.

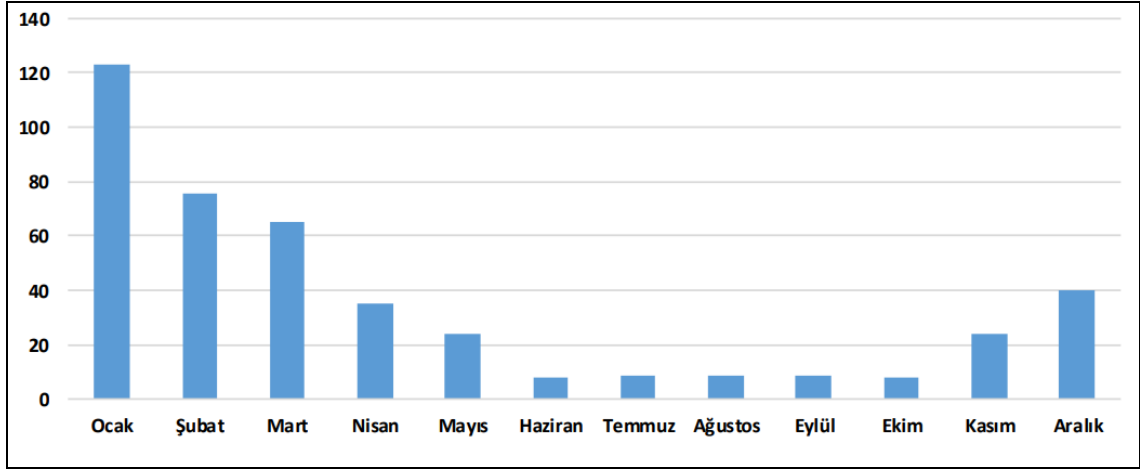


Şekil 4.35. Şırnak ili 03-09 Nisan 2025 7 günlük Hava Kalitesi Grafiği (<https://sim.csb.gov.tr/SERVICES/airquality>)

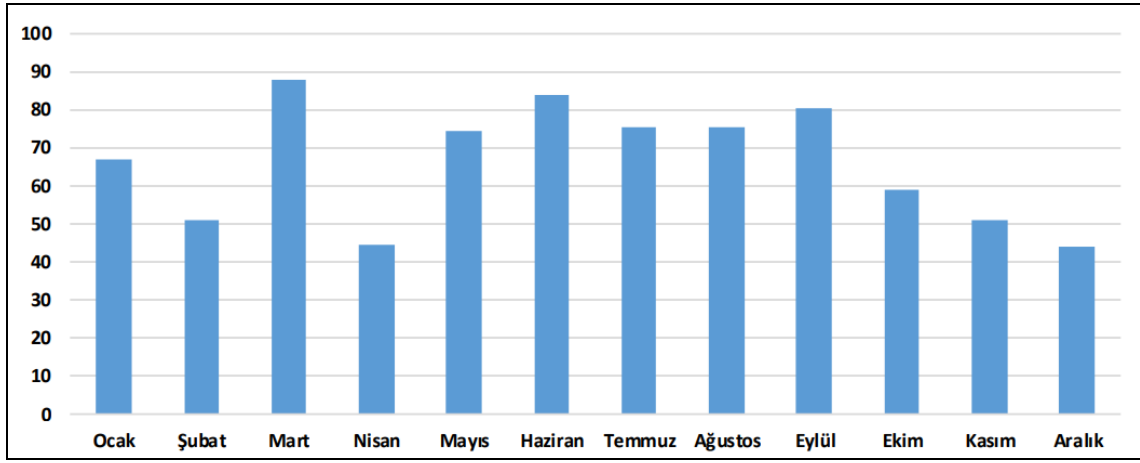
Çizelge 4.4. 2023 yılı hava kalitesi parametreleri aylık ortalama değerleri ve sınır değerin aşıldığı gün sayıları (µg/m³ ; CO: mg/m³) (havaizleme.gov.tr. 2024)

İSTASYON ADI	SO ₂	AGS*	PM10	AGS*	CO	AGS*	NO	AGS*	NO ₂	AGS*	NO _x	AGS*	OZON	AGS*
Ocak	122,79		66,81											
Şubat	75,56		51,24											
Mart	64,93		87,84											
Nisan	35,13		44,64											
Mayıs	24,06		74,43											
Haziran	8,01		83,70											
Temmuz	8,82		75,55											
Ağustos	8,75		75,62											
Eylül	8,35		80,45											
Ekim	7,57		59,22											
Kasım	24,29		50,95											
Aralık	39,98		44,03											

*AGS: Sınır değerin aşıldığı gün sayısı



Şekil 4.36. 2023 yılında Şırnak Hava Kalitesi İzleme istasyonu PM₁₀ parametresi günlük ortalama değer grafiği* (havaizleme.gov.tr. 2024)



Şekil 4.37. 2023 yılında Şırnak Hava Kalitesi İzleme istasyonu SO₂ parametresi günlük ortalama değer grafiği* (havaizleme.gov.tr. 2024)

4.7.3. Ocakta Yapılan Patlatmanın Çevreye Etkileri

Avgamasya asfaltit sahasında gerçekleştirilen üretim faaliyetleri kapsamında patlatma işlemlerinin çevresel etkilerinin değerlendirilmesi amacıyla Martest Analiz Laboratuvarı tarafından 2023 yılında bir titreşim ölçüm çalışması yürütülmüştür. Söz konusu çalışmada, patlatma kaynaklı titreşimlerin yakın çevredeki yapılar üzerindeki potansiyel etkileri ile iş sağlığı ve güvenliği açısından oluşturabileceği riskler detaylı olarak incelenmiştir. Ölçümler, Şırnak Üniversitesi yerleşkesinde bulunan ve patlatma alanına en yakın konumdaki yapı üzerinde gerçekleştirilmiştir. Patlatma işleminin gerçekleştirildiği saha, şantiyenin kuzeybatı yönünde yaklaşık 1500 metre mesafede ve 37.485653 kuzey, 42.428871 doğu koordinatlarında konumlanmaktadır. Titreşim ölçümleri ise 37.498994 kuzey, 42.425339 doğu koordinatlarında yer alan bir konutun önünde, 07.06.2023 tarihinde saat 11:56'da 10 dakikalık bir süre boyunca yapılmıştır.

Yapılan ölçümler ve analizler sonucunda, elde edilen titreşim değerlerinin 30.11.2022 tarihli ve 32029 sayılı Resmi Gazete'de yayımlanan Çevresel Gürültü Kontrol Yönetmeliği'nde belirtilen titreşim hızı sınır değerlerini aşmadığı tespit edilmiştir (Çizelge 4.5).

Bu bulgular, Avgamasya asfaltit sahasında gerçekleştirilen patlatma işlemlerinin kentsel yerleşim alanları üzerinde ölçülebilir bir etki oluşturmadığını ortaya koymaktadır.

Çizelge 4.5. Patlatma Titreşim ve Sınır Değerleri

Titreşim Frekansı (Hz)	Sınır Değer (mm/s)	X (mm/s)	Y (mm/s)	Z (mm/s)
1	5	0.961	0.829	0.829
1.25		1.109	0.867	1.074
1.6		0.715	0.55	0.742
2		0.589	0.568	0.698
2.5		0.467	0.467	0.675
3.15		0.426	0.371	0.468
4		0.327	0.305	0.36
5		0.26	0.32	0.268
6.3		0.22	0.227	0.206
8		0.207	0.196	0.207
10	15	0.212	0.208	0.221
31.5		0.148	0.144	0.141
40		0.115	0.123	0.123
50	20	0.05	0.048	0.047
63		0.035	0.035	0.032
80		0.027	0.029	0.027
100		0.02	0.02	0.021

4.7.4. Asfaltit Pasa Alanlarının Çevresel Etkileri ve Değerlendirme Potansiyeli

Asfaltit madenciliği sırasında ortaya çıkan pasa miktarı %80 oranında olup oldukça fazladır. Bu atık yığınları, bulundukları bölgelerde toprak ve su kirliliği, hava kalitesinin bozulması, arazi kaybı ve görsel kirlilik gibi çeşitli çevresel sorunlara yol açabilmektedir. Dolayısıyla, bu pasa alanlarının etkili bir şekilde yönetilmesi ve potansiyel olarak yeniden değerlendirilmesi, sürdürülebilir madencilik ilkeleri açısından büyük önem taşımaktadır.

Asfaltit madenciliği sonucu oluşan pasa alanlarının plansız bir şekilde depolanması, önemli ölçüde arazi bozunumuna yol açmaktadır. Bu durum, tarım arazileri, meralar ve ormanlık alanların kaybına neden olarak doğal ekosistemlerin zarar görmesine ve biyoçeşitliliğin azalmasına katkıda bulunmaktadır. Özellikle büyük hacimli pasa yığınlarının kontrolsüz bir şekilde yayılması, verimli toprakların üzerini

örterek toprak üretim kapasitesini düşürmekte ve tarımsal faaliyetleri olumsuz etkilemektedir.

Şırnak bölgesindeki asfaltit pasa malzemelerinin jeokimyasal özellikleri, bu atıkların çevresel etkilerini anlamak ve değerlendirme potansiyellerini belirlemek açısından kritik öneme sahiptir.

Asfaltit pasa malzemelerinin genellikle yüksek oranda pirit (FeS_2) içermektedir. Piritin hava ve su ile temas halinde oksitlenmesi sonucu sülfürik asit (H_2SO_4) oluşur ve bu durum asit maden drenajına (AMD) yol açar. Oluşan bu asidik ortam, pasa malzemesi içerisinde bulunan çeşitli ağır metallerin çözünürlüğünü ve hareketliliğini artırarak toprak ve su kaynakları için ciddi bir tehdit oluşturabilir. Şırnak asfaltit pasa malzemelerindeki yüksek pirit içeriği, bu atıkların önemli bir AMD potansiyeline sahip olduğunu göstermektedir.

Asfaltit pasa malzemelerinin asit maden drenajı (AMD) oluşturma potansiyeli, bölgedeki su kaynakları üzerindeki olası etkileri açısından özel bir öneme sahiptir. Şırnak'taki asfaltit madenlerinin yakınında akan Nerdüş Deresi üzerine yapılan bir çalışmada, dere suyunun genellikle alkali olduğu ve düşük metal içeriğine sahip olduğu sonucuna varılmıştır (Kantarcı vd., 2024). Bu durum, bölgedeki jeolojik koşulların (muhtemelen ana kayadaki kalsit ve dolomit gibi karbonat minerallerinin varlığı) maden atıklarının asidik potansiyelini tamponlayabileceğini düşündürmektedir. Ancak, çalışmada dere suyunda nispeten yüksek seviyelerde toplam çözünmüş katı madde (TDS) tespit edilmiş olup, bu durumun asfaltit maden sahalarının jeolojik oluşumlarının suyun kimyasını etkilemesinden kaynaklanabileceği değerlendirilmiştir.

Nerdüş Deresi üzerindeki bulgular umut verici olsa da bu sonuçların Şırnak bölgesindeki tüm pasa alanlarının ve diğer su kaynaklarının durumu hakkında genel bir çıkarım yapmak için yeterli olmayabileceği unutulmamalıdır. Pasa yığınlarıyla doğrudan temas halindeki toprağın kalitesi ve bölgedeki diğer su kaynaklarının (göller, dereler, yeraltı suları) durumu farklılık gösterebilir. Özellikle, pasa alanlarından sızan suların toprak kalitesini nasıl etkilediği ve ağır metallerin liç yoluyla toprağa ne ölçüde yayıldığı daha detaylı araştırmalarla belirlenmelidir. Ayrıca, Nerdüş Deresi'ndeki yüksek TDS seviyesinin potansiyel ekolojik sonuçları da incelenmelidir. Bölgedeki su kaynaklarının genel kalitesini ve madencilik faaliyetlerinden kaynaklanan olası kirlilikle ilişkisini tam olarak değerlendirmek için daha kapsamlı bölgesel su kalitesi analizleri ve bilimsel çalışmalara ihtiyaç vardır.

Bitki örtüsünden yoksun asfaltit pasa alanları, rüzgâr erozyonuna bağlı olarak ince toz partiküllerinin (PM_{10} ve $PM_{2.5}$) atmosfere yayılmasına neden olmaktadır. Şırnak'ta 2021 yılı verilerine göre PM_{10} seviyeleri sınır değerlerin üzerindedir. Ayrıca, pasa alanlarındaki piritin ekzotermik oksidasyonu sonucu kendiliğinden yanmalar, SO_2 , CO ve NO_x gibi zararlı gazların salınımına yol açarak hava kalitesini olumsuz etkileyebilmektedir.

Pasa alanlarının kontrolsüz depolanması, tarım alanları ve doğal ekosistemler üzerinde ciddi tahribata yol açmaktadır. Bu durum hem arazi verimliliğini düşürmekte hem de bölgedeki görsel peyzajı olumsuz etkilemektedir. Görsel kirlilik, turizm potansiyelini de azaltarak yerel ekonomiye zarar verebilir.

Asfaltit pasası, yol dolgusu, stabilize malzeme veya düşük sınıf beton agregası olarak değerlendirilebilir. Ancak yüksek sülfür içeriği kullanımını sınırlamakta olup, kükürt giderme ve sabitleme yöntemlerinin uygulanması gerekmektedir.

Ön zenginleştirme işlemleriyle asfaltit pasa malzemeleri ikincil yakıt olarak kullanılabilir. Akışkan yataklı yakma teknolojisi ile düşük kaliteli yakıtlar verimli bir şekilde enerjiye dönüştürülebilirken, emisyonlar da kontrol altında tutulabilir.

Asfaltit pasa malzemeleri; demir, bakır, çinko, nikel, molibden ve vanadyum gibi metaller açısından zengin olup, pirometalurjik, kimyasal liç veya biyoliç yöntemleri ile bu metaller geri kazanılabilir.

Nötrleştirilmiş pasa malzemeleri tarım dışı arazilerin rehabilitasyonunda kullanılabilir. Ayrıca fitoremedasyon teknikleriyle pasa alanlarında bitkilendirme yapılarak hem erozyon kontrolü sağlanabilir hem de ekolojik iyileşme desteklenebilir. Uygun mühendislik özelliklerine sahip pasa malzemeleri, maden atık barajlarında dolgu malzemesi olarak da değerlendirilebilir.

4.8. Asfaltitin Termik Santralde Değerlendirilmesi

Şırnak ili Merkez ilçe sınırları içerisinde 3x135 Megawatt-elektrik (MWe) kurulu güçte akışkan yatak teknolojisine dayalı Silopi termik enerji santrali bulunmaktadır. Santralin toplam ısı gücü 405 MWt'dir.

Santralde yakıt olarak Şırnak ili sınırları içerisinde bulunan Avgamasya filonundan temin edilen asfaltit kullanılmaktadır. Bölgedeki önemli filonları içeren İR-2505 nolu ruhsat 2172 sayılı Kanun ile TKİ Genel Müdürlüğü'ne verilmiş olup bu

ruhsat içindeki filonlar uhdesi TKİ Genel Müdürlüğü'nde olmak üzere Şırnak İl Özel İdaresi tarafından işlettirilmektedir.

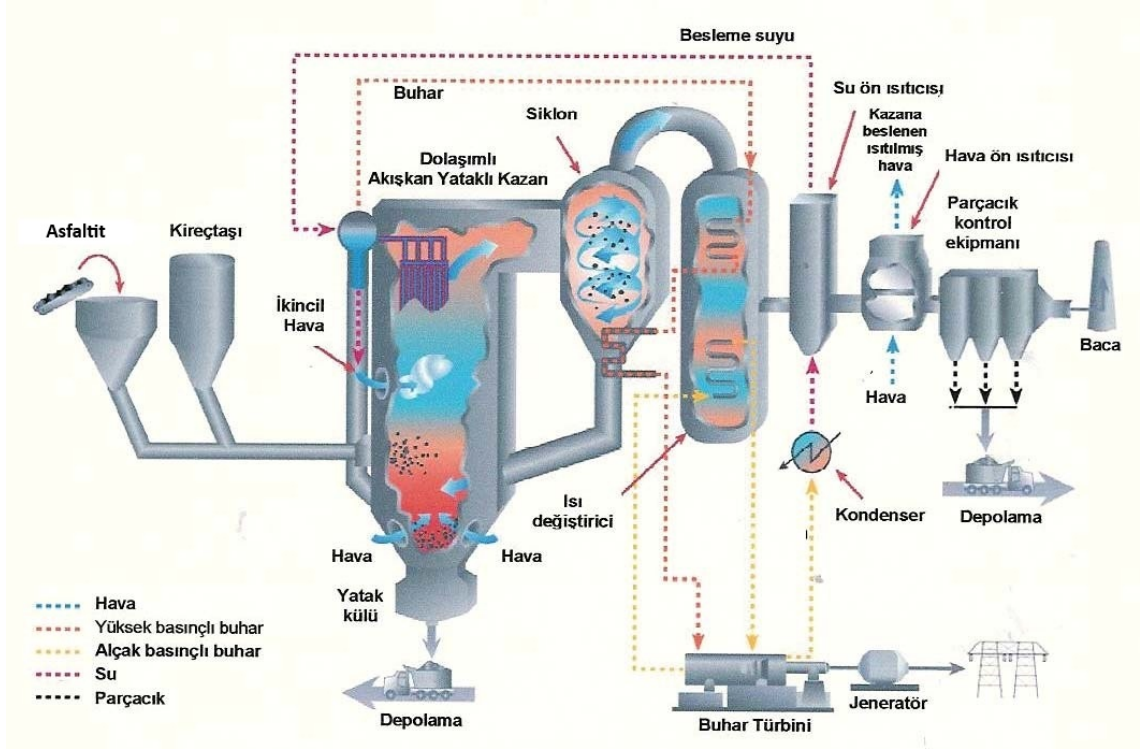
Santraldeki üretim teknolojisi dolaşımli akışkan yatak teknolojisi ile gerçekleşmektedir. Tesis. her biri 135 MWe brüt elektrik gücü üreten 3 üniteden oluşmaktadır. Tesiste iki adet 440 ton/saat buhar kapasiteli dolaşımli akışkan yataklı kazan, iki adet buhar türbini, jeneratör ve bunlara ilişkin yardımcı tesisler bulunmaktadır (Şekil 4.38).



Şekil 4.38. Silopi termik santral görüntüsü

Akışkan yatak teknolojisinde yakıtın düşük sıcaklıkta yanması nedeniyle de. azot oksit (NO_x) oluşumunu da en aza indirmektedir. Bu teknoloji ile gerek SO_2 ve gerekse NO_x emisyonları yasal mevzuattaki sınır değerlerin altında kalmaktadır (Şekil 4.39, Şekil 4.40).

Çalışma alanından alınan asfaltit numunesine asfaltitlerin enerji üretiminde kullanım potansiyelini daha iyi anlamak amacıyla. 12 Aralık 2004 - 20 Şubat 2005 tarihleri arasında Xian Termal Enerji Araştırma Enstitüsü'nde yakma testi gerçekleştirilmiştir. Bu kapsamda ilk olarak asfaltit ve kireçtaşı analiz edilerek bu örneklerin fiziksel ve kimyasal özellikleri belirlenmiştir.



Şekil 4.39. Dolaşımli akışkan yataklı termik santral modeli



Şekil 4.40. Silopi termik santrali uydu görüntüsü (Google Earth, 2025).

Asfaltit numunelerinde % 4.10 toplam nem, % 29.64 kül, % 52.7 C (karbon), % 5 yanabilir S (kükürt), % 1.78 Oksijen ve % 0.69 azot belirlenmiş olup en düşük ısı değeri 23.06 MJ/kg en yüksek ısı değeri ise 24.08 MJ/kg olarak belirlenmiştir. Asfaltitlerin kimyasal bileşimi ise % 20.32 SiO₂, % 11.75 Al₂O₃, % 23.47 CaO, % 4.46

MgO, % 1.23 Na₂O, % 3.03 K₂O, % 0.52 TiO₂, % 28.65 SO₃ ve % 1.40 Diğer bileşenler şeklindedir. Yakma testlerinde ayrıca asfaltitlerin termal özellikleri ve yanma verimliliği analiz edilmiştir. Ayrıca kireçtaşı eklenerek desülfürizasyon verimliliği incelenmiş ve baca gazı emisyonları ölçülmüştür.

Test sonuçlarına göre, asfaltitlerin yüksek kalorifik değere sahip olduğu ve enerji üretimi açısından uygun bir yakıt olduğu belirlenmiştir. Ancak yüksek kükürt içeriği nedeniyle yanma sırasında SO₂ emisyonlarının arttığı gözlemlenmiştir. Bunun önlenmesi için kireçtaşı eklenerek desülfürizasyon işlemi uygulanmış ve SO₂ emisyonları belirlenen sınırların altına çekilmiştir. Eklenen kireçtaşlarının tane boyu 0.250-0.425 mm, CaCO₃ içerikleri % 92.75, yanma kaybı % 39.98 ve yoğunlukları 1477 kg/m³ olarak belirlenmiştir. Kireçtaşının kimyasal bileşim ise; % 51.94 CaO, % 0.65 MgO, % 3.30 SiO₂, % 0.68 Al₂O₃, % 0.25 Fe₂O₃, % 0.05 K₂O, % 0.09 Na₂O, % 0.10 TiO₂, % 0.02 P₂O₅ ve % 42.92 diğer bileşenler şeklindedir.

Yakma testinde asfaltitin içsel kükürt tutma kapasitesi kireçtaşı ekleyerek desülfürizasyon verimliliği ve hava aşamalı sistemle azot oksit (NO_x) emisyonları incelenmiştir. Testler 785°C ile 865°C arasındaki sıcaklıklarda yapılmıştır. Yakmadan önce asfaltit ve kireçtaşı üzerinde yapılan detaylı analizler; proximate (yaklaşık) ve ultimate (sonuç) analizler partikül boyut dağılımı ve kükürt içeriği gibi çeşitli veriler içermektedir.

Testlerin ana amacı yanma odasında sabit sıcaklık koşullarını sağlamak ve SO₂ emisyon limitlerine ulaşmak için gerekli kireçtaşı miktarını belirlemektir. Ayrıca, ikinci hava (air staging) kullanılarak NO_x emisyonları incelenmiştir. Sonuçlar asfaltitin yüksek bir içsel kükürt dioksit tutma kapasitesine sahip olduğunu göstermiş olup bu durum beklenen emisyon seviyelerinin (örneğin, 2000 mg/m³N yerine 11.500 mg/m³N) çok altında kalmıştır.

Hava aşamalı sistemi kullanılarak NO_x emisyonları azaltılmıştır. Sonuçlar hava aşamasının NO_x konsantrasyonlarını düşürdüğünü ancak SO₂ emisyonlarını biraz artırdığını göstermiştir. Bu sülfat oluşum reaksiyonu için yeterli oksijen sağlanamamasından kaynaklanabilir.

Kireçtaşı eklenerek yakılan asfaltitlerde % 6 O₂ bazında 349.5 µg/m³ SO₂, 182.4 µg/m³ NO₂ ve %34.5 µg/m³ CO emisyonları ölçülmüştür. Buna göre kireçtaşı eklenmesiyle SO₂ emisyonları etkin bir şekilde azaltılmış ve 1000 µg/m³'lük emisyon sınırlarının altına çekilmiştir.

Testler asfaltitin yüksek kükürt tutma potansiyeline sahip olduğunu ve kireçtaşı eklemesinin SO₂ emisyon limitlerine ulaşılmasına yardımcı olduğunu doğrulamıştır. Ayrıca, NO_x emisyonları tasarım limitleri içinde kalmış ve CO emisyonları AB Büyük Yakma Tesisi Yönergesi'ne göre 200 µg/m³ N sınırının altına düşmüştür.

4.9. Asfaltitin Zenginleştirme Yöntemleri

Şırnak ili ve çevresinde çıkarılan asfaltitler, doğal yapılarında kil, kuvars, feldispat, kalsit ve pirit gibi kül mineralleri barındırmaktadır (Özbayoğlu ve Kemal, 2014). Kül oranının artması, kömürün ısıl değerinin ve genel kalitesinin düşmesine neden olmaktadır (Özbayoğlu ve Kemal, 2014). Bu nedenle, kalitesiz kömürlerin çeşitli zenginleştirme proseslerinden geçirilerek daha yüksek ısıl değerli ve çevreye daha az zarar veren "temiz kömür" haline getirilmesi önem arz etmektedir (Özbayoğlu ve Kemal, 2014).

Kömür yıkama tesislerinde (lavvarlar) genellikle üç ürün grubu elde edilmektedir: lave (temiz kömür), mikst (ara ürün) ve şist (atık) (Özbayoğlu ve Kemal, 2014). Güneydoğu Anadolu Bölgesi asfaltitleri de bu yöntemlerle zenginleştirilebilir. Bu amaçla laboratuvar ölçeğinde çalışmalar yapılarak uygun yöntemler belirlenmelidir (Özbayoğlu ve Kemal, 2014).

4.9.1. Özgül Ağırlık Farkına Göre Ayırma

Kömür ve kül mineralleri arasındaki özgül ağırlık farkı, kömürün zenginleştirilmesinde en çok yararlanılan parametrelerden biridir. Flotasyon, yağ aglomerasyonu ve eleme dışında kalan bütün kömür zenginleştirme teknikleri, gravite ayırmalarına dayalıdır. Bu yöntemde ağır ortam ayırıcıları, sarsıntılı masalar, jigler, siklonlar, spiraller, koniler ve santrifüj etkili MGS, Falcon ve Knelson konsantratörleri kullanılmaktadır (Özbayoğlu ve Kemal, 2014).

Dünyada ve Türkiye'de kömür zenginleştirmede en çok kullanılan yöntemlerden biri ağır ortam ayırmadır. Bu yöntemde, mikronize öğütülmüş manyetit tanecikleri ile su karıştırılarak hazırlanan ağır ortamda düşük yoğunluklu kömür taneleri yüzdürülürken, yüksek yoğunluklu kül mineralleri batarak ayrıştırılır (Özbayoğlu ve Kemal, 2014).

4.9.2. Flotasyon

Tane boyutu küçüldükçe, kömürün zenginleştirilmesinde kullanılacak teknikler değişmektedir (Özbayoğlu ve Kemal, 2014). 0,2 mm'den küçük boyutlu toz kömürlerin zenginleştirilmesinde flotasyon en uygun yöntemlerden biridir. Flotasyon işlemi sırasında doğal olarak hidrofobik olan kömür taneleri, hava kabarcıklarına tutunarak yüzeye çıkar (Özbayoğlu ve Kemal, 2014). Flotasyon verimini artırmak için yüzey aktif maddeler (örneğin gaz yağı) kullanılarak kömürün hidrofobikliği artırılır (Özbayoğlu ve Kemal, 2014).

4.9.3. Kömürün Gazlaştırılması

Kömürün gazlaştırılması, kömürün sınırlı oksijen ve su buharı ile yüksek sıcaklıklarda kimyasal reaksiyona sokularak yanıcı bir gaz karışımına (sentez gazı) dönüştürülmesidir (Budak, 2014). Bu işlem sayesinde kömür doğrudan yakılmadan, gaz yakıtlar üretilerek enerji elde edilir (Budak, 2014).

Gazlaştırma süreci dört aşamada gerçekleşir:

- **Kurutma:** 100–200°C’de kömürün içindeki su buharlaşır.
- **Piroliz:** 200–600°C’de kömürden uçucu bileşenler çıkar.
- **Oksidasyon:** Hava veya oksijen ile egzotermik reaksiyonlar olur, sıcaklık yükselir.
- **Gazlaştırma:** Su buharı ve karbon tepkimesiyle CO, H₂ gibi gazlar oluşur (Budak, 2014).

Gazlaştırma işlemi genellikle 800–1800°C sıcaklık aralığında yapılır. Kullanılan ortama bağlı olarak sentez gazının bileşimi değişir. Saf oksijenle yapılan gazlaştırmada daha yüksek kaliteli gaz elde edilir (Budak, 2014).

Sentez gazı elektrik üretiminde, sıvı yakıt ve kimyasal madde üretiminde kullanılabilir (Nakaten, 2014). Ayrıca, karbon yakalama işlemleri bu yöntemle daha kolay ve ekonomik hale gelir (Nakaten, 2014).

4.9.4. Yerinde Kömür Gazlaştırma

Yerinde kömür gazlaştırma (Yeraltı Kömür Gazlaştırması, YKG), özellikle düşük kaliteli ve derin kömür rezervlerinin değerlendirilmesini sağlamaktadır (Tunç, 2015). Bu yöntemde enjeksiyon ve üretim kuyuları açılarak, kömürün yeraltında hava, oksijen ve su buharı ile gazlaştırılması sağlanır ve elde edilen sentez gazı (syngaz) yüzeye çıkarılır (Tunç, 2015). Bu yöntem sonucunda CH₄, CO₂, H₂O, H₂ ve CO içeren

bir gaz karışımı elde edilmektedir (Budak, 2014). Sentez gazı; kimyasal hammaddeler, sıvı yakıtlar, hidrojen üretimi veya elektrik üretiminde kullanılabilir (Nakaten, 2014).

Yer altı kömür gazlaştırma teknolojisinin klasik madencilğe göre avantajları arasında düşük yatırım maliyeti, çevresel etkilerin azalması ve karbon yakalama işlemlerinin daha ekonomik olması sayılabilir (Budak, 2014). Türkiye'de yapılan çeşitli saha çalışmalarıyla (Seyitömer, Tunçbilek, Soma, Yatağan vb.) bu yöntemin uygulanabilir olduğu belirlenmiştir (Ekim, 2011; Tunç, 2015).

4.10. Asfaltit Küllerinin Değerlendirilmesi

Asfaltit kok ve küllerinde bulunan değerli metallerin geri kazanımı için liç yöntemi kullanılmaktadır. Bu yöntemde, atıklar H_2SO_4 gibi kimyasallarla çözündürülüp sıvı faza alınmakta, ardından hidrojen sülfür kullanılarak metaller sülfid halinde çöktürülmektedir (Alp, 1997).

MTA Genel Müdürlüğü tarafından yapılan çalışmalarda, asfaltitten sentetik petrol üretimi ile yan ürün olarak amonyak ve H_2S elde edilmiştir. Ayrıca küllerinden vanadyum (V), nikel (Ni), molibden (Mo), uranyum (U) ve titanyum (Ti) gibi değerli elementlerin geri kazanımı üzerine başarılı laboratuvar çalışmaları gerçekleştirilmiştir (Şengüler, 2007).

Araştırmalar, Şırnak asfaltitlerinin yüksek petrol içeriğine sahip olduğunu ve kalan katı kısmın yakıt olarak kullanılabileceğini göstermiştir (Şengüler, 2007). Yakılan asfaltit küllerinde %0,20 Ni, %0,33 Mo, %0,57 V, %1,15 Ti ve %0,006–0,022 U_3O_8 bulunduğu belirlenmiştir. (Saltoğlu, 1977; Alp, 1997).

Asfaltit pirolizinden %10–11 oranında sentetik ham petrol ve %19–21 oranında sentetik gaz yakıt elde edilmekte, geriye kalan katı ürün ise 400 kcal/kg ısı değerli bir yakıt olarak değerlendirilebilmektedir (Saltoğlu, 1977; Alp, 1997).

Şırnak asfaltit küllerinde yapılan analizlerde Mo: %0,29–0,33, Ni: %0,20–0,33, V: %0,35–0,57, Ti: %0,33–1,15 ve U_3O_8 : %0,006–0,022 oranlarında değerli metaller bulunmuştur (Saltoğlu, 1977; Alp, 1997).

Ayrıca Şırnak'taki farklı filonlarda (Harbul, Milli, Avgamasya, Seridahli, Karatepe) demir, molibden, nikel, talyum ve diğer elementlerin ppm düzeyinde bulunduğu tespit edilmiştir (Ayhan vd., 2018).

Sonuç olarak, asfaltit küllerinden değerli metaller geri kazanılabilir ve kalan atıklar dolgu ve hammadde olarak değerlendirilebilir. Böylece hem ekonomik fayda sağlanır hem de çevresel etkiler azaltılır.

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Şırnak İli ve Güneydoğu Anadolu Bölgesi, Türkiye'nin en zengin asfaltit rezervlerini barındıran stratejik öneme sahip bir bölgedir. Söz konusu asfaltit yataklarının enerji üretimi ve endüstriyel uygulamalarda değerlendirilmesi, ülkemizin enerji çeşitliliği açısından önemli bir potansiyel teşkil etmektedir. Bununla birlikte, yüksek kükürt (%5.55) ve kül (%47.28) içeriğine sahip olması nedeniyle, bu kaynağın çevresel etkilerinin minimize edilebilmesi için ileri arıtma teknolojilerinin geliştirilmesi ve uygulanması gerekmektedir. Yapılacak bilimsel araştırma ve teknolojik geliştirme çalışmaları sayesinde asfaltitin alternatif enerji kaynağı olarak kullanım verimliliği artırılabilir ve bu sayede Türkiye'nin enerji arz güvenliğine ve enerji bağımsızlığına önemli katkılar sağlanabilir. Bu bağlamda, sürdürülebilir kalkınma hedefleri doğrultusunda çevresel etkilerin kontrol altına alınması ve enerji verimliliğinin maksimize edilmesi için multidisipliner araştırma projelerinin desteklenmesi büyük önem arz etmektedir.

5.1 Sonuçlar

Üst Kretase dönemine ait marn ve kireçtaşı birimleri içerisinde yer alan asfaltit filonları, bölgedeki tektonik yapılanma süreçleriyle ilişkili olarak özellikle kırık zonları boyunca yerleşim göstermektedir. Stratigrafik analizler, asfaltit oluşumlarının geçirimsiz marn tabakaları arasında veya fay sistemleriyle ilişkili kırık yüzeylerinde kontrollü bir şekilde geliştiğini ortaya koymaktadır. Bu jeolojik konumlanma, rezervlerin yatay devamlılığı üzerinde belirgin bir sınırlayıcı faktör oluşturmakta olup hem lokal kalınlık artışlarına hem de rezerv dağılımında önemli heterojenliklere yol açmaktadır. Söz konusu stratigrafik ve yapısal kontrol mekanizmaları, bölgedeki asfaltit yataklarının morfolojik karakteristiğini ve ekonomik potansiyelini doğrudan etkileyen temel parametreler olarak değerlendirilmektedir.

Şırnak ilinde yapılan araştırmalar, bölgedeki 13 asfaltit filonunda toplam 80-82 milyon ton rezerv bulunduğunu ortaya koymaktadır. Rezerv dağılımı incelendiğinde, en önemli yatakların Harbul (25.8 milyon ton) ve Üçkardeşler (20.4 milyon ton) filonlarında yoğunlaştığı, bunun yanı sıra güneybatı kesimde yer alan Avgamasya Filonu'nda da 10 milyon ton rezerv bulunduğu tespit edilmiştir. MTA tarafından yapılan sınıflandırmaya göre, toplam rezervin 45 milyon tonu görünür, 29 milyon tonu ise muhtemel rezerv kategorisinde değerlendirilmektedir. Filonların morfometrik özellikleri incelendiğinde, uzunluklarının 3-4 km (Avgamasya Filonu 3.5 km) arasında değiştiği, kalınlıklarının ise 15-100 m aralığında olduğu belirlenmiştir. Jeolojik konumları

itibariyle bu yatakların büyük çoğunluğu geçirimsiz marn birimleri içerisinde veya kırık sistemleri boyunca uzanmaktadır. Bölgede gerçekleştirilen açık işletme madenciliği ile yıllık ortalama 30-35 bin ton düzeyinde üretim yapılmakta olup, bu üretimin önemli bir bölümü Silopi Termik Santrali'nin enerji ihtiyacını karşılamak üzere değerlendirilmektedir. Bu durum, asfaltit kaynaklarının bölge ekonomisine olan katkısını açık bir şekilde ortaya koymaktadır.

Avgamasya filonuna ait sondaj verilerinin analizi ve üç boyutlu modelleme çalışmaları sonucunda, sahada 6.996.105 ton görünür rezerv tespit edilmiştir. Laboratuvar analizleri, filondaki asfaltitlerin yüksek karbon içeriği ve yaklaşık 4344 cal/g (18,1 MJ/kg) ısı değeri ile enerji üretimi açısından önemli bir potansiyele sahip olduğunu ortaya koymuştur. Bununla birlikte, %46-47 kül ve %5-6 toplam kükürt içeriği, yakım süreçlerinde ciddi çevresel etkilere (SO₂ emisyonları ve mineral atık birikimi) yol açabilecek parametreler olarak belirlenmiştir. Öte yandan, Saltoğlu vd. (1978) tarafından kül fraksiyonunda tespit edilen nikel (Ni), vanadyum (V), molibden (Mo) ve uranyum (U) gibi stratejik elementlerin varlığı, bu yan ürünlerin ekonomik değerlendirilmesi açısından önemli fırsatlar sunmaktadır. Bu bulgular, asfaltit kaynaklarının sürdürülebilir kullanımı için hem çevresel etkilerin minimize edilmesi hem de yan ürün değerlendirme stratejilerinin geliştirilmesi gerekliliğini işaret etmektedir.

Bölgedeki madencilik faaliyetleri temel olarak açık ocak işletme yöntemiyle gerçekleştirilmektedir. Başlıca üretim filonları olan Harbul, Silip ve Üçkardeşler sahalarında uygulanan üretim süreci; örtü tabakasının kaldırılması, delme işlemleri ve kontrollü patlatma tekniklerinin uygulanmasıyla başlamaktadır. Patlatma sonrası elde edilen kaba malzeme, primer ve sekonder kırıcı ünitelerinde boyut küçültme işlemine tabi tutulmakta, ardından hidrolik ekskavatörler ve yükleyiciler vasıtasıyla nakliye araçlarına yüklenmektedir. Bu operasyonel süreçler, üretim verimliliğini maksimize etmek ve malzeme yönetimini optimize etmek amacıyla detaylı mühendislik planlamaları doğrultusunda yürütülmektedir. Ancak, işletme faaliyetlerinin doğası gereği; motorize ekipman kullanımından kaynaklanan egzoz emisyonları ve malzeme hareketlerinden oluşan partikül madde yayılımı kaçınılmaz olarak gözlemlenmektedir. Ayrıca, patlatma operasyonları sırasında oluşan dinamik titreşimler ve şok dalgaları, hem kaya kütlelerinde yeni çatlak sistemlerinin oluşumuna hem de yakın çevredeki yapısal elemanlarda potansiyel hasarlara neden olabilmektedir. Bu çevresel etkilerin

minimize edilmesi için ileri patlatma teknolojilerinin uygulanması ve sürekli izleme programlarının hayata geçirilmesi büyük önem arz etmektedir.

Nerdüş Deresi'nin hidrokimyasal özelliklerine ilişkin mevsimsel analizler, su kütlesinin $\text{Ca}^{2+}/\text{Mg}^{2+} > \text{Na}^+/\text{K}^+$ katyon ve $\text{HCO}_3^- > \text{Cl}^-/\text{SO}_4^{2-}$ anyon hakimiyetinde, orta tuzluluk seviyesine sahip sıcak-sert su sınıfında yer aldığını ortaya koymuştur (Kantarıcı vd., 2024). Yapılan spektrofotometrik analizler sonucunda, su örneklerindeki element konsantrasyonlarının Dünya Sağlık Örgütü (WHO) ve Türk İçme Suyu Standartları'nın belirlediği sınır değerlerin genel olarak altında kaldığı tespit edilmiştir. Bununla birlikte, mevsimsel varyasyonlar çerçevesinde yağışlı dönemlerde potasyum iyonlarında, kurak dönemlerde ise sülfat konsantrasyonlarında hafif artışlar gözlemlenmiştir.

Çalışmanın en önemli bulgusu, suyun nötr pH değerlerinde stabilite göstermesi ve eser element analizlerinde ağır metal konsantrasyonlarının oldukça düşük seviyelerde tespit edilmesidir. Bu sonuçlar, bölgedeki madencilik faaliyetlerinin su kütlesinde belirgin bir asitleşmeye veya metal kirlenmesine yol açmadığını göstermektedir. Ancak, uzun vadeli izleme programlarının uygulanması, olası çevresel etkilerin erken tespiti açısından önem arz etmektedir.

Şırnak ilinde yaygın olarak kullanılan asfaltit kökenli yakıtların yanma süreçleri, özellikle kış mevsiminde atmosferik kirlenmeye neden olmaktadır. Asfaltitin karakteristik olarak yüksek kükürt ve kül içeriği, termal dönüşüm süreçlerinde SO_2 ve PM_{10} gibi kritik kirlenme ajanlarının atmosfere salınımını arttırmaktadır. Bu emisyonlar, Dünya Sağlık Örgütü'nün belirlediği eşik değerlere yaklaşan konsantrasyonlarda ölçülmekte olup, solunum yolu hastalıkları başta olmak üzere çeşitli sağlık riskleri oluşturabilmektedir. Ancak, Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı'na ait Şırnak-Silopi Hava Kalitesi İzleme İstasyonu'nun 2023 yılı verileri incelendiğinde, partiküler madde ve kükürt dioksit konsantrasyonlarının genellikle "orta" kategoride (AQI: 51-100) seyrettiği ve mevzuatta belirtilen sınır değerleri aşmadığı tespit edilmiştir. Atmosferik SO_2 konsantrasyonlarının $7.57\text{--}122.79\text{ }\mu\text{g}/\text{m}^3$ aralığında mevsimsel değişim gösterdiği ve özellikle kış periyotlarında düşük kalorifik değere sahip yakıtların ısınma amaçlı kullanımına bağlı olarak pik değerlere ulaştığı gözlemlenmiştir. Paralel olarak, PM_{10} konsantrasyonlarının $44.03\text{--}80.45\text{ }\mu\text{g}/\text{m}^3$ aralığında ölçüldüğü ve bu değerlerin büyük ölçüde termik santral operasyonlarından kaynaklanan inorganik kül emisyonlarıyla ilişkili olduğu tespit edilmiştir. Mevcut izleme verilerinin analizi, bölgedeki asfaltit madenciliği faaliyetleri ve termik santral emisyonlarının, hava kalitesi parametreleri üzerinde şu an için sınırlı bir etki profili

sergilediğini ortaya koymaktadır. Bununla birlikte, emisyon karakterizasyonunun uzun vadeli izlenmesi ve kirletici dağılım modellemelerinin yapılması, potansiyel çevresel etkilerin daha kapsamlı değerlendirilmesi açısından önem arz etmektedir.

Asfaltit madenciliği sonucu oluşan pasa malzemelerinin kontrolsüz depolanması, çevresel açıdan ciddi riskler oluşturmaktadır. Bu depolama alanları, toprak ve yeraltı suyu kirliliği, arazi degradasyonu, erozyon artışı ve peyzaj bütünlüğünün bozulması gibi çok boyutlu çevresel sorunlara yol açmaktadır.

Asfaltitlerin enerji verimliliğini artırmak amacıyla çeşitli zenginleştirme teknikleri uygulanabilmektedir. Özgül ağırlık farkına dayalı ayırma, flotasyon ve gazlaştırma gibi yöntemlerle yakıt kalitesi önemli ölçüde iyileştirilebilmektedir. Akışkan yatak teknolojisiyle gerçekleştirilen yakma testleri, uygun desülfürizasyon prosesleriyle SO_2 ve NO_x emisyonlarının mevzuat sınır değerlerinin altında tutulabileceğini göstermiştir. Kireçtaşı katkılı kontrollü yanma prosesleri ise çevresel performansın optimize edilmesine olanak sağlamaktadır. Asfaltit atıklarının değerlendirilmesi konusunda önemli fırsatlar bulunmaktadır. Kül ve pasa malzemelerinden nikel, molibden, vanadyum ve uranyum gibi stratejik metallerin ekonomik geri kazanımı mümkündür. Kimyasal liç ve piroliz gibi ileri işlem teknikleriyle bu atıklar ikincil hammadde kaynağına dönüştürülebilmektedir. Ayrıca, bu malzemelerin yol dolgu malzemesi, beton agregası ve toprak iyileştirici olarak kullanım potansiyeli de deneysel çalışmalarla kanıtlanmıştır.

Bu çalışmanın bulguları, asfaltitin enerji üretiminde stratejik bir kaynak olarak değerlendirilebileceğini, ancak çıkarım ve kullanım süreçlerinde oluşan atıkların sürdürülebilir yönetim stratejileriyle kontrol altına alınması gerekliliğini ortaya koymaktadır. Asfaltit madenciliği sonucu oluşan pasa malzemelerinin kontrolsüz depolanması, çok boyutlu çevresel etkilere neden olmaktadır. Bu etkiler arasında toprak ve yüzey/yeraltı suyu kirliliği, arazi degradasyonu, artan erozyon riski ve peyzaj bütünlüğünün bozulması sayılabilir. Bu bağlamda, pasa yönetiminin bütüncül bir yaklaşımla ele alınması ve sadece bertaraf odaklı değil, aynı zamanda yeniden kullanım, geri dönüşüm ve rehabilitasyon potansiyellerini de içerecek şekilde planlanması gerekmektedir. Bu kapsamda, pasa malzemelerinin karakterizasyonu ve uygun yönetim stratejilerinin geliştirilmesi, sürdürülebilir madencilik uygulamalarının hayata geçirilmesi açısından kritik öneme sahiptir.

Asfaltitlerin enerji verimliliğini ve çevresel performansını iyileştirmek amacıyla çeşitli zenginleştirme teknikleri uygulanabilmektedir. Özgül ağırlık farkına dayalı

ayırma, flotasyon ve gazlaştırma gibi prosesler, yakıt kalitesinde önemli artışlar sağlamaktadır. Deneysel çalışmalar, akışkan yatak teknolojisi kullanılarak gerçekleştirilen yakma işlemlerinde uygun desülfürizasyon yöntemleriyle SO₂ ve NO_x emisyonlarının mevzuat limitlerinin altında tutulabildiğini göstermektedir. Ayrıca, kireçtaşı katkılı kontrollü yanma proseslerinin çevresel performans parametrelerinde kayda değer iyileşmeler sağladığı tespit edilmiştir. Asfaltit atıklarının değerlendirilmesine yönelik yapılan araştırmalar, kül ve pasa malzemelerinden nikel (Ni), molibden (Mo), vanadyum (V) ve uranyum (U) gibi stratejik metallerin ekonomik olarak geri kazanılabileceğini ortaya koymaktadır. Kimyasal liç ve piroliz gibi ileri işlem teknikleri, bu atıkların ikincil hammadde kaynağına dönüştürülmesinde etkili yöntemler olarak belirlenmiştir. Aynı zamanda, bu malzemelerin inşaat sektöründe yol dolgu malzemesi ve beton agregası olarak, ayrıca tarımsal uygulamalarda toprak iyileştirici olarak kullanım potansiyeli deneysel çalışmalarla kanıtlanmıştır. Bu bulgular, asfaltit atık yönetiminde döngüsel ekonomi prensiplerinin uygulanabilirliğini desteklemektedir.

Bu çalışmanın bulguları, Şırnak bölgesindeki asfaltit kaynaklarının enerji üretim potansiyeli ile çevresel etkilerinin bütüncül bir şekilde değerlendirilmesi sonucunda, uygun teknolojik yöntemler ve entegre atık yönetimi stratejileri sayesinde sürdürülebilir bir şekilde değerlendirilebileceğini ortaya koymaktadır. Özellikle akışkan yatak teknolojisi, desülfürizasyon prosesleri ve metal geri kazanım sistemleri gibi ileri tekniklerin uygulanmasıyla hem enerji verimliliğinin artırılabilmesi hem de emisyonların kontrol altına alınabileceği tespit edilmiştir. Ayrıca pasa ve kül malzemelerinin yol yapım malzemesi olarak değerlendirilmesi veya stratejik metallerin geri kazanımı gibi döngüsel ekonomi uygulamalarının, bölgede sürdürülebilir madencilik faaliyetlerinin geliştirilmesine önemli katkı sağlayacağı değerlendirilmektedir. Bu kapsamda, bölgeye özgü geliştirilecek entegre bir maden yönetim stratejisinin hem enerji üretiminde kaynak çeşitliliğine katkı sağlayacağı hem de çevresel etkilerin minimize edilmesine olanak tanıyacağı sonucuna varılmıştır.

5.2 Öneriler

Madencilik faaliyetlerinden kaynaklanan çevresel etkilerin minimize edilmesi için çok boyutlu önlemlerin uygulanması gerekmektedir. Patlatma operasyonlarından kaynaklanan titreşim ve şok dalgalarının kaya kütlelerinde çatlak oluşumuna ve çevresel yapılarda hasara yol açma potansiyeli nedeniyle, titreşim izleme sistemlerinin sürekli olarak kullanılması ve patlatma parametrelerinin uzman yazılımlarla optimize edilmesi

kritik önem taşımaktadır. Toz kontrolüne yönelik olarak, taşıma ve döküm işlemlerinde su püskürtme sistemleri, rüzgâr perdeleri ve kapalı konveyör sistemlerinin devreye alınması önerilmektedir. Emisyon azaltımı için ise Euro veya Tier standartlarına uygun motorların kullanımı ve taşıma araçlarında partikül filtreleri ile SCR (Selective Catalytic Reduction) sistemlerinin entegrasyonu tavsiye edilmektedir.

Su kaynaklarının korunması amacıyla, sediment tutucu havuzlar, nötralizasyon sistemleri ve kapalı su toplama altyapılarının kurulması, ayrıca düzenli su kalite izleme programlarının uluslararası standartlara uygun şekilde uygulanması gerekmektedir. Hava kalitesinin iyileştirilmesi için, Silopi Termik Santrali gibi tesislerde baca gazı arıtım sistemlerinin (kireçli yıkayıcılar, elektrostatik filtreler) tam kapasiteyle çalıştırılması ve yerleşim bölgelerinde $PM_{10}/PM_{2.5}$ sensörleriyle gerçek zamanlı izleme yapılarak erken uyarı mekanizmalarının devreye alınması önerilmektedir. Bu önlemler hem çevresel sürdürülebilirliğin sağlanmasına hem de bölgedeki madencilik faaliyetlerinin sosyal kabulünün artırılmasına katkı sağlayacaktır.

Açık ocak madenciliği sonucu oluşan kaya yığınlarının çevresel etkilerinin azaltılması için geosentetik geçirimsiz örtülerle kapatılması ve erozyon kontrolü amacıyla sedde-drenaj sistemlerinin entegre edilmesi gerekmektedir. Peyzaj restorasyonu kapsamında, yığın yüzeylerinin yerel ve erozyon dirençli bitki türleri ile stabilize edilmesi ve stoklanan toprak örtüsünün rehabilitasyon sürecinde yeniden kullanılması önerilmektedir. İşletme sonrası aşamada ise, açık ocak alanlarının su havzasına dönüştürülmesi veya ağaçlandırma yoluyla ekosistem hizmetlerini destekleyecek şekilde yeniden kazanımı sağlanmalıdır. Asfaltit pasa malzemelerinin yönetiminde, pirit içeriğinden kaynaklanan asit maden drenajı (AMD) riskinin azaltılması için çok katmanlı bir yaklaşım uygulanmalıdır. Bu kapsamda: (1) pasa depolama alanlarında sürekli pH ve metal içerik izleme programları uygulanmalı, (2) nötralizasyon amacıyla kireç/kalker uygulamaları yapılarak asidik koşullar kontrol altına alınmalı, (3) fitoremedasyon teknikleriyle ağır metal stabilizasyonu sağlanmalıdır. Bu entegre yöntemler hem jeokimyasal stabilizasyonu hem de ekolojik restorasyon süreçlerini destekleyecektir.

Asfaltitin yüksek kül ve kükürt içeriğinin azaltılması amacıyla, özgül ağırlık farkına dayalı ayırma, flotasyon ve manyetik ayırma gibi fiziksel zenginleştirme yöntemlerinin uygulanması gerekmektedir. Bu prosesler sayesinde hem yakıtın ısıl değerinde artış sağlanabilmekte hem de daha temiz bir enerji kaynağı elde edilebilmektedir. Ancak, bu işlemler sonucunda ortaya çıkan yan ürünlerin de

sürdürülebilir yöntemlerle değerlendirilmesi önem arz etmektedir. Asfaltitin doğrudan yakılması durumunda, yüksek kükürt ve kül içeriği nedeniyle önemli miktarda hava kirletici emisyonu oluşmaktadır. Bu nedenle, geleneksel yakma sistemleri yerine akışkan yataklı yakma teknolojileri, gazlaştırma ve piroliz gibi ileri termal dönüşüm yöntemlerinin kullanımı teşvik edilmelidir. Bu teknolojiler, termik santrallerde uygulandığında hem emisyon kontrolünü sağlamakta hem de enerji dönüşüm verimliliğini önemli ölçüde artırmaktadır.

Asfaltit atıklarının değerlendirilmesine yönelik olarak, kül ve pasa malzemelerinden vanadyum (V), nikel (Ni), molibden (Mo), uranyum (U) ve titanyum (Ti) gibi stratejik metallerin geri kazanım potansiyelinin araştırılması gerekmektedir. Bu kapsamda, öncelikle kimyasal liç, pirometalurjik işlemler ve biyometalurji yöntemlerinin bölgesel uygulanabilirliğini değerlendiren pilot ölçekli tesislerin kurulması ve bu yöntemlerin teknik-ekonomik fizibilitelerinin detaylı olarak incelenmesi önerilmektedir. Stabilize edilmiş pasa malzemelerinin inşaat sektöründe ikincil hammadde olarak değerlendirilmesi (yol alt yapısı, beton katkı maddesi ve maden dolgu malzemesi gibi uygulamalar) mümkün olmakla birlikte, bu amaçla kullanılacak malzemelerin mekanik özelliklerinin (taşıma kapasitesi, kompaksiyon davranışı) ve kimyasal kompozisyonunun (ağır metal içeriği, pH değeri) ilgili ulusal ve uluslararası standartlara (TS EN, ASTM gibi) uygunluğunun laboratuvar ortamında kapsamlı testlerle doğrulanması gerekmektedir.

Bu süreçlerin başarılı bir şekilde yürütülebilmesi için üniversiteler, ulusal araştırma merkezleri ile ilgili kamu kurumları arasında multidisipliner iş birliklerinin geliştirilmesi kritik önem taşımaktadır. Özellikle Şırnak bölgesinde, asfaltit madenciliği ve kullanımına yönelik saha çalışmalarının, çevresel izleme programlarının ve uygulamalı pilot projelerin desteklenmesi hem bölgesel kalkınmaya hem de sürdürülebilir kaynak yönetimine önemli katkılar sağlayacaktır.

KAYNAKLAR

- Abakay, H., Ayhan, F. D., and Kahraman, F., 2004, Selective oil agglomeration in Şırnak asphaltite beneficiation, *Fuel Journal*, 83, 2081-2086.
- Akarsu, İ., 1968, V. Bölge Cizre-Şırnak-İdil-Midyat ve Nusaybin çevresinin petrol imkanları: *TPAO Arama Grubu, Rapor no. 426*, 24.
- Alp, İ., 1997, Asfaltit, *Türkiye Madencilik Dergisi*, 16, 5-9.
- Altınlı, E., 1952, Siirt güneydoğusunun jeolojik incelemesi. *M.T.A.*, 1977 (yayınlanmamış), Ankara
- Ayaz, M.E., Polat, M.A., Şengüler, İ., Yıldırım, N., 2018, Türkiye'nin yeraltı zenginlikleri potansiyeli ve Şırnak ilindeki durum, *Eğitim yayınevi*, Konya, 304-325.
- Aydın, F., Aydın I., 2018, Şırnak asfaltit külünün değerlendirilmesi, *Şırnak enerji ve maden potansiyeli*, *Eğitim Yayınevi*, 475-479.
- Aydın, O., 2013, Çözüm süreci ve madencilik, *Madencilik Türkiye Dergisi*, 82-95.
- Ayhan, F. D., Abakay, H., and Kahraman, F., 2003, Şırnak asfaltitlerinden külün flotasyon yöntemi ile uzaklaştırılması, *Madencilik Dergisi*, 42 (1), 27-34,
- Ayhan, M., 2018, Şırnak asfaltit (kömür) havzasının mevcut durumu ve değerlendirme stratejileri; Şırnak enerji ve maden potansiyeli, *Eğitim Yayınevi*, 355-362,
- Badgley, P. C., 1957, Tidewater Oil Company geological report on the Softekstructure Mardin and Siirt vilayets, Southeast Turkey, *Petrol İşleri Genel Müdürlüğü Teknik Arşivi*, 17.
- Balkaş, Ö., Serdar, H.S., Erakman, B., Üngör, A., Pasin, C., Aksu, R., İşbilir, M., 1980, Başkale-Gürpınar-Çatak-Van alanının jeolojisi ve petrol olanakları, *TPAO 1455, Ankara*, 124
- Bayrak, Ö ve Aktan, M., 2018, Enerjide kömürün yeri ve Şırnak asfaltit sahaları; Şırnak Enerji ve maden potansiyeli, *Eğitim Yayınevi*, 269-302,
- Berkowitz, N., 1997, Fossil Hydrocarbons: Chemistry and Technology, *Elsevier Science and Technology*, 1, 351.
- Bilgin, Ö., Kantarcı, S., Çiftçi, H., 2018, Şırnak ili maden potansiyelinin cevher zenginleştirme açısından değerlendirilmesi ve temiz kömür teknolojileri, *Eğitim Yayınevi*, 391-427.
- Boeuf, M., 1969, Hakkâri mıntikasının yapısal jeolojisi ve bölgesel paleocoğrafyası, *Petrol Dairesi Neşriyatı*, 14, 44-50.
- Chilingarian, G.V., and Yen, T. F., 1978, Bitumes, Asphalts, and tar sand, *Developments in Petroleum Science*: 7, Elsevier, 315.
- Çakır, B., Kılıç, M., Kahraman, E., 2013, Silopi (Harput-Üç Kardeşler) asfaltit filonunun micromine madencilik tasarım programı kullanılarak açık işletme dizaynının yapılması, *Çukurova Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, Adana, 28(2), 99-111.
- Çemen, İ., Perinçek, D., Ediger, Ş. V., Akça, L. 1990, Güneydoğu Anadolu'daki Bozova doğrultu atımlı Fault: üzerindeki ilk hareket ters faylanma olan faylara bir örnek. *Türkiye 8. Petrol Kongresi*, 169-179.

- Çevre Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı, 2025, Ulusal hava kalitesi izleme ağı: Şırnak-Silopi <https://sim,csb,gov,tr/SERVICES/airquality>, [Ziyaret Tarihi: 4 Nisan 2025].
- Çoruh, T.,Yakar, H., Ediger, V. Ş. 1997. Güneydoğu Anadolu Bölgesi otokton istifinin biyostratigrafi atlası. *Türkiye Petrolleri Anonim Ortaklığı Araştırma Merkezi Grubu Başkanlığı Eğitim Yayınları*, No: 30, 510 .
- Dean, W.T., 1981, The Ordovician system in the Near and Middle East: Correlation chart and explanatory notes, *International Union of Geological Sciences, Publication*, 1–22.
- Demir, E., Atalay, M. Ü., Özbayoğlu, G, and Sivrikaya, O., 2010, Cleaning of Şırnak Karatepe Asphaltites, *Proceedings of the XIIth International Mineral Processing Symposium*, Nevşehir, 957-963.
- Demirci, S., Sivrikaya, O. ve Vapur, H., 2019, Enerji Kaynağı Olarak Asfaltit: Oluşumu, İçeriği, Türkiye Rezervleri, Temizlenmesi, *Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 8 (1), 312-325.
- Doymaz, I., Gulen, J., Piskin, S. and Toprak, S., 2007, The Effect of Aqueous Caustic and Various Acid Treatments on the Removal of Mineral Matter in Asphaltite, *Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization and Environmental Effects*, 29:4, 337-346
- DPT, 2001, Madencilik Özel İhtisas Komisyonu Raporu Endüstriyel Hammaddeler Alt Komisyonu Toprak Sanayii Hammaddeleri IV (Çimento Hammaddeleri) Çalışma Grubu Raporu, 27.
- Düz, M. Z., Erdoğan, S., Saydut, A., Merdivan, M. and Hamamci, C., 2008, Effect of Molten Caustic Leaching on Demineralization and Desulfurization of Asphaltite, *Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization, and Environmental Effects*, 30:17, 1637-1644.
- Ekim, R., 2011, Yeraltı kömür gazlaştırma prosesinin Türk kömür yataklarına uygulanabilirliği ve maliyet analizi, Yüksek Lisans Tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul.
- Gossage, D.W.,1956, Compiled progress report on the geology of part ofPetroleum District VI, Southeast Turkey, *Turkse Shell GRT. 2, Ankara*, 22.
- Görür, N., Akkök, R., 1982, Güneydoğu Anadolu Bindirme Kuşağı Boyunca Midyat Formasyonunun Sedimentolojik Özellikleri. *TPAO*, 1698, Ankara, 72.
- Güven, A., Dinçer, A., Tuna, M.E. ve Çoruh, T., 1991a, Güneydoğu Anadolu Kampaniyen-Paleosen otokton istifinin stratigrafisi, *TPAO Arama Grubu*, Rapor no. 2828, 133.
- Hiçyılmaz, C., and Altun, E, 2006, Improvements on combustion properties of asphaltite and correlation of activation energies with combustion results, *Fuel Processing Technology Volume 87*, 563-570,
- Horstink, J., 1971 Geology of the Hakkari A-rea (District XI), including an Interpretation of the Regional Paleogeography and Megatectionic History, *Turkse Shell*, 72.
- Hunt, J. M. 1996. Petroleum Geochemistry and Geology, Second Edition, *W. H. Freeman and Company*, 743.

- Işıganer, T., 1985, Mardin-Silopi-Harbol (Aksu) ve üçkardeşler asfaltit filonlarına ait jeoloji raporu, *Maden Tetkik Arama Genel Müdürlüğü*, Ankara, 92.
- Janvier, Ph., F.Lethiers, O.Monod and Ö.Balkas, 1984, Discovery of a vertebrate fauna at the Devonian-Carboniferous boundary in SE Turkey (Hakkari province), *Journal of Petroleum Geology*, 147–168.
- Kantarcı, O., Baran, H.,A., Kantarcı, S., Nalbantçılar, M.T., 2024, Nerdüş Deresi'nin (Şırnak) su kalitesine asfaltit ocaklarının etkisinin değerlendirilmesi, *Gümüşhane Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 14 (3), 809-823.
- Kantarcı, O., Ehsani, İ., 2018, Şırnak ili maden potansiyelinin maden işletme açısından değerlendirilebilirliği, *Şırnak Enerji Ve Maden Potansiyeli, Şırnak Üniversitesi, Dicle Kalkınma Ajansı, Eğitim Yayınevi*, 429-441.
- Karayigit, A. İ., Querol, X.,2002 Mineralogy and elemental contents of the Şırnak asphaltite, Southeast Turkey, *Energy Source*, 24, 703–713.
- Kavak O., Connan, J., Erik, N. Y. and Yalçın, M. N., 2010,809-823 Organic geochemical characteristics of Şırnak asphaltites in Southeast Anatolia, Turkey, *Oil Shale* 27 (1), 58-83,
- Ketin, İ., 1964, Güneydoğu Anadolu Paleozoyik teşekküllerinin jeolojik etüdü hakkında rapor (I.Kısım: Derik-Bedinan, Penbeğli-Tut ve Hazro bölgesi, *TPAO Arama Grubu, Rapor no. 287*, 36.
- Kocaman, R. ve Kocaman, B., 2017, Kömürden enerji elde edilmesi, *Enerji Verimliliği Forum ve Fuarı İstanbul*, 11-12 Ocak 2017.
- Korucu, Ö. ve Işık, V., 2023 Güneydoğu Anadolu orojenezinde Aksu-Samsat (Adıyaman) profil hattının jeolojik özellikleri, *Hacettepe Üniversitesi Yerbilimleri Uygulama ve Araştırma Merkezi Bülteni*, 44 (1), 22-63.
- Kozak, S., Pasin, C., Mancarcı, M., Tosunkara, A., 1977, Uzungeçit ölçülmüş stratigrafi kesiti, *Türkiye Petrolleri Anonim Ortaklığı Arama Grubu Başkanlığı*, Rapor No: 8622.
- Krummenacher, R., Periam, C. E., 1958, Geological studies in the Amanos Mountains with some regional consideration, *Türkse Shell*, 11, 34.
- Kural, O. ve Pişkin, S., 1988, Asfaltitlerin değerlendirilmesi ve Konya Ilgın kömürlerinde katkı maddesi olarak kullanılması, *Türkiye 6. Kömür Kongresi*, Zonguldak, 261-264.
- Kural, O., 1991, Kömür, *Kurtiş Matbaası*, İstanbul, 975.
- Lebküchner, R. F., Orhun, F. ve Wolf, M., 1972, Asphaltic substances in southeastern Turkey, *American Association of Petroleum Geologists Bulletin*, 56, 1939-1964.
- Lebküchner, R.F., 1969, Güneydoğu Türkiye'deki asfaltik maddelerin zuhur ve teşekkülleri, *MTA*, 72, 124-145.
- Majumder, A. K., Bhoi, K. S., Barnwal, J. P., 2007, Multi-gravity separator: an alternate gravity concentrator to process coal fines, *Minerals & Metallurgical Processing*, 133-138.
- Maxon, J.H., 1936, Geology of petroleum possibilities of the Hermis dome. *MTA*, 255, 25.
- MTA, 1982, Asfaltit Rezervlerimiz ve Değerlendirme İmkanları, *Maden Tetkik Arama Genel Müdürlüğü*, Ankara, 10.

- MTA, 1990, Asfaltitler ve Türkiye'deki Asfaltit Yatakları, *Maden Tetkik Arama Genel Müdürlüğü Raporu*, 9636, Ankara, 23s,
- Nakaten, N., Islam, R., Kempka, T., 2014, Underground coal gasification with extended CO₂ utilization - an economic and carbon neutral approach to tackle energy and fertilizer supply shortages in Bangladesh. *Energy Procedia*, 63, 8036-8043.
- Nakoman, E, 1977, Sedimanter uranyum yatakları ve Türkiye'nin bu yönden olanakları, *Prospektor*, 3, 22.
- Orhun, F., 1969, Güneydoğu Türkiye'deki asfaltit madenlerin özellikleri, metamorfoz dereceleri ve klasifikasyon problemleri, *MTA Enstitüsü Dergisi*, 72, 146-158
- Önal, G. and Girgin, S., 2001, A study on the beneficiation of asphaltite, *Proceedings of the 9th Balkan Mineral Processing Congress*, İstanbul, 379-383,
- Önal, G., 1978, Linyit kömürlerinin kükürtten arındırılması, *Türkiye 1 Kömür Kongresi*, 651-659
- Özbayoğlu, G ve Kemal, M., 2014, Cevher Hazırlama El Kitabı, *Yurt Madenciliğini Geliştirme Vakfı Yayınları*, İstanbul.
- Özkaya, İ., 1978, Yüksekova – Şemdinli yöresi stratigrafisi, tektonik evrimi ve petrol olanakları, *TPAO 1276*, 330.
- Parnell, J., 1991, Timing of hydrocarbon-metal interactions during basin evolution, source, transport and deposition of metals, *Proceedings of The 25 Years SGA Anniversary Meeting Nanncy*, 573-576,
- Parnell, J., 1994, Hydrocarbons and other fluids: paragenesis, interactions and exploration potential inferred from pétrographie studies, *Geofluids: Origin, Migration and Evolution of Fluids in Sedimentary Basins Geological Society Special Publication*, 78, 275-291,
- Peksu, M., 1969, Proposed rock unit nomenclature, Petroleum District V. and VI, SE Turkey, *TPAO Arama Grubu Raporu*.
- Periam, C. E. and Krummenacher, R., 1958, The geology of the Eastern part of District VI (Urfa area), SE Turkey (N. V. Turkse Shell Report), Petrol İşleri Genel Müdürlüğü Teknik Arşivi, Kutu no. 352, Rapor no. 4, 37 .
- Perinçek, D., 1980, Hakkari, Yüksekova, Çukurca, Beytüşşebap, Uludere, Pervari dolayının jeolojisi, *Türkiye Petrolleri Anonim Ortaklığı Arama Grubu Başkanlığı*, Rapor No: 1481, 80.
- Perinçek, D., 1990, Hakkari ili ve dolayının stratigrafisi, *TPJD Bülteni*, 21-68
- Rigo de Righi, M., Cortesini, A., 1964, Gravity tectonics in foothills structure belt of southeast Turkey, *Bull. Amer. Assoc. Petrol. Geologists*, v. 48, 911-1937.
- Saltoğlu, T., Akyüz, T. ve Alparslan, E., 1978, Quantitative Determination of Molybdenum, Nickel, Vanadium and Titanium in The Asphaltites and asphaltite ashes by XRF Spectroscopy, *Turkish Mineral Resources Exploration Bulletin*, 91, 89-93,
- Saydut, A., 2005, Güneydoğu Anadolu Asfaltit ve Kömürlerinin Pirolizi ile Sıvı Yakıt Eldesi ve Karakterizasyonu Doktora Tezi, *Dicle Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Diyarbakır.
- Schmidt, G. C., 1964, Türkiye-Irak sınırında, Harbol civarında mevcut Permien ve Mesozoik formasyonlar, *M.T.A.*, 62.

- Seyhan, İ., 2000, Doğu ve Güneydoğu Anadolu'nun Kalkınması İçin Önemli Olan Maden Yatakları, *MTA*.
- Sungurlu, O., 1974, VI. Bölge kuzey sahalarının jeolojisi, *TPAO Arama Grubu*, 871, 32.
- Şenel, M., 2007, Cizre M48, Paftası ve Raporu, *MTA Genel Müdürlüğü*, Ankara.
- Şenel, M., 2007, Cizre N48, Paftası ve Raporu, *MTA Genel Müdürlüğü*, Ankara.
- Şenel, M., 2007, Cizre N49, Paftası ve Raporu, *MTA Genel Müdürlüğü*, Ankara.
- Şenel, M., 2008, Cizre M49 Paftası ve Raporu, *MTA Genel Müdürlüğü*, Ankara.
- Şengüler, İ., 2007, Asfaltit ve bitümlü şeylin Türkiye'deki potansiyeli ve enerji değeri, *TMMOB Türkiye VI, Enerji Sempozyumu, Küresel Enerji Politikaları ve Türkiye Gerçeği*, 186-195.
- Tissot, B.P. and Welte, D.H. ,1984, Petroleum Formation and Occurrence, *Springer-Verlag*, Berlin.
- TKİ, 2007, Asfaltit, *Türkiye Kömür İşletmeleri Kurumu Genel Müdürlüğü Eğitim Dairesi Başkanlığı*, Ankara.
- Tolun, N. 1954, Güneydoğu Anadolu'nun stratigrafisi ve tektoniği, *M.T.A.*, Ankara, 2147 (yayınlanmamış).
- Tören, T., 2018, Şırnak asfaltit madenciliğinin tarihi, mevcut durumu ve çözüm önerileri, *Şırnak Enerji Ve Maden Potansiyeli, Şırnak Üniversitesi, Dicle Kalkınma Ajansı, Eğitim Yayınevi*, 465-474.
- Tromp, S.W. 1940, Preliminary report on the oil possibilites of SE Turkey, Based on a re-interpretation of microfaunal and sub-surface data, *MTA Derleme Raporu 1216*, 74 s.
- Tuna, D., 1973, VI. Bölge litostratigrafi birimleri adlamasının açıklayıcı raporu, *TPAO Arama Grubu, Rapor no. 813*, 131.
- Tunç, İrem, 2015, Yarı pilot ölçek yer altı kömür gazlaştırma deney düzeneğinde malkara pirinççeşme kömür sahasına ait blok kömür örneklerinin gazlaştırılması, Yüksek Lisans Tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul.
- Türkunal, S., 1951, Hakkâri dağları hakkında jeolojik not, *TJK Bülteni*, Ankara, 3/1.
- Türkunal, S., 1953, Hakkâri ve Başkale bölgelerinin jeolojisi, *MTA*, Ankara, 18.
- Ünal, G., 2010, Kömür Jeolojisi, *MTA Genel Müdürlüğü Eğitim serisi*, Ankara
- Yılmaz, E., Duran, O., 1994, Güneydoğu Anadolu Bölgesi Otokton Ve Allokon Birimler Stratigrafi Adlama Sözlüğü "Lexicon", *TPAO*, Ankara.
- Yılmaz, Y, Sungurlu, O., Perinçek, D.,1979, Cilo dağlarında eski bir okyanus kabuğu, *TJK*, 45-56.
- Yılmaz, Y. 1993. New evidence and model on the evolution of the southeast Anatolian orogen, *Geological Society of America Bulletin*, 105(2), 251-271