

**ANKARA ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**ASLANLI (SEYİTÖMER/KÜTAHYA) HAVZASI BİTÜMLÜ ŞEYLLERİNİN  
ORGANİK JEOKİMYASAL DEĞERLENDİRMESİ VE HİDROKARBON  
POTANSİYELİ**

**UĞUR ZEKİ KIRAT**

**JEOLOJİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**ANKARA  
2019**

**Her hakkı saklıdır**

## TEZ ONAYI

Uğur Zeki KIRAT tarafından hazırlanan “Aslanlı (Kütahya/Seyitömer) Havzası Bitümlü Şeyllerinin Organik Jeokimyasal Değerlendirmesi ve Hidrokarbon Potansiyeli” adlı tez çalışması 09/07/2019 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği ile Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı’nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

**Danışman** :Prof. Dr. Ali SARI



Ankara Üniversitesi Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı

**Jüri Üyeleri :**

**Başkan** :Prof. Dr. Turhan Ayyıldız



Ankara Üniversitesi Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı

**Üye** :Prof. Dr. Ali SARI



Ankara Üniversitesi Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı

**Üye** :Doç. Dr. Demet Banu KORALAY



Pamukkale Üniversitesi Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı

**Yukarıdaki sonucu onaylarım.**

**Prof. Dr. Özlem YILDIRIM**

**Enstitü Müdür Vekili**

## **ETİK**

Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü tez yazım kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez içindeki bütün bilgilerin doğru ve tam olduğunu, bilgilerin üretilmesi aşamasında bilimsel etiğe uygun davrandığımı, yararlandığım bütün kaynakları atıf yaparak belirttiğimi beyan ederim.

9/07/2019

Uğur Zeki KIRAT

## ÖZET

Yüksek Lisans Tezi  
ASLANLI (SEYİTÖMER/KÜTAHYA) HAVZASI BİTÜMLÜ ŞEYLLERİNİN  
ORGANİK JEOKİMYASAL DEĞERLENDİRMESİ VE HİDROKARBON  
POTANSİYELİ

Uğur Zeki KIRAT

Ankara Üniversitesi  
Fen Bilimleri Enstitüsü  
Jeoloji Mühendisliği Anabilim dalı

Danışman: Prof. Dr. Ali SARI

Bu tez çalışması Aslanlı (Seyitömer/Kütahya) sahasından alınan bitümlü şeyl örneklerinden yapılmıştır. Sahadan alınan 11 örneğin hidrokarbon potansiyelinin belirlenmesi amaçlanmış bu bağlamda organik jeokimyasal analizler yapılmıştır. Aslanlı (Seyitömer/Kütahya) sahası bitümlü kayaçları anoksik çökeltme ortamı koşullarında depolanmıştır. Arslanlı sahasına ait bitümlü şeyl örnekleri ortalama % wt 22.03 TOC değeri ile mükemmel kaynak kaya potansiyeline sahip olduğu görülmüştür. Aslanlı sahasına ait bitümlü şeyl örneklerinin Piroliz analizleri (S<sub>1</sub>, S<sub>2</sub>, S<sub>3</sub>, HI, PI, OI, Tmax), Modified Fischer Assay analizleri, Gaz Kromotografi analizleri, Organik Petrografik analizleri (Alttan Aydınlatmalı Mikroskopta) yapılmış olup, analiz sonuçlarının değerlendirilmesi ile kerojen tipi, ısıl olgunlaşma derecesi ve organik maddenin hidrokarbon türüm potansiyelleri belirlenmiştir. İncelenen örneklerin genellikle Tip I ve Tip II kerojen tipine sahip oldukları ve petrol türetme potansiyeli taşıdıkları belirlenmiştir. Isıl Olgunluk verileri olan Tmax (°C), PI (Üretim İndeksi) ve SCI (Spor Renk İndeksi) parametrelerinden bölgeye ait örneklerin Olgunlaşmamış ve Erken Olgun oldukları belirlenmiştir. İncelenen örneklerin petrol potansiyellerinin belirlenmesi amacıyla Modified Fischer Assay analizi yapılmıştır buna göre incelenen örneklerin % petrol w/w değerleri ortalama 10.39 olup bu değerlerin oldukça ekonomik petrol potansiyelini işaret etmektedir.

**Temmuz 2019, 116 sayfa**

**Anahtar Kelimeler:** Seyitömer, Aslanlı, bitümlü şeyl, organik jeokimya, organik petrografi, Fischer Assay, Piroliz.

## ABSTRACT

Master Thesis  
ASLANLI (SEYITOMER/KUTAHYA) BASIN ORGANIC GEOCHEMICAL  
REVIEW OF BITUMINOUS SHALES AND HYDROCARBON POTENTIAL

Uğur Zeki KIRAT  
Ankara University  
Graduate School of Natural and Applied Sciences  
Department of Geological Engineering

Supervisor: Prof. Dr. Ali Sari

This investigation was made of bituminous shales in Aslanlı province (Seyitömer/Kütahya). Organic Geochemical Analyses were made to define hydrocarbon potential of the 11 samples which taken from Arslanlı province. Shale rocks of Aslanlı (Seyitömer/Kütahya) around were accumulated anoxic deposition conditions. Shale rocks of Aslanlı province TOC values with an average of 22.03 wt % indicate excellent source rock potential. Pyrolysis analysis (S<sub>1</sub>, S<sub>2</sub>, S<sub>3</sub>, HI, PI, OI, Tmax), Modified Fischer Assay analysis, Gas Chromatography (GC) analysis and Organic Petrography analysis (in Backlit Microscope) were conducted, interpretation of test results , organic matter types, maturities of organic matter and hydrocarbon potentials of studied samples were determined. Studied samples have generally kerogen type I, type II and have oil production potential. According to Tmax, PI (Production Index), and SCI (Spor Color Index) parameters (maturity values) Arslanlı province shale samples were determined as they have immature and early mature degree. To determine the oil potential of Aslanlı province Fischer Assay analyses were performed and obtained 10,39 % oil average value indicate that samples have highly economical oil yield.

**July 2019, 116 pages**

**Key Words:** Seyitömer, Aslanlı, bituminous shales, organic geochemistry, organic petrography, Fischer Assay, Pyrolysis.

## TEŞEKKÜR

Bu çalışmanın hazırlanmasında bilgi, öneri ve yardımları ile büyük katkısı olan, çalışmalarım süresince gelişmemi sağlayan değerli danışman hocam sayın Prof. Dr. Ali SARI'ya, (Ankara Üniversitesi Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı) bu süreçte desteğini hiçbir zaman esirgemeyen ve her zaman maddi manevi yanımda olan aileme, tez yazma sürecimde bana yardımları ile katkıda bulunan sevgili eşim Jeoloji Yüksek Mühendisi Ece Kırat'a bu süreçte yardımlaştığımız ve karşımıza çıkan zorlukları birlikte aştığımız arkadaşlarım A.Can Değer'e, M.Erkut Atalık'a MTA Genel Müdürlüğü Deniz Araştırmaları Dairesi Başkanlığından Jeoloji Yüksek Mühendisi Özgür Türkmen, Dr. Füsun Yiğit, Ayhan Yavuzoğlu, Dr. Barbaros Şimşek, Pir Çağatay Kartal ve Jeofizik Yüksek Mühendisi Dr. Aslı Zeynep Yavuzoğlu'na sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Uğur Zeki KIRAT

Ankara, Temmuz 2019

## İÇİNDEKİLER

TEZ ONAY SAYFASI	
ETİK .....	i
ÖZET .....	ii
ABSTRACT .....	iii
TEŞEKKÜR .....	iv
SİMGELER DİZİNİ .....	vii
ŞEKİLLER DİZİNİ .....	viii
ÇİZELGELER DİZİNİ .....	xi
1. GİRİŞ .....	1
1.1. Coğrafi Konum .....	1
1.2. Çalışmanın Amacı.....	1
2. ÖNCEL ÇALIŞMALAR.....	6
3. MATERYAL ve YÖNTEM .....	10
3.1. Arazi Çalışmaları.....	10
3.2. Laboratuvar Çalışmaları .....	12
3.2.1. Piroliz analizleri.....	12
3.2.2. Gaz kromatografi analizi (GC) .....	13
3.2.3. Modified fischer assay analizleri (MFA) .....	14
3.3. Büro Çalışmaları.....	16
4. BÖLGESEL JEOLJİ.....	17
4.1. Batı Anadolu'nun Genel Jeolojisi ve Tektoniği .....	18
4.2. Stratigrafi .....	21
4.2.1. Sarıcasu formasyonu .....	24
4.2.2. Arıkaya formasyonu .....	24
4.2.3. Kocasu formasyonu .....	24
4.2.4. Ovacık melanjı .....	25
4.2.5. Kımık ofiyoliti .....	25
4.2.6. Beke formasyonu .....	25
4.2.7. Tunçbilek formasyonu .....	26
4.2.8. Sabuncupınar formasyonu.....	27
4.2.9. Çökköy formasyonu .....	27
4.2.10. Emet formasyonu.....	27

4.2.11.	Kocayataktepe formasyonu .....	28
4.2.12.	Kirazpınar formasyonu.....	28
4.2.13.	Yakaca formasyonu .....	28
4.2.14.	Taşlıtepe volkaniti.....	29
4.2.15.	Kütahya formasyonu .....	29
4.2.16.	Alüvyon.....	30
4.3.	Arsanlı Ölçülü Stratigrafik Kesiti.....	31
5.	<b>ORGANİK JEOKİMYASAL İNCELEMELER</b> .....	<b>38</b>
5.1.	Organik Maddece Zengin Sedimanlar .....	38
5.2.	Bitüm Kavramı ve Bitümlü Kayaçlar .....	39
5.3.	Bitümlü Şeyllerin Bileşimi .....	40
5.4.	Bitümlü Şeyllerin Kullanım Alanları ve Dünya’da Şeyl Petrolü .....	41
5.5.	Organik Jeokimyasal Çalışmalar .....	42
5.6.	Arsanlı ÖSK’sı Bitümlü Kayaçlarına Ait Piroliz Analizleri .....	43
5.6.1.	Toplam organik karbon (TOC, wt %) incelemeleri .....	45
5.6.2.	Organik madde tipi incelemeleri .....	48
5.6.3.	Organik petrografik incelemeler .....	54
5.6.4.	Organik maddenin olgunluk incelemeleri .....	55
5.6.5.	Hidrokarbon üretme potansiyelinin incelenmesi.....	65
5.6.6.	Organik fasiyes incelemeleri.....	74
5.6.7.	Gaz kromatografi incelemeleri.....	80
5.6.8.	Modified fischer assay analizi sonuçları.....	88
6.	<b>TARTIŞMA ve SONUÇLAR</b> .....	<b>99</b>
	<b>KAYNAKLAR</b> .....	<b>107</b>
	<b>ÖZGEÇMİŞ</b> .....	<b>116</b>



## SİMGELER DİZİNİ

Bbl/ton	Varil/ton
C	Karbon
°C	Santigrad derece
CO <sub>2</sub>	Karbon dioksit
CO	Karbon monoksit
Corg	Organik karbon
g	Gram
H	Hidrojen
H/C	Hidrojen/Karbon
KB	Kuzeybatı
Kcal	Kilokalori
Kg	Kilogram
km	Kilometre
km <sup>2</sup>	Kilometrekare
m	Metre
mg	Miligram
O	Oksijen
O/C	Oksijen/karbon
Ph	Fitan (Phytane)
PI	Üretim indeksi (Production Index)
ppm	Parts per million
Pr	Pristan (Pristane)
S	Kükürt
w/w	Yüzde derişim

### **Kısaltmalar**

ARS	Arslanlı
CPI	Karbon Tercih İndeksi
GC	Gaz Kromatografi
HC	Hidrokarbon
HI	Hidrojen İndeks
IFP	Fransız Petrol Enstitüsü
MFA	Modified Fischer Assay
OI	Oksijen İndeks
PC	Piroliz Edilebilen Karbon
PY	Potansiyel Verim (Potential Yield)
RC	Razidüel Karbon
SCI	Spor Renk İndeksi
S <sub>1</sub> /TOC*100	Bitümen İndeks
S <sub>2</sub> /S <sub>3</sub>	Hidrokarbon İndeksi
T <sub>max</sub>	Maksimum Sıcaklık
TOC	Toplam Organik Karbon
TPAO	Türkiye Petrolleri Anonim Ortaklığı
ÖSK	Ölçülü Stratigrafik Kesit

## ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1.1	Çalışma alanının yer bulduru haritası .....	1
Şekil 1.2	2007 - 2017 yılları Türkiye'nin petrol tüketim ve yerli üretim oranları .....	2
Şekil 1.3	2004 - 2017 yılları arasında Türkiye'nin doğalgaz arzı ve yerli üretim oranları .....	3
Şekil 1.4	1990 – 2016 yılları arası Türkiye enerji talebinin dışa bağımlılık oranı .....	3
Şekil 1.5	Seyitömer ve çevresinin jeoloji haritası .....	5
Şekil 3.1	Çalışma alanında yer alan göl .....	11
Şekil 3.2	Çalışma alanında kendiliğinden tüten birimler .....	11
Şekil 3.3	Agilent 6850 Gaz Kromatografi cihazı .....	14
Şekil 3.4	TPAO'da hizmet veren Modified Fischer Assay cihazı .....	15
Şekil 3.5	Bitümlü şeyl retortlama aşamaları .....	15
Şekil 4.1	Türkiye'nin tektonik birlikleri.....	18
Şekil 4.2	Kütahya ve çevresinin genelleştirilmiş sütun kesiti.....	22
Şekil 4.3	Kütahya çevresinin stratigrafisi ile Seyitömer bölgesi stratigrafisi arasındaki ilişkiyi gösteren grafik .....	23
Şekil 4.4	Seyitömer havzasının stratigrafik kolon kesiti.....	30
Şekil 4.5	Arslanlı bölgesine ait ölçülü stratigrafik kesit .....	34
Şekil 4.6	Arslanlı ölçülü stratigrafik kesitinin alındığı istifin görüntüsü .....	35
Şekil 4.7	ARS 4-B bitümlü şeyl örneğinin görüntüsü.....	35
Şekil 4.8	Arslanlı sahasına ait ARS 9A-B seviyesinin arazi görüntüsü.....	36
Şekil 4.9	Arslanlı sahası kömür üstü bitümlü seri ARS-11B arazi görüntüsü .....	36
Şekil 4.10	Arslanlı sahasına ait ARS-12 çörtlü seviyenin arazi görüntüsü.....	37
Şekil 4.11	Arslanlı sahasına ait ARS-15B örneğinin arazi görüntüsü .....	37
Şekil 5.1	Organik maddenin korunumu .....	39
Şekil 5.2	Bitümlü kayaç sınıflaması.....	40
Şekil 5.3	Bitümlü şeyllerin bileşenleri .....	41
Şekil 5.4	2013-2017 yılları arası küresel petrol fiyatları seyri.....	42
Şekil 5.5	Arslanlı sahasına ait örneklerin TOC (wt, %) ve S <sub>2</sub> mg HC/g kaya pikinin kalınlıkla değişimini gösteren diyagram.....	47
Şekil 5.6	S <sub>2</sub> mg HC/g kaya ile TOC (wt, %) arasındaki ilişkiyi gösteren diyagram....	47
Şekil 5.7	Arslanlı sahasına ait bitümlü şeyl örneklerinin HI sınır değerleriyle ilişkilendirilmiş S <sub>2</sub> -TOC (wt, %) grafiği.....	51

Şekil 5.8	Arslanlı sahasına ait bitümlü şeyl örneklerinin HI-Kalınlık (cm) arasındaki ilişkiyi gösteren diyagram.....	52
Şekil 5.9	Arslanlı sahasına ait bitümlü şeyl örneklerinin HI–OI arasındaki ilişkiyi gösteren diyagram .....	53
Şekil 5.10	Tip I kerojen tipine sahip örneklerin kalınlık (m) ile ilişkilendirilmiş Tmax (°C) değerlerine göre olgunlukları .....	58
Şekil 5.11	Tip II kerojen tipine sahip örneklerin kalınlık (m) ile ilişkilendirilmiş Tmax (°C) değerlerine göre olgunlukları .....	58
Şekil 5.12	Tip III kerojen tipine sahip örneklerin kalınlık (m) ile ilişkilendirilmiş Tmax (°C) değerlerine göre olgunlukları .....	59
Şekil 5.13	Arslanlı sahasına ait bitümlü şeyl örneklerinin kalınlıkla (m) ilişkilendirilmiş üretim indeksi diyagramı .....	60
Şekil 5.14	Tmax (°C)–HI arasındaki ilişkiyi gösteren diyagram .....	61
Şekil 5.15	Olgunluk (Tmax, °C'a bağlı)–Üretim İndeks (PI) arasındaki ilişkiyi gösteren diyagram .....	64
Şekil 5.16	Arslanlı sahasına ait bitümlü şeyl örneklerinin kalınlıkla ilişkilendirilmiş S <sub>1</sub> /TOC*100 (bitümen indeksi) diyagramı .....	67
Şekil 5.17	İncelenen örneklerin S <sub>2</sub> ve TOC (wt, %) değerlerine dayanan kaynak kaya potansiyelleri .....	68
Şekil 5.18	İncelenen örneklerin PY–TOC diyagramındaki konumları .....	71
Şekil 5.19	Arslanlı sahasına ait bitümlü şeyl örneklerinin S <sub>1</sub> (mg HC/g kaya)–TOC (wt %) diyagramındaki konumları .....	72
Şekil 5.20	Arslanlı sahasına ait bitümlü şeyl örneklerinin RC (%) – TOC (wt, %) diyagramındaki konumları .....	73
Şekil 5.21	Arslanlı sahasına ait bitümlü şeyl örneklerinin PC (%) – TOC (wt, %) diyagramındaki konumları .....	74
Şekil 5.22	Organik fasiyeslerin şematik görünüşleri .....	75
Şekil 5.23	Arslanlı sahasına ait ARS-5 örneğinin gaz kromatogramı .....	81
Şekil 5.24	Arslanlı sahasına ait ARS-6 örneğinin gaz kromatogramı.....	82
Şekil 5.25	Arslanlı sahasına ait ARS-9C örneğinin gaz kromatogramı .....	82
Şekil 5.26	Arslanlı sahasına ait ARS-11B örneğinin gaz kromatogramı .....	83
Şekil 5.27	Arslanlı sahasına ait bitümlü şeyl örneklerinin Pr/Ph–CPI diyagramındaki konumları .....	86
Şekil 5.28	Arslanlı sahasına ait bitümlü şeyl örneklerinin petrolerin olgunlaşma düzeyiyle ilişkilendirilmiş Pr/Ph–CPI diyagramındaki konumları .....	86
Şekil 5.29	Arslanlı sahasına ait bitümlü şeyl örneğinin Pr/nC <sub>17</sub> –Ph/nC <sub>18</sub> diyagramındaki konumları .....	88
Şekil 5.30	Arslanlı sahasına ait örneklerin % TOC (wt, %) - % petrol (w/w) ilişkisini gösteren diyagram .....	94

Şekil 5.31 Arslanlı sahasına ait örneklerin $S_1$ (mg HC/g kaya) - % petrol (w/w) ilişkisini gösteren diyagram .....	95
Şekil 5.32 Arslanlı sahasına ait örneklerin $S_2$ (mg HC/g kaya) - % petrol (w/w) ilişkisini gösteren diyagram .....	95
Şekil 5.33 Arslanlı sahasına ait örneklerin Hidrojen indeks - % petrol (w/w) ilişkisini gösteren diyagram .....	96
Şekil 5.34 Arslanlı sahasına ait örneklerin $T_{max}$ ( $^{\circ}C$ ) - % petrol (w/w) ilişkisini gösteren diyagram .....	97
Şekil 5.35 Arslanlı sahasına ait örneklerin Hidrojen indeks - % petrol (w/w) ilişkisini gösteren diyagram .....	98

## ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 5.1	Piroliz analizleri sonuçları.....	44
Çizelge 5.2	Çeşitli araştırmacılara göre TOC (wt) % ve kaynak kaya potansiyeli sınıflaması .....	45
Çizelge 5.3	Arslanlı sahası bitümlü şeyllere ait toplam organik madde miktarı ve kaynak kaya potansiyelleri .....	46
Çizelge 5.4	Hidrojen indeksi değerlerine karşılık gelen kerojen tipi ve HC potansiyeli .....	49
Çizelge 5.5	HI parametresine göre Kerojen Tipi .....	50
Çizelge 5.6	İncelenen örneklerin HI değerlerine karşılık hidrokarbon tipleri.....	51
Çizelge 5.7	S <sub>2</sub> /S <sub>3</sub> parametresine göre organik madde tipi .....	53
Çizelge 5.8	S <sub>2</sub> /S <sub>3</sub> parametresine göre organik madde tipi .....	54
Çizelge 5.9	Arslanlı sahası bitümlü şeyllere ait örneklerin S <sub>2</sub> /S <sub>3</sub> sonuçları ve değerlendirmeler.....	54
Çizelge 5.10	Organik madde tipleri ve spor renk indeksi değerleri .....	55
Çizelge 5.11	Çeşitli araştırmacılara göre olgunlaşma dereceleri .....	57
Çizelge 5.12	Üretim İndeksi (PI) sınır değerlerine göre olgunlaşma .....	60
Çizelge 5.13	Ediger ve Soylu'ya (1993) göre spor renk indeksi olgunlaşma parametreleri.....	61
Çizelge 5.14	Arslanlı sahasına ait bitümlü şeyl örneklerine ait olgunlaşma derecesi sonuçları .....	63
Çizelge 5.15	S <sub>2</sub> /S <sub>3</sub> parametresine göre organik maddenin olgunlaşma derecesi ve hidrokarbon potansiyeli .....	64
Çizelge 5.16	İncelenen kömür numunelerinin PI değerleri ve bunlara bağlı olgunlaşma seviyeleri .....	65
Çizelge 5.17	Kaynak kayaların petrol potansiyelini belirlemede kullanılan TOC (wt, %) miktarları ve S <sub>1</sub> , S <sub>2</sub> hidrokarbon değerleri .....	66
Çizelge 5.18	Arslanlı sahasına ait bitümlü şeyl örneklerinin S <sub>1</sub> (mg HC/g kaya) değerlerine göre petrol potansiyelleri .....	67
Çizelge 5.19	Arslanlı sahasına ait bitümlü şeyl örneklerinin S <sub>2</sub> (mg HC/g kaya) değerlerine göre petrol potansiyelleri .....	68
Çizelge 5.20	S <sub>2</sub> /S <sub>3</sub> parametresine göre organik maddenin üretebileceği hidrokarbon tipi .....	69
Çizelge 5.21	Arslanlı sahasına ait bitümlü şeyl örneklerinin S <sub>2</sub> /S <sub>3</sub> parametresine göre hidrokarbon tipleri .....	69
Çizelge 5.22	Potansiyel ürün kaynak kaya potansiyeli arasındaki ilişkiyi gösteren diyagram .....	70

Çizelge 5.23 İncelenen örneklerin Potansiyel ürün değerlerine bağlı kaynak kaya potansiyelleri .....	71
Çizelge 5.24 Bölgeye ait örneklerin RC % değerleri .....	73
Çizelge 5.25 Arslanlı sahası bitümlü şeyl örneklerinin PC % değerleri .....	74
Çizelge 5.26 Organik fasiyeslerin genelleştirilmiş mikroskopik ve jeokimyasal karakteristiklerinin özeti .....	77
Çizelge 5.27 Organik fasiyesler ve ortamsal faktörler arasındaki ilişki .....	78
Çizelge 5.28 Arslanlı sahasına ait bitümlü şeyl örneklerinin organik petrografik analiz ve piroliz analizi sonuçları .....	79
Çizelge 5.29 Arslanlı sahasına ait bitümlü şeyl örneklerinin Pr/Ph değerleri ve buna ilişkin redoks koşulları.....	83
Çizelge 5.30 Karasal bitkiler ve denizel organizmalarda CPI'nın değerlendirmesi.....	85
Çizelge 5.31 İncelenen örnekler için hesaplanmış CPI değerleri .....	85
Çizelge 5.32 Arslanlı bölgesine ait örneklerin Pr/nC <sub>17</sub> – Ph/n C <sub>18</sub> oranı değerleri.....	87
Çizelge 5.33 Fisher assay verimine karşılık ekonomik değerlendirme .....	89
Çizelge 5.34 Fischer assay verimine karşılık gelen ekonomik değerlendirme .....	90
Çizelge 5.35 Arslanlı sahasına ait bitümlü şeyl örneklerinin Modified Fischer Assay analizi sonuçları .....	91
Çizelge 5.36 İncelenen örnekleri % petrol değerleri ve buna bağlı değerlendirmeler.....	92
Çizelge 5.37 Yeni değerlendirme indeksi .....	92
Çizelge 5.38 İncelenen örneklerin yeni değerlendirme indeksi sonuçları.....	93

# 1. GİRİŞ

## 1.1. Coğrafi Konum

İnceleme alanı Kütahya ili, Seyitömer ilçesi sınırları içerisinde yer alan Arslanlı köyü civarındadır (Şekil 1.1). Seyitömer 29° 50' E ve 39° 36' K enlem ve boylamları arasında yer almaktadır. Kütahya'nın kuzeybatısında yer alan Arslanlı köyünün doğusunda Seyitömer, kuzeyinde Mahmudiye, güneyinde Doğa ve güneybatısında Kükürt yerleşkeleri bulunmaktadır.

Ankara iline 315 km uzaklıkta bulunan Arslanlı köyüne Kütahya-Bozuyuk yolu üzerinden ulaşılabilir. İ23 C4 paftasında yer alan çalışma alanı özel bir kömür işletmesi tarafından çalıştırılmaktadır.



Şekil 1.1 Çalışma alanını yer bulduru haritası

## 1.2. Çalışmanın Amacı

Günümüzde, doğal kaynak olarak bilinen petrol ve gaz kaynaklarının hızlı bir şekilde tüketilmesi ve artan enerji maliyetleri alternatif enerji kaynaklarını bulmaya yönelik yeni çalışmalar yapılmasına sebep olmaktadır. Bitümlü şeyl rezervleri bir çok ülkede

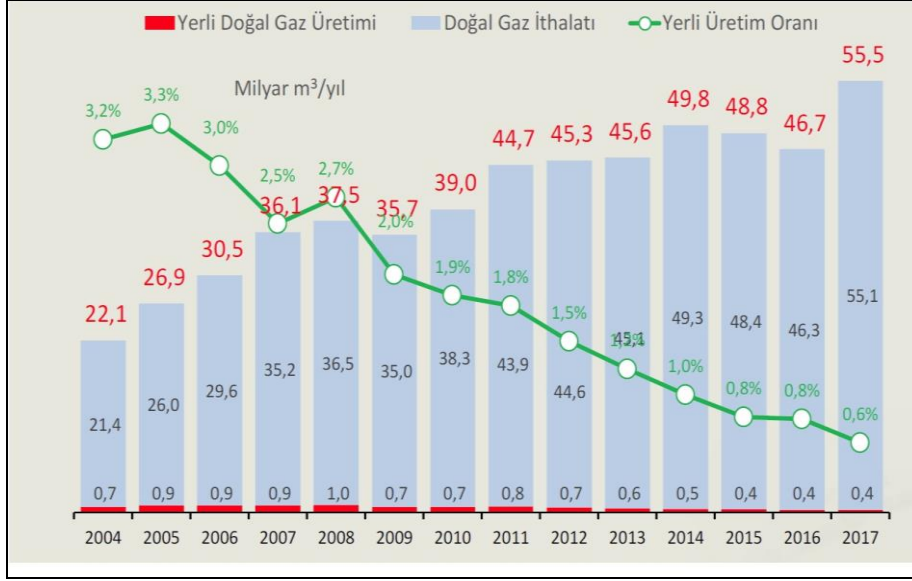
petrole alternatif olabilecek önemli bir doğal kaynak olarak değerlendirilmektedir. Bitümlü şeyller petrol potansiyeli açısından yeterli miktarda organik madde ve uygun organik madde tipi içermektedir. Yeterli olgunlaşma derecesine sahip olmadıkları için bu kayaçlar petrol ve gaz üretme potansiyeline sahip değildirler. Bitümlü şeyllerden dışarıdan bir ısı kaynağı vasıtasıyla yerinde ya da laboratuvar ortamında petrol üretilebilmektedir.

Ülkemiz dış ticaret açığının en büyük olduğu alan enerji sektörüdür. Ülkemizde yerli petrol üretiminin toplam tüketimi karşılama oranı 2017 yılı itibariyle 5,4'tür (Şekil 1.2). Başka bir ifade ile ülkemizin petrolde dışa bağımlılık oranı %94,6'dır. Doğalgaz da ise bu oran %99,4'tür (Şekil 1.3). Enerjide dışa bağımlılık oranlarının bu derece yüksek seyrettiği ülkemizde (Şekil 1.4) alternatif (ankonvansiyonel) yöntemlerden biri olan şeyll petrolüne olan ilgi son derece azdır dolayısıyla bu potansiyel yeterince değerlendirilmemektedir. Teknolojik ilerlemelerle birlikte enerji kaynakları bakımından fakir olan ülkemizde bitümlü şeyllerden sentetik petrol üretiminin ülke ekonomisine önemli katkılar sağlayacağı açıktır.

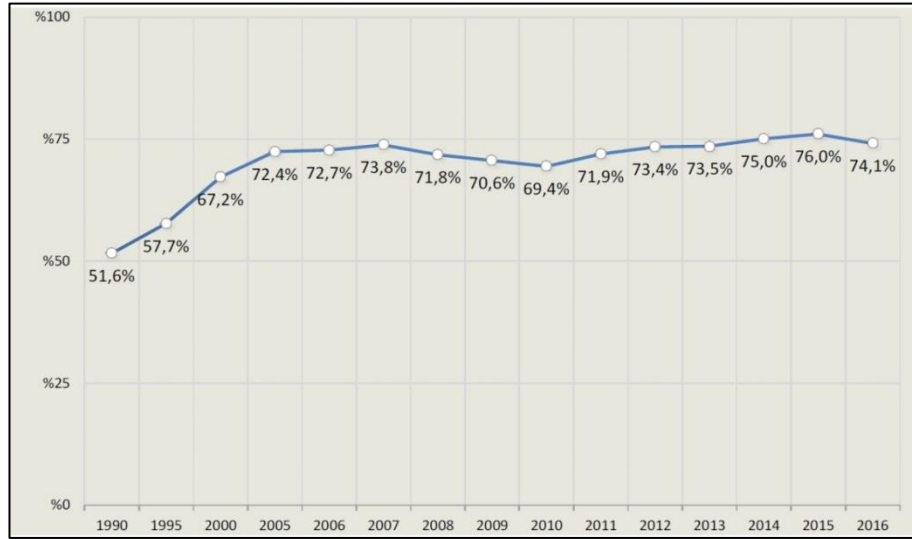


Şekil 1.2 2007 – 2017 yılları Türkiye'nin petrol tüketim ve yerli üretim oranları (EPDK 2018)





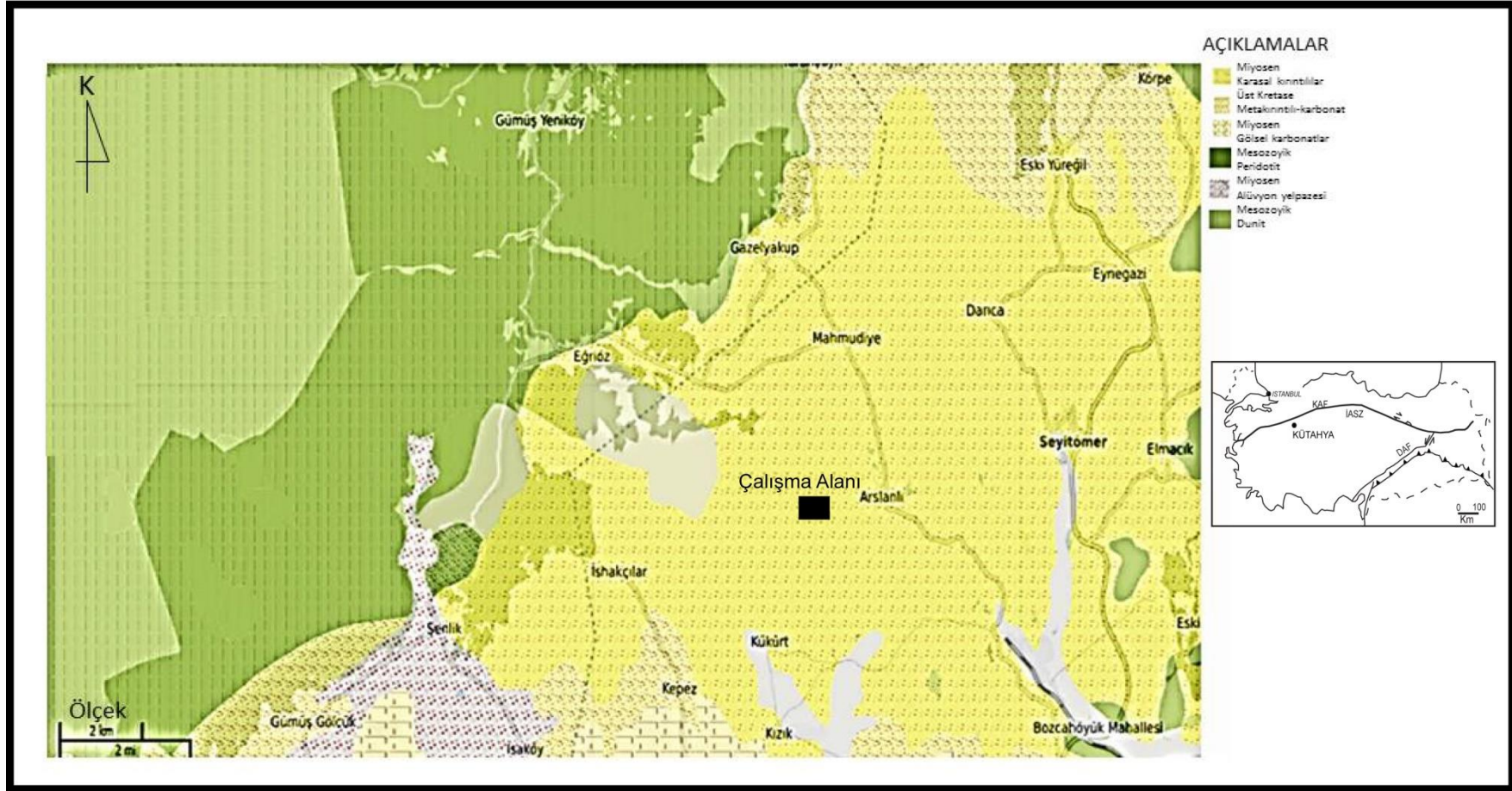
Şekil 1.3 2004 – 2017 yılları arasında Türkiye'nin doğalgaz arzı ve yerli üretim oranları (EPDK 2018)



Şekil 1.4 1990-2016 yılları arası Türkiye enerji talebinin dışa bağımlılık oranı (ETKB 2017)

Bu tez kapsamında Arslanlı (Seyitömer/Kütahya) havzasında bulunan organik maddece zengin bitümlü şeyllerin organik madde türü, miktarı, kaynak kaya litolojileri ve depolanma ortamlarının karakterini belirleyecek kökensel özelliklerinin tespit edilmesi ile hidrokarbon türüm potansiyellerinin ortaya çıkartılması amaçlanmaktadır. Bu nedenle taşımış olduğu hidrokarbon potansiyeli açısından önemli bir yere sahip olduğu açıkça görülen Arslanlı sahası bitümlü şeyllerinin ekonomiye kazandırılması açısından

bu tez çalışmasının ne derece önemli olduğu açıktır. Bu amaçla, çalışma alanına ait Arslanlı ölçülü stratigrafik kesitinin (ARS ÖSK) organik jeokimyasal özellikleri Piroliz analizleri, Gaz Kromotagrafi analizleri, Organik Petrografik İncelemeler ve Modified Fischer Assay analizlerine tabi tutularak belirlenmeye çalışılmıştır.



Şekil 1.5 Seyitömer ve çevresinin jeoloji haritası (MTA 1/100000'lik jeoloji haritasından alınmıştır)

## 2. ÖNCEL ÇALIŞMALAR

Saner (1978) Orta Sakarya'daki Üst Kretase-Paleosen-Eosen çökelme ilişkilerini ve petrol aramalarındaki önemini araştırmıştır. Buna göre bölgede petrol aramacılığı için hedef olabilecek bir derinlik ve yapısal kapanlanmanın olmadığını belirlemiştir.

Okay (1981) Kuzeybatı Anadolu'daki ofiyolit jeolojisi ve mavişist metamorfizması hakkındaki çalışmada tavşanlı bölgesindeki kayaçları ofiyolitli melanj, mavişist, peridotit olarak tanımlamış ve bu kayaçları İzmir-Ankara kenet zonuna dahil etmiştir. Araştırmacı çalışmasında bu bölgedeki ofiyolitlerin çökelme yaşını, Mavişist metamorfizmasını ve ofiyolitlerin yerleşme yaşını Üst-Kretase-Paleosen olduğunu belirtmiştir.

Şengüler (1982) Seyitömer (Kütahya) bitümlü marn sahasının jeolojisi ve ekonomik olanakları isimli MTA raporunda Seyitömer sahasında bitümlü seviyelerin şeyl özelliğinden çok, marn özelliği gösterdiği ülkemizdeki diğer bitümlü şeyl sahalarında gözlenen kendine has koyu rengi burada görülmediği, sahada koyu renkli seviyelerin de bulunmasına karşın, açık renkli bitümlü çökellerin çoğunlukta olduğunu belirtmiştir. Orta-Üst Miyosen olarak yaşlandırılan bitümlü marnların duraylı bir göl ortamında çökeldiğini ayrıca birim içermiş olduğu gastropod ve ostracod fosillerinden dolayı çökelme ortamının yüksek tuzluluk ile karakterize olduğunu belirtmiştir.

Helvacı ve diğerleri (1987) Batı Anadolu Neojen stratigrafisi ve ekonomik potansiyeli üzerine yapmış oldukları çalışmada Seyitömer bölgesi kömürlerinin akarsu istifinin en üst bölümünde, gölsel istifin ise en alt bölümünde yer aldığını, Batı Anadolu bitümlü şeyl yataklarının birçoğunun Orta-Üst Miyosen yaşlı gölsel istif içerisinde bulunduğunu göstermişlerdir. Bu çalışmada Seyitömer bölgesi alüvyal çökel kalınlığının 50-100 m. arasında olduğu ve Batı Anadolu'da Orta-Üst Miyosen yaşlı bitümlü şeyl birimlerinin tüm havzalarda eş zaman düzeyi olarak kullanılabilceğini belirtmiştir.

Sarıyıldız (1992) yapmış olduğu yüksek lisans çalışmasında Seyitömer bölgesi linyit havzasının stratigrafisini kurmuştur (Şekil 4.4). Havzada, Seyitömer formasyonu Kretase yaşlı temel kayaları üstüne uyumsuz olarak gelir. Formasyon tabanda yaklaşık

100 metrelik kalınlık sunan kumtaşı-çakıltaşı üyesiyle başlar, birim sarımsı renkli kumtaşları ve açık gri renkli, orta boylanmalı çakıltaşı kanal dolgularından oluşur. Bu üyenin üzerine, 14 m kalınlıkta çamurtaşı-kiltaşı üyesi uyumlu olarak gelir. Birim tabanında yeşilimsi-gri renkli kilttaşları yer alırken, üstte siyahımsı renkli, orta kalın katmanlı kilttaş ve killi kömür arakatmanlı kömür yer alır. Bu üyenin üzerine, 22 m kalınlıkta killi şeyl üyesi uyumlu olarak gelir. Tabanda yeşilimsi gri renkli, orta-kalın tabakalı silisli kireçtaşı aratabakalı killi şeyl, açık gri renkli silttaşı ve bitümlü şeyllerden oluşur. Bu seviye üzerine ince-orta tabakalı kömür,silttaş ve silisli kireçtaşı aradalanmalı seviye gelir. Bu üyenin üzerine, 8 m kalınlıkta silisli kireçtaşı üyesi uyumlu olarak gelir. Birim, sarımsı gri renkli ince-orta tabakalı silisli kireçtaşından oluşur. Bu üyenin üzerine 12 m kalınlıkta killi kireçtaşı üyesi uyumlu olarak gelir. Birim grimsi-beyaz renkli, ince-orta tabakalı, killi kireçtaşı ile gri renkli, ince tabakalı tüfitten oluşur. Seyitömer formasyonu üzerine Pliyosen yaşlı Kocayatak Formasyonu uyumsuz olarak gelir. Birim, yeşilimsi renkli, orta boylanmalı, çapraz tabakalı kumtaşı ve çakıltaşı kanal dolgusu özelliğindedir.

Kaya (1993) Seyitömer linyitlerinin alt kömür damarında yapmış olduğu çalışmada yeni bir memeli faunası M.Elatus'un Türkiye'de ilk defa varlığını göstermiş M.Elatus için Orta Miyosen sonu (Geç Artarasiyen) yaşlı öngörölmüştür.

Şengün (1993) Anadolu kesimindeki Tetis kuşağı jeolojik evrimi üzerine yapmış olduğu çalışmasında, Gondvana kıtasının kuzeyinden koparak gelen kıtasal parçaların Ankara, Eskişehir, Balıkesir, Kastamonu, Erzincan ve Kars'tan geçen bir hat boyunca devam ettiğini iddia etmiştir. Neotetisin kuzey kolunun iddia edilen aksine bulunmadığını belirten araştırmacı, Kütahya çevresinde Üst Permiyen'den itibaren gelişen basenlerde tüm Mesozoik boyunca derinleşen istiflerin çökeldiğini yazmıştır.

Yıldırım ve Burçak (1997) Harlek Iıcası jeotermal etüdünü yapan araştırmacılar, bölgede Miyosen yaşlı tüf, gölsel sedimanlar ile Pliyosen yaşlı bazalt lavlarından bahsetmişlerdir. Bu çalışmada, sahada iki evreli sıkışma tektoniği gözlendiğini bunlardan birincisinin K-G diğzerinin ise D-B yönünde olduğu belirtilmiştir.

Aydar (1998) Batı Anadolu'daki Erken Miyosen-Kuvaterner volkanizması evrimi ve havzalarla ilişkisinin incelemiştir. Patlamalı bir şekilde başlayan volkanik aktivitenin geniş bir ignimbiritik plato geliştirdiğini, görsel sedimanların ise bu ignimbiritleri üzerlediğini ve bu aktivitenin Geç Miyosen-Pliyosen boyunca devam ettiğini iddia etmiştir.

Çelik ve Kerey (1999), Domaniç yöresi Neojen kömürlü serisi ve depolanma ortamı üzerine yaptıkları çalışmada Domaniç Neojen havzasının Erken Miyosen açılma tektoniği etkisiyle gelişen bir KD-GB graben olduğu belirtmişlerdir. Ayrıca, havzadaki çökmenin havza sınırlarını belirleyen faylar ile havza içi fayların kontrolünde geliştiğini ve 1 km'yi aşan bir Miyosen-Pliyosen dolgusu çökeldiğini belirtmişlerdir. Bu sebeple, yazarlar tarafından belirtilen KD-GB uzanımlı Seyitömer ve Sabuncuoğlu grabenlerinin bir benzeri olarak daha batıda Domaniç havzasının oluştuğu anlaşılmaktadır. Ayrıca havzadaki kömür varlığı da Seyitömer Grabeni ile Domaniç havzasının benzer şartlarda çökeldiklerinin başka bir göstergesidir.

Şengüler ve Sonel (1999), Seyitömer bitümlü şeyllerinin ekonomik olarak kullanımını araştırmak için yapmış olduğu çalışmada, bölgenin stratigrafisini kurmuş, ayrıca bitümlü marnlar üzerine bir çok çalışma yaparak ekonomik açıdan değerlendirilebileceğini göstermişlerdir.

Gülbay (2005) Kuzeybatı Anadolu'daki bitümlü şeyllerin organik jeokimyasal özellikleri, çökme ortamları ve hidrokarbon potansiyelleri konulu doktora çalışmasında Seyitömer bölgesi bitümlü şeyllerini incelemiş, bitümlü şeyllerin yüksek TOC içeriğine sahip olduğunu, kerojen tipi olarak baskın olarak Tip I bunun yanında az oranda ise Tip II kerojen olduğunu, yeterli ısısal olgunluğa ise erişmediğini belirtmiştir. Bununla birlikte incelenen örneklerde yapmış olduğu GC-MS analizleri sonucunda m/z 217 kromatogramında gözlenen C<sub>30</sub> steran varlığının denizel bir etkiyi işaret ettiğini, C<sub>27</sub>, C<sub>28</sub> ve C<sub>30</sub> steran üçgen diyagramında ise bitümlü şeyl örneklerinin geçiş ortamında yer aldığını görülmüştür.

Pr/Ph oranının 1'den küçük olarak hesaplanması anoksik çökme koşullarını önermektedir. Düşük Pr/Ph oranı ve C<sub>29</sub> ββ steranların C<sub>29</sub> αα steranlara göre baskın

olması Seyitömer bitümlü şeyllerinin tuzlu bir çökeltme ortamında çökeldiğinin göstermiştir. Sonuç olarak Seyitömer bitümlü şeyllerinin zaman zaman denizel etkiye maruz kalan, anoksik, tuzluluğu yüksek bir göl ortamında çökeldiğini belirtmiştir.

Özburan ve Gürer (2012) Kütahya yöresi Geç Senozoyik dönemi basen analizi gelişimini ortaya koydukları çalışmalarında, Kütahya ve çevresinin kıtasal, okyanusal, genç metamorfik ve sedimanter birimlerin bir arada gözleendiği bu kayaç grubunun temel ve örtü birimler olmak üzere iki ana gruba ayırmışlardır. Şist ve mermer birimleri tarafından temsil edilen kıtasal kayaçlar ve yeşil şist, mavi şist metamorfikleri ile temsil olunan okyanusal kayaçlar temel birimleri oluştururlar. Örtü birimleri ise kumtaşı, konglomera, kireçtaşı, marn, kiltası, silttaşı gibi çok geniş bir yelpazede görünen sedimanter birimler olup bir çok formasyon adı altında ayrı ayrı incelenmiştir.

Büyük (2019) Bozcahöyük (Seyitömer/Kütahya) bitümlü şeyllerinin organik jeokimyasal değerlendirmesi ve hidrokarbon potansiyeli isimli yüksek lisans çalışmasında bölgeden almış olduğu bitümlü şeyl örneklerini piroliz analizi, Gaz Kromatografi analizi, Organik Petrografik analizler ve Modified Fischer Assay analizine tabi tutmuş bölgenin hidrokarbon potansiyelini incelemiştir. Bitümlü şeyllerin yüksek TOC içeriğine sahip olduğunu, Tip I ve Tip II kerojen tipine sahip olduğunu bununla birlikte örneklerin yeterli ısısal olgunluğa sahip olmadığı sonucuna varmıştır. Modified fischer assay analizi sonucunda elde edilen ortalama %12.6 petrol verimi değeri bu sahadan elde edilecek sentetik petrolerin oldukça ekonomik olacağı sonucuna ulaşmıştır.

### **3. MATERYAL ve YÖNTEM**

Bu tez çalışmasında Arslanlı sahası bitümlü şeyllerinin organik jeokimyasal incelemesinin yapılması ve hidrokarbon potansiyelinin ortaya konulması amacıyla arazi, büro ve laboratuvar çalışmaları yapılmıştır.

#### **3.1. Arazi Çalışmaları**

Arazi çalışmaları Seyitömer ilçesi Arslanlı Köyü civarında 2018 Temmuz ayında yapılmıştır. Arazide öncelikle jeoloji haritası incelenmiş birimler tanınmaya çalışılmış, daha sonra farklı noktalarda yüzlek veren organik maddece zengin kayaçlar üzerinde yoğunlaşmıştır. Çalışma alanında yüzlek veren organik kayaçların bir tepede yer alması ve bölgenin daha önceden terk edilmiş bir kömür sahası olması hasebiyle alanda yer alan gölün (Şekil 3.1) çalışma yapılacak tepenin güney yamacına ulaşımı imkansız hale getirmesi, kuzey yamacının ise kendiliğinden yanması (Şekil 3.2) çalışma gücüne sebep olmuştur. Sahada bir adet ölçülü stratigrafik kesit yapılmış, 15 adet örnek alınmış ve fotoğraflanmıştır. Alınan Arslanlı Ölçülü Staratigrafik Kesiti (ARS-ÖSK) yaklaşık 20 metrelik bir kalınlık sunar ayrıntılı olarak çalışılıp sekanslara ayrılan birimler organik maddece zengin bitümlü şeyl, bitümlü kiltası, kömür, bitümlü marn şeklinde tanımlanmıştır.





Şekil 3.1 Çalışma alanında yer alan göl



Şekil 3.2 Çalışma alanında kendiliğinden yanan bitümlü şeyller

## 3.2. Laboratuvar Çalışmaları

### 3.2.1. Piroliz analizleri

Çalışma alanından derlenen ARS-ÖSK örneklerinin toplam organik karbon miktarının (TOC) belirlenmesi için Rock-Eval IV cihazı ve IFP160000 (Institut Français du Pétrole) standartı kullanılarak Türkiye Petrolleri Anonim Ortaklığı (TPAO) laboratuvarlarında piroliz analizleri yapılmıştır. Toplam organik karbon miktarı (TOC, wt %), kayacın içindeki kerojene ait karbon miktarı ile bu kerojenden türemiş fakat kayaç dışına atılmamış hidrokarbonlara ait karbonların toplamının genellikle yüzde ağırlık cinsinden değerini ifade eder (Hunt 1995).

Bu yöntem kayaç içerisindeki toplam organik karbon miktarının belirlenmesi için kullanılmaktadır. Bu method Leco metodu, Camhograph metodu ya da Rock-Eval metodu olmak üzere 3 farklı şekilde yapılabilmektedir. Kayaç içerisindeki organik maddenin hava veya oksijen atmosferi altında yakılması suretiyle TOC değeri elde edilir. Bu sıcaklık değeri Leco için 1500°C, Camhograph için 1100°C ve Rock - Eval için 600°C'dir.

Piroliz analizinde kayaç örneğinden 100 mg ağırlığında bir parça alınıp 3 dakika için 300 °C Helyum atmosferinde ısıtılır daha sonra sıcaklık 25°C/dakika'da 600°C'e yükseltilir. Bu işlem sırasında serbest kalan hidrokarbonlar S<sub>1</sub>, kerojenin ısınmasıyla açığa çıkan hidrokarbonlar S<sub>2</sub>, S<sub>2</sub> pikinin maximum olduğu andaki sıcaklık değerinin ölçülmesiyle de Tmax değeri elde edilir. 300-390 °C sıcaklık aralığında ise oksijenli bileşikler parçalanıp CO<sub>2</sub>'yi oluşturur ve bu değer S<sub>3</sub> piki olarak kaydedilir. 600 °C'de yanma sonucu açığa çıkan CO<sub>2</sub> gazının ölçülmesiyle ise S<sub>4</sub> pik değeri elde edilir. Bu analiz sonucu elde edilen değerler çeşitli indeks değerlerinin elde edilmesinde kullanılırlar. Bu değerler;

Hidrojen indeksi (HI):  $S_2(\text{ppm})/\text{TOC}(\%) \times 100$ . Kerojenin hidrojen zenginliğini gösterir.

Oksijen İndeksi (OI):  $S_3/\text{TOC}(\%) \times 100$ . Kerojenin oksijen zenginliğini gösterir.

Üretim indeksi (PI):  $S_1(\text{ppm})/S_1(\text{ppm})+S_2(\text{ppm})$ . Kayacın içinde hazır halde bulunan sıvı hidrokarbonu gösterir.

Jenetik Potansiyel:  $S_1(\text{ppm})+S_2(\text{ppm})$  kayacın petrol kaynak potansiyelini gösterir.

Rezidüel karbon (RC): Piroliz işlemi esnasında CO ve CO<sub>2</sub>'den elde edilen organik karbonun (wt %) toplamını gösterir. Başka bir deyişle piroliz edilemeyen organik karbonu gösteren TOC bölümü olarak tanımlanabilir (Johannes vd. 2006).

Piroliz Edilebilen Karbon (PC): TOC içindeki piroliz edilebilen karbonu ifade eder.

### **3.2.2. Gaz kromatografi analizi (GC)**

Gaz Kromatografi analizi Norveç petrol Standartı kullanılarak Agilent 6850 cihazında ASTM D 5307-97 (Reapproved 2002)<sup>e1</sup> metoduna uygun olarak yapılan bir analizdir. Her bir örnek için analiz süresi 170 dakikadır. Helyum, taşıyıcı gaz olarak, hidrojen ve kuru hava ise FID dedektörü kullanılmaktadır (Şekil 3.3).

Gaz Kromatografi analizi (GC), Hidrokarbon bileşiklerinin genel dağılımlarını gösterir ayrıca petrol veya bitümün ilişkili olduğu sedimanter ortam, ısısız olgunlaşma ve biyolojik bozunma hakkında bilgiler sunar. Gaz Kromatografi analizlerinden yararlanılarak farklı kökenlere sahip bitüm ve petrolerin korelasyonları da yapılabilmektedir (Peters ve Moldowan 1993).

GC analizinden elde edilen Pr (Pristan)/ Ph (Fitan) oranı, izoprenoid/n-alkan oranı, Karbon Tercih İndeksi (CPI) değerleri ve n-alkan dağılımlarından yararlanılarak çeşitli yorumlar yapılabilmektedir.



Şekil 3.3 Agilent 6850 Gaz Kromatografi cihazı

### 3.2.3. Modified fischer assay analizleri (MFA)

Modified Fischer Assay metodu bitümlü şeyl örneklerindeki petrol, su ve gaz içeriklerini tespit etmeye yönelik bir retortlama tekniğidir ve ASTM D 3904 (Oil from Oil Shale; Resource Evaluation by the Fischer Assay Procedure) standardına göre yapılmaktadır.

6 adet birbirinden bağımsız fırında 700 °C'ye kadar kademeli olarak ısının artırılması esasına dayanan bu yöntemde ısıtma profili, 30 derecede 10 dakika, daha sonra 500 °C'ye kadar 12 °C/dakika artışla bir ilerleme ve 500°C'de 40 dakika bekleme şeklinde devam etmektedir. Kayaç örnekleri önce çeneli kırıcıda yaklaşık 5 mesh'e kadar parçalanır. Çeneli kırıcıdan alınan örnekler diskli öğütücüye konularak öğütülür ve elek sistemine aktarılır. Elekte 10-60 mesh aralığında kalan kısım alınarak retort ünitesine taşınır. Elekte kalan numune 100 gram şeklinde tartılarak retort kabına yerleştirilir. Daha sonra sızdırmazlık testleri yapılır ve test programı başlatılır. Deney 90 dakikada tamamlanır (Şekil 3.4).



Şekil 3.4 TPAO’da hizmet veren Modified Fischer Assay cihazı

Modified Fischer Assay metodu bitümlü şeyl örneklerinin içermiş oldukları petrol miktarını 1/ton oranında vermesi, kurulacak tesiste bitümlü şeylden petrol eldesi prosesinin ekonomik açıdan değerlendirilmesine olanak sağlayacağı için son derece önemlidir. Şekil 3.5’te MFA methodu kullanılarak retortlama tekniğiyle elde edilmiş petrol numunesi örneği görülmektedir.



Şekil 3.5 Bitümlü şeyl retortlama aşamaları

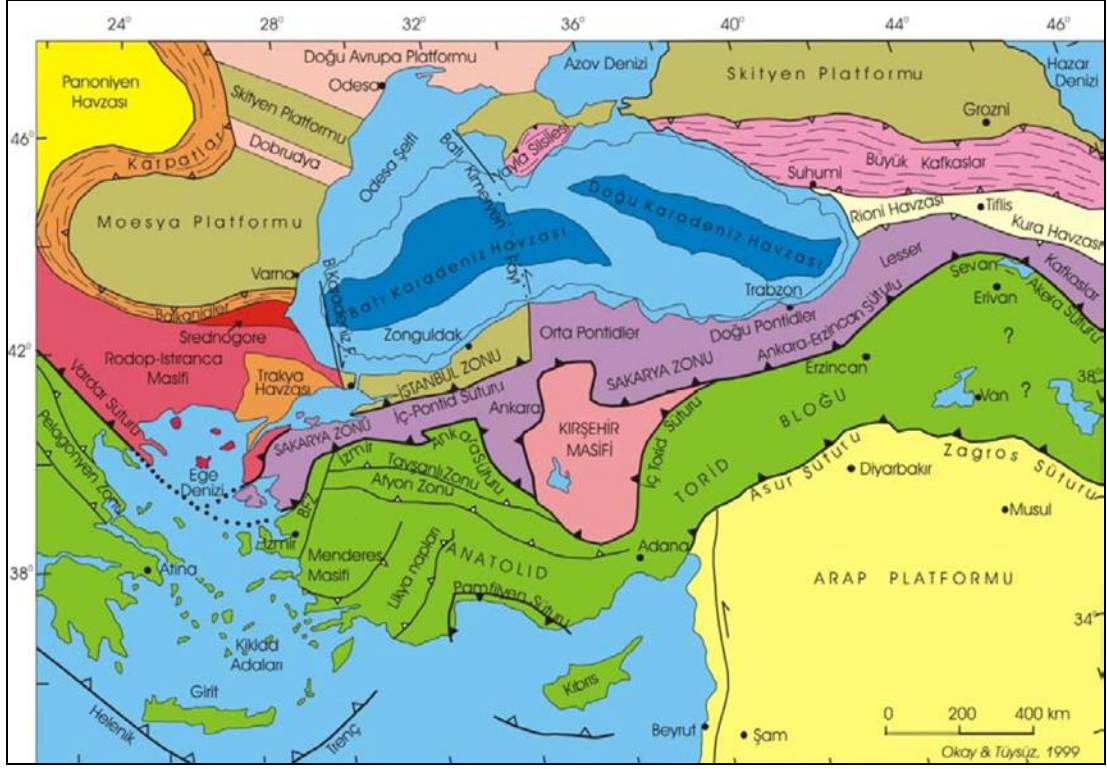
### **3.3. Büro Çalışmaları**

Arazi ve laboratuvarında elde edilen sonuçların değerlendirilmesi ve yorumlanması amacıyla büro çalışmaları gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmalar sırasında ulusal ve uluslararası literatür taranmış, arazi çalışmasında elde edilmiş ARS-ÖSK'nın çizimi gerçekleştirilmiş, elde edilen Rock-Eval analizleri, GC analiz sonuçları, Modified Fischer Assay analizi sonuçları çizelge ve grafiklere aktararak yorumlanmış ilgili makale ve çalışmalara atıflar yapılarak tez yazımı gerçekleştirilmiştir.

#### 4. BÖLGESEL JEOLOJİ

Türkiye Anatolid kuşağı kuzeyde doğu batı uzanımlı Tavşanlı zonu (50-60 km genişlik x 250km uzunluk), güneyde Afyon zonu, güneybatıda ise Menderes masifi bölümlerinin bir araya gelmesiyle oluşmaktadır. Okay (1999) Türkiye'nin batısı geniş doğu-batı grabenleri ve nispeten daha küçük kuzey-güney doğrultulu grabenlerin hakim olduğu bir bölge olduğunu ifade etmiştir. Kütahya bölgesi linyit içeren Seyitömer ve Tunçbilek basenleri olmak üzere iki ana karasal sedimanter havzadan oluşmaktadır. Bu bölgede yapılagelmiş çalışmaların ana amacı bölgenin tektonik, stratigrafik ve sedimantolojik problemlerine çözüm arayışlarıdır. İlksel çalışmalar daha çok bu linyitleri palinostratigrafik açıdan ele alırken (Akyol 1963,1964, Nakoman 1965, Benda 1971, Arslan 1979), sonraki çalışmalarda amaç daha çok Miyosen yaşlı birimlerin sekans karakterlerinin belirlenmesi ile o dönemki iklim ve bitki örtüsü hakkında bilgiler elde etmeye yöneliktir. (Yavuz-Işık 2007).

Bölgedeki ilk çalışmalar yerel halk tarafından yapılan kömür ihbarlarının değerlendirilmesiyle MTA tarafından görevlendirilen Carvounides (1915) ve Zeigler (1936) tarafından gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmalarda araştırmacılar genel olarak tabanda yer alan yaşlı kayaların üzerinde çökelen gölsel sedimanların kömür ihtiva edebileceklerinden bahsetmişlerdir. Önemli linyit yataklarını ve termik santrallerini bünyesinde barındıran bölge bir çok araştırmacıya konu olmuştur. Bunlardan bazıları şunlardır; Nakoman (1968), Baş (1983), Sarıyıldız (1993), Şengüler (1994), Yavuz ve diğ. (1995), Şengüler ve Sonel (1999), Kapan-Yeşilyurt ve Taner (2001), Yavuz-Işık (2007) ve Özburan ve Gürer (2012). Yapılan araştırmalar sonucunda havzanın stratigrafisi ortaya konulmuş, spor-polen yaş verilerinden yararlanarak da havzanın yaşı Alt-Orta Miyosen olarak yaşlandırılmıştır.



Şekil 4.1 Türkiye'nin tektonik birlikleri (Okay ve Tüysüz 1999)

#### 4.1. Batı Anadolu'nun Genel Jeolojisi ve Tektoniği

Türkiye'nin genel tektonik yapısı Şengör (1980) tarafından 'Neotektonik Dönem' olarak adlandırılmış ve Bitlis Kenet Kuşağı boyunca kuzeyde rijit Avrasya plakası ile güneyde Arap plakaları arasında kalan Anadolu levhasının, Geç Miyosen kıta-kıta çarpışmasıyla başlayan tektonik rejimde şekillenmiştir. Bu dönemle birlikte yoğun bir volkanik faaliyeti başlamıştır (Şengör ve Yılmaz 1981). Çarpışma etkisiyle gelişen Doğu Akdeniz'de Kıbrıs hendeği ve Doğu'da Bitlis Kenet Zonu, çarpışma sonrası Anadolu levhasının batıya doğru kaçışını sağlayan Kuzey Anadolu Fay Zonu (KAFZ) ve Doğu Anadolu Fay Zonu (DAFZ) bölgenin başlıca yapısal unsurlarıdır (Özburan ve Gürer 2012).

Batı Anadolu ve Ege'deki kıta içi genişleme tektoniği ve bağlı yapılarının (horst ve graben) oluşum yaşı ve kökenine yönelik bir çok farklı çalışma yapılması, yaklaşık 35 yıldır pek çok platformda tartışılmasına rağmen tektonik rejimin kökeni ve türü,



birimlerin stratigrafik konumu ve yaşı ile ilgili görüş birliğine varılamamıştır. Yapılan çalışmalarda bölgenin jeolojisine yönelik dört farklı görüş ve model önerilmiştir;

1-) Tektonik Kaçış Modeli (Tectonic Escape Model) Modele göre, Orta Miyosen sonunda, sağ yönlü KAFZ ile sol yönlü DAFZ arasında kalan Anadolu Bloğu'nun batıya kaçması, Batı Anadolu'da kıta içi genişlemeye sebep olmuştur. Bu nedenle genişleme Orta Miyosen'den beri sürmektedir. Diğer bir deyişle bölgedeki Neotektonik rejimin başlangıcı Orta Miyosen sonudur (Dewey ve Şengör 1979, Şengör 1979, 1980 1987, Şengör ve diğ. 1985).

2-) Yaygerisi Yayılma Modeli (Back–Arc Spreading Model, Roll-back Model); Batı Anadolu ve Ege kıtasal gerilmesi için önerilen bu modelde, 60-65 My'dan daha önce başlayan riftleşme, Helen hendek sisteminin G-GB düzleminde geriye çekilmesi ve buna bağlı olarak Ege-Kıbrıs dalma batma zonunun göçünü iddia etmektedir. Arap lavhasının Anadolu levhasının altına dalması suretiyle üstteki levhada yay gerisi açılma meydana gelmekte Batı Anadolu ve Ege'de bir genişlemeli rejim ve Horst-Graben sistemi oluşmuştur. (McKenize 1978a, 1978b, Le Pichon ve Angelier 1979, 1981, Le Pichon ve diğ. 1995, Jackson ve Mckenzie 1988).

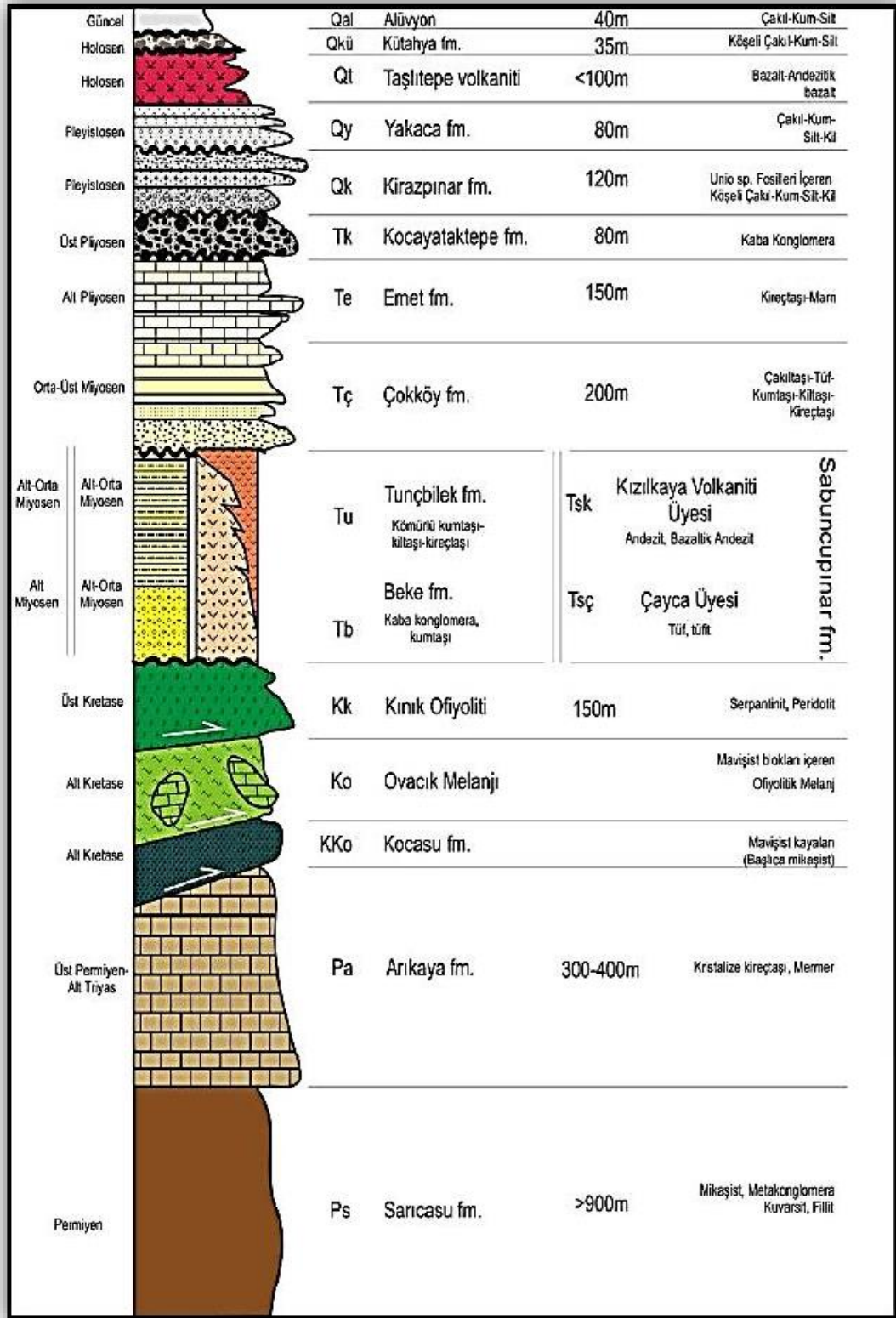
3-) Orojenik Çökme ve Yayılma Modeli (Orogenic Collapse and Spreading Model) Bu model (Dewey 1988; Seyitoğlu ve Scott 1991, 1992a, 1992b, 1996) tarafından ileri sürülmüştür. Modele göre, Batı Anadolu'daki genişleme rejimi ve horst-graben sisteminin kökeni Erken Miyosen'de başlamış aşırı kabuk kalınlaşması ve yükselmeye bağlı çökme ile kabuk içi sünümlü yayılmadır. Batı Anadolu'daki en yaşlı graben dolgusunun yaşının Erken Miyosen olması hasebiyle sistemin başlangıç yaşı Erken Miyosen'dir. Bu nedenle Batı Anadolu'daki genişleme türü neotektonik rejim ve graben oluşumu Erken Miyosen'den beri devam etmektedir. Bölgedeki gerilme, aşırı kalınlaşmış kabuğun yayılması ve incilmesi neotetisin kapanmasıyla İzmir-Ankara süturu boyunca kuzeydeki Sakarya ile güneydeki Anadolu platformu arasındaki Geç Paleojen kıta çarpışmasının akabinde gelişen Dewey (1988)'in orojenik çökme modeline bağlanmıştır.

4-) İki evreli graben oluşma modeli. Bu modele göre, Batı Anadolu kıta içi genişlemesinin kökeni, Pliyosen'de Anadolu levhasının B-GB yönde kaçışı ve Helen yayı boyunca devam eden yitimidir. Model daha önceki modellerin hiçbirinin kabuksal gerilmenin köken ve yaşı ile iki evreli gerilmenin doğasını açıklanamayacağını belirtir. Model gerilmenin oluşabilmesi için farklı zamanlarda iki ayrı yapısal stil önerir (Bozkurt 2000, Bozkurt 2001, Bozkurt 2003, Bozkurt ve Park 1994, Bozkurt ve Oberhanslı 2001). Birinci evre genel ve bölgesel Core-complex oluşumu için, Erken-Orta Miyosen fazı kökende orojenik çökme ve sünümlü yayılma, ikinci evre ise bunu izleyen normal faylanma ve Pliyo-Kuvaterner fazlı graben oluşumudur. İki genişleme evresi ve graben oluşumu, Anadolu levhasının B-GB kaçışı ve Helen yayı boyunca kuzeye olan yitimin ortak etkisinin sonucudur. Bu iki evre Geç Miyosen-Erken Pliyosen aralığında gelişen bir sıkışma evresiyle birbirinden ayrılır. Böylelikle Batı Anadolu genişleme türü Neotektonik rejimin başlama yaşı Pliyosen-Geç Pliyosendir. Bu model orojenik çökme ve Anadolu'nun batıya kaçması ile uyumludur ve bir çok araştırmacı tarafından benimsenmiştir (Bozkurt 2004, Yılmaz ve diğ. 2000, Candan ve diğ. 2005, Purvis ve Robertson 2005a, 2005b, Westaway ve diğ. 2004).

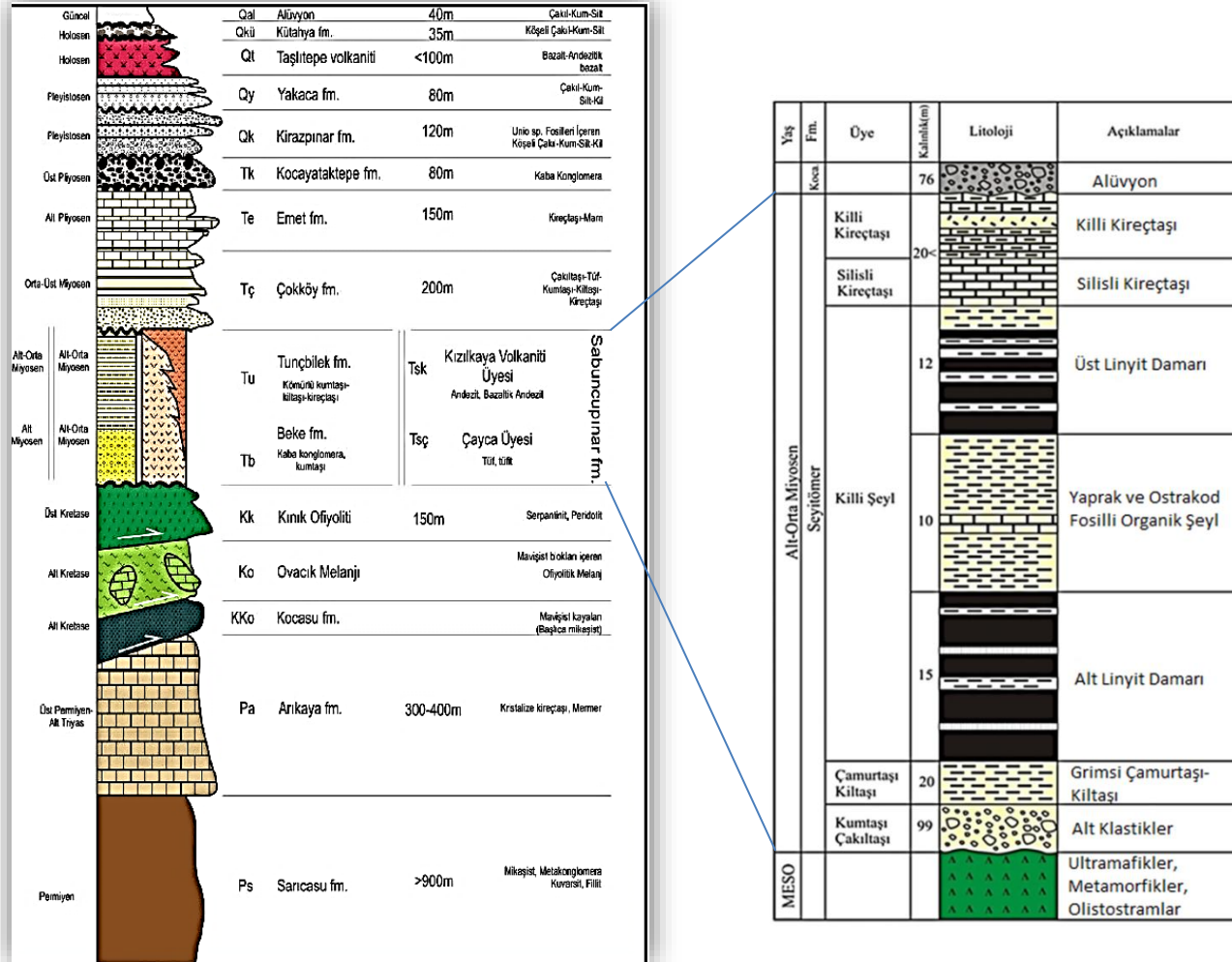
Yukarıda söz edilen Batı Anadolu'nun tektonik evrimine yönelik oluşturulan dört modelin dışında, Kütahya ve çevresinin Neotektonik İncelenmesi konulu çalışmada Özburan ve Gürer (2012) Batı Anadolu'da gelişen K-G doğrultulu grabenlerin benzerlerinin, aynı sistemin ürünü olarak Kütahya ve çevresinde de Erken Miyosen'den itibaren gelişmeye başladığını, bölgede KD-GB gidişli iki çöküntü havzasının oluştuğunu belirtmiş ve grabenleri Seyitömer ve Sabuncupınar grabenleri olarak ilk defa tanımlayarak incelemiştir. Seyitömer grabeni çökelleri incelendiğinde havzanın ilkin akarsu sistemiyle başlayan sedimantasyon sistemi ve sonrasında, oluşan çöküntü havzasında gelişen göl ortamlarında Alt Miyosen yaşlı çökellerin depolandığını ortaya koymuştur. Litoloji, çökme zamanı ve jeolojik zaman göz önüne alındığında Seyitömer grabenin Batı Anadolu'daki bir çok K-G gidişli havzayla eş değer olduğunu ve aynı tektonik sistem tarafından geliştirildiğini iddia etmiştir.

## 4.2. Stratigrafi

Kütahya ve çevresinde Paleozoyik, Mesozoyik ve Senozoyik dönemine ait kayalar yüzlek verir. Tabanda temel kayaları mermer ve şistlerden oluşan metamorfikler, bunların üzerine ise tektonik dokanakla ofiyolitik kayalar gelir. Bunların üzerine ise kalın bir örtü istif sunan, göl ve akarsu ortamını yansıtan, kırıntılı ve karbonatlı birimler açısız uyumsuzlukla gelir. İstifin en üstünde ise genç alüvyaller bulunur (Şekil 4.2).



Şekil 4.2 Kütahya ve çevresinin geliştirilmiş sütun kesiti (ölçeksiz) (Özburan ve Gürer 2012)



Şekil 4.3 Kütahya çevresinin stratigrafisi ile Seyitömer bölgesi stratigrafisi ilişkisini gösteren grafik (Özburan ve Gürer 2012, Sarıyıldız 1992)

#### **4.2.1. Sarıcasu formasyonu**

Çalışma alanındaki en yaşlı birim olan ve başlıca mikaşistten oluşan Sarıcasu formasyonu 900 m'nin üzerinde bir kalınlığa sahip olup, gözlenebilen en alt kesimlerde şistlerle başlar. Daha üst seviyelerde gri, grimsi beyaz renklerde rekristalize kireçtaşı, mermer blokları yer alır. İlk defa Akdeniz ve Konak (1979) tarafından çalışılan birimin adlanması da bu araştırmacılar tarafından yapılmıştır. Birim daha sonra bir çok araştırmacı tarafından çalışılmış olsa da herhangi bir adlama olmadığı için bu çalışmada da Sarıcasu formasyonu adlanması tercih edilmiştir.

#### **4.2.2. Arıkaya formasyonu**

İlk olarak Akdeniz ve Konak (1979) tarafından Arıkaya formasyonu ismiyle tanıtılmıştır. Daha sonra birim Arık ve Temur (2003) tarafından Karaağaç formasyonu adı altında incelenmiştir. Rekristalize kireçtaşı ve mermer litolojisine sahip bu birim tabanda uyumlu olarak Sarıcasu formasyonu'nun üzerine gelir. 400 m civarında bir kalınlığa sahiptir. Oldukça çatlaklı ve kırıklı olan bu formasyon tabanda orta-kalın üste doğru ise ince katmanlıdır. Özburan ve Gürer (2012) tarafından fosil bulgusuna rastlanmayan birimin yaşı litolojik benzerlik, alt ve üst dokanak ilişkileri dikkate alınarak Üst Permian-Alt Triyas olarak verilmiştir.

#### **4.2.3. Kocasu formasyonu**

Formasyon yüksek basınç ve düşük sıcaklık metamorfizmasıyla başkalaşmış kumtaşı, şeyl gibi kırıntılılardan oluşan ve literatüre mavişist kayaçları olarak geçen mikaşistlerden oluşur. Kütahya ilinin batısında yer alan Tavşanlı ve çevresi, mavişist kuşağı olarak adlandırılan kayaçların çok bol gözlendiği bir bölgedir. Tüf, şeyl, çört gibi kayaların metamorfizmaya uğraması sonucu oluşan mavişist kuşağı, kuvars-mika şist, amfibol şist, amfibolitlerin bir tektonik karmaşığdır. Bu kuşak içerisinde mavişist metamorfizması kuzeye doğru artar (Okay 1984a).

#### **4.2.4. Ovacık melanji**

Birim türbiditik kumtaşı ve çakıltaşı, yeşil-sarı renkli, ince tabakalı-laminalı, şeyl-kiltaşı-çamurtaşı-tüfit-silttaşı gibi makaslanmış bir hamur içinde mavişist blokları ve ofiyolitik kaya parçaları içeren, düzensiz bir dağılıma sahip, istif görünümü sunan bir karmaşık şeklidir. Birim Koçyiğit vd. (1991) tarafından yığışım prizması topluluğu olarak tanımlanmış ve litodemik bir birim olduğundan normal bir stratigrafik birim gibi adlanamayacağı için Özburan ve Gürer (2012) tarafından Ovacık melanji olarak adlandırılmıştır.

Çoğunlukla koyu kahve ve yeşil renklerde gözlenen bu birim kabaca mavişist-filiş-ofiyolit şeklinde ayırtlanabilir. Yer yer bej ve kırmızı renkli görülmektedir. Kırmızı renk çörtlü, radyolaritli kireçtaşı bloklarından kaynaklanmaktadır. Okay (1981), genel anlamda ofiyolitli melanji oluşturan kayaların (bazik lav, volkanik aglomera, tüf, radyolaryalı çört, kırmızı ve yeşil şeyl, serpantinit, pelajik kireçtaşı ve yabancı kireçtaşı blokları) sahada ilksel özelliklerini koruduklarını ve herhangi bir metamorfizma etkisi göstermediklerini ancak ayrıntılı petrografik incelemelerden bu kayaların tümünün, bir başlangıç yüksek basınç/düşük sıcaklık metamorfizması ve bu metamorfizma ile ilgili bir metasomatizma geçirdiğini belirtmiştir. Karmaşığın içerisinde pelajik karbonat, radyolarit, mermer, gablo ve serpantinleşmiş peridotitler en yaygın olanlarıdır.

#### **4.2.5. Kınık ofiyoliti**

Başlıca peridotit, serpantinit, harzburjit ve serpantinleşmiş harzburjitlerden oluşan birim yaklaşık 150 m civarında bir kalınlığa sahiptir. Harzburjitler olivin, ortopiroksen ve spinelden oluşurlar ve genelde yeşil-koyu yeşil renk tonlarındadır. Serpantinitler ise faylı ve eziklidir. Birim içerisinde yer alan spilitik diyabazlar ile ultrabazik kayalarla ilişkili kromit ve manyezit cevherleşmeleri bulunur. Bu cevherlerin pek çoğu işletilmektedir Özburan ve Gürer (2012).

#### **4.2.6. Beke formasyonu**

Beke formasyonu adı ilk olarak Baş (1983) çalışmasında görülmektedir. Birim tabandan itibaren alacalı kırmızı, bordo, kahve, gri renkli konglomera ve kumtaşları yukarı

kesimlere doğru ise kıltaşı marndan oluşur. Birim litolojik olarak altta kaba tanelerle başlar üste doğru küçülerek kumtaşı boyutuna iner. Kendi içinde düzensiz ve kötü boylanmalıdır. Bu birim başlıca İshakçılar köyü civarı ile Arslanlı köyü kuzeyinde mostra verir. Altındaki birimlerin üzerine diskordansla gelen Beke Formasyonu üstündeki Tunçbilek Formasyonu'yla uyumlu ve düşey geçişlidir. Birimin kalınlığı ise 75 m civarındadır.

#### **4.2.7. Tunçbilek formasyonu**

Formasyon başlıca; kıltaşı, marn, çakıltaşı, silttaşı, kömür ve kireçtaşıdan oluşur. Birim ilk defa Akdeniz ve Konak (1979) tarafından Kızılbük formasyonu adıyla tanıtılmıştır. Baş (1983) tarafından üç ayrı üyeye ayrılarak incelenen birime Tunçbilek Formasyonu adı verilmiştir. Şengüler (1999) ise Seyitömer formasyonu adlamasıyla birimi beş üyeye ayırarak incelemiştir. Bu çalışmada da Tunçbilek formasyonu adıyla anılması uygun görülmüştür.

Çoğunlukla şeyl, kil, marn, kömür şeklinde depolanmış birimde genellikle yeşil renk hakimdir. Marnlar ise mavimsi-gri tonlarındadır. Birim Göl ortamını yansıtır. Yeşil kil üyesi Şengüler (1999) tarafından Seyitömer formasyonu içerisinde üye mertebesinde incelenmiştir.

Seyitömer civarı ile Arslanlı köyünde geniş bir alana yayılı şekilde gözlenen bu formasyon iki farklı linyit seviyesi ihtiva etmektedir. Kömürlü seviyenin üst kısmında bazı araştırmacılar (Nebert 1960, Nakoman 1979) tarafından yanık seri olarak adlanan, bitümlü şeyl ve bitümlü marnların yanması sonucu oluşan kırmızımsı-kiremit renklerinde bir zon bulunmaktadır. Beseme (1969) tarafından bu zon alttaki bitümlü marn ya da kömür ile üstteki linyitin yanması sonucu oluştuğu düşünülmektedir. Bu zon Seyitömer kömür işletmesi ve Arslanlı köyü civarında gözlenmektedir. Bitümlü marn ve şeyl tabakalarının bitüm içerikleri yüksektir. Yapraklanma ve laminasyonun gözlendiği bu düzeyler çoğunlukla yeşilimsi-kahve renklerindedir. Kahve renkli olan düzeyler genelde silisifiye kireçtaşı ve çörttür. Seyitömer, Arslanlı, İshakçılar, Ayvalı, Kepez dolaylarında gözlenen bu birimler diğer başka bir çok araştırmacıya da konu olmuştur. Şengüler ve diğ. (1982) çalışmalarında bitümlü marnların 480 milyon ton rezerve sahip



olduğunu, 5-30 metre arasında bir kalınlık sunan bitümlü marnların tavan-taban ilişkilerinin uyumlu olduğunu belirtmiştir.

#### **4.2.8. Sabuncupınar formasyonu**

Formasyon; kumtaşı, çakıltaşı, marn, tüfit ve kireçtaşı ardalanmasından oluşmuş ve yer yer lav arakatlıdır. Bu kalın çökel istifinin tabanında volkanoklastik malzeme bulunur. Bu volkanoklastik malzeme Sabuncupınar formasyonunun Çayca üyesi olarak tanıtılmıştır. Tüflerin üzerine gelip Çokköy formasyonunun tabanında kalan lavlar ise Kızılkaya volkaniti olarak incelenmiştir (Baş 1983, 1986).

#### **4.2.9. Çokköy formasyonu**

Birim ilk olarak Baş (1983) tarafından adlandırılmıştır. Tipik örnekleri Domaniç havzası Çokköy dolaylarında gözlenir. Kumtaşı, kıltaşı, marn, tüflerden oluşan bu formasyon Kütahya ili çevresinde geniş yüzlekler verir. Batı Anadolu'daki bor çökellerinin gözlendiği birim olarak bilinir. Genel olarak gri, kirlili beyaz, kahve tonlarında gözlenen istif çakıltaşı-kumtaşı-marn-kil ardalanması şeklindedir. İstifin en üstünde yer alan kireçtaşları ise Emet formasyonu ile dereceli geçiş yapar. Formasyon Kınık ofiyoliti üzerine diskordan olarak gelir. Birim ortalama 200 m kalınlığa sahiptir. Sahip olduğu gastropod ve ostracod fosillerine dayanılarak Alt-Orta Pliyosen olarak yaşlandırılmıştır (Baş 1983, 1986).

#### **4.2.10. Emet formasyonu**

Emet formasyonu gölsel karbonatlarla başlıca kireçtaşı ve marnla temsil olunur. Tabanda killi, kumlu seviyelerle başlayan birim üste doğru çamurtaşı, marn, kireçtaşı seviyelerinden oluşur. Kirlili beyaz, gri, sarımsı, bej renklerde görülür. Kütahya çevresinde geniş yüzlekler veren birim neredeyse bütün mostralarda Çokköy formasyonu ile birlikte görülür. Bu formasyon, bölgenin topluca yükselmesinden önce çökelen ve göl ortamının geniş alanlarda yüzeylendiği son dönem ürünüdür. İçerdiği bol gastropod ve ostracod fosilleri dikkate alındığında tuzlu su, göl ortamı ortaya çıkmaktadır. Birimde gözlenen marn düzeyleri ise bu göl ortamının sığ olduğunu

düşündürmektedir. Bölgede daha önceden yapılmış çalışmalar göz önüne alınarak formasyona Alt Pliyosen yaşı verilmiştir (Çelik 1999, Şengüler ve Soner 1999, Beseme 1969).

#### **4.2.11. Kocayataktepe formasyonu**

Birim düzensiz ve zayıf boylanmalı, ofiyolitik kökenli blok ve çakıllardan oluşmaktadır. Birim ilk olarak Baş (1983) tarafından tanıtılmıştır. Koyu kahve, koyu gri renkli, koyu yeşilimsi tonlarda bir görünümü vardır. Yüksek enerjili bir ortam ürünü olan birim, düzensiz istif ile karakteristiktir ve her seviyede her türlü malzemeyi görmek mümkündür. Yanal yönde derecelenme ya da geçişlilik göstermemesi ve diğer birimlerin üzerinde ani yığılan bir görüntü sunması sebebiyle yüksek enerjili bir akarsu veya moloz akması sonucu çökeldiği düşünülebilir. Birim Kocayataktepe civarında 50-60 m civarında bir kalınlığa ulaşmaktadır. Fosil içermemesi, üzerinde başka bir örtü istifin gözlenmemesi, pekleşmenin zayıf olması genç bir çökel olduğunu düşündürmektedir. Öncül çalışmalarda yaşı Üst Pliyosen olarak bildirilmiştir (Baş 1983, 1986).

#### **4.2.12. Kirazpınar formasyonu**

Birim çakıltaşı, kumtaşı, silttaşı ve çamurtaşından oluşmaktadır. Birim ilk olarak Özburan ve Gürer (2012) tarafından tanımlanmıştır. Mostralarda sarımsı, bej, kırmızımsı renkler hakimdir. Çakıl ve bloklar genelde kötü boylanmalı, köşelidir. Tane boyu üst seviyelere doğru küçülme gösterir. İstifin taban tavan ilişkisi net olarak gözlenmemekle birlikte kalınlığı 40 m civarındadır. Unio sp. Fosillerini bol miktarda içerir ancak bu kavkılardan yaş tayini yapılamamıştır. Emet formasyonu üzerine açılı uyumsuz gelmesi, deformasyon yapılarının zayıf gelişmiş olması birimin Pliyosen'den genç olması gerekliliğini göstermektedir (Özburan ve Gürer 2012).

#### **4.2.13. Yakaca formasyonu**

İlk olarak Baş (1983) tarafından 'eski alüviyon' olarak adlandırılmış olan birim eski alüviyon tanımlamasının tutturulmamış çakıl,kil,silt ve kumdan oluşan eski bir adlama

biçimi olması ve birimin kendine has litolojik özellikleri ve geniş bir yayılıma sebep olmasından ötürü Özburan ve Gürer (2012) tarafından Yakaca formasyonu olarak yeniden isimlendirilmiştir. Litolojik olarak kırmızımsı, pembe, kahverengi tonlarda, gri-boz renklerde çimentolanmamış veya çok az çimentolanmış malzemeden oluşur. Çakıllar köşelidir. Birim fosil içermez Pleyistosen'de bir alüviyal ortamı yansıttığı düşünülmektedir Özburan ve Gürer (2012).

#### **4.2.14. Taşlıtepe volkaniti**

Birim ilk olarak Arık ve Temur (2003) tarafından adlanmıştır. Bazalt, andezit, olivin bazalt bileşimli volkanitlerdir. Siyah, siyahımsı kahve, kızılımsı siyah renklerde gözlenir. D.S.İ (1985) tarafından hazırlanan Kütahya Porsuk havzası jeofizik rezistivite etüt raporunda Neojen formasyonlarının üzerinde bir örtü şeklinde gözlendiği ve kalınlığının yer yer 50 metreyi bulduğu belirtilmiştir. Önceki çalışmalarda Pliyosen olarak tanımlanan lavlar Özburan ve Gürer (2012) tarafından Üst Miyosen-Pliyosen yaşlı Emet formasyonuna ait kireçtaşlarını pişirmeleri sebebiyle Alt-Orta Miyosen'den itibaren bölgeye yerleşmiş olduğu belirtilmiştir. Bugüne kadar yöredeki volkanitlerde yapılmış bir radyometrik yaş tayinine rastlanmamış stratigrafik düzeyi ve önceki çalışmalara dayanılarak yine aynı araştırmacılar tarafından yaşı Holosen olarak kabul edilmiştir.

#### **4.2.15. Kütahya formasyonu**

Birim Kütahya fay zonu'nun kollarında gelişmiş alüviyon yelpazelerinden oluşur. En geniş olanının üzerinde Kütahya şehir merkezi kuruludur. Bu yelpaze Kapan çayının Keçeeğreği Drenaj sisteminin sellenmelerle Yellice dağı'ndan topladığı suların eteklerinden süzerek getirdiği malzemelerden oluşmuştur. Tabanda Kirazpınar formasyonunun üzerine gelen bu birim alüviyondan sonra yöredeki en genç birimdir. Fosil gözlenmeyen birimin yaşı Holosen (?) olmalıdır (Özburan ve Gürer 2012).

#### 4.2.16. Alüvyon

Güncel akarsular tarafından depolanmış çakıl-kum-silt-kil boyu malzemelerden oluşur. Yöredeki tüm birimleri diskordansla örten bu birim bölgedeki iki büyük çay (Felent ve Porsuk) ve onların kollarının ürünüdür.

Yaş	Fm.	Üye	Kalınlık(m)	Litoloji	Açıklamalar
	Koca		76		Alüvyon
Alt-Orta Miyosen	Seyitömer	Killi Kireçtaşı	20<		Killi Kireçtaşı
		Silisli Kireçtaşı			Silisli Kireçtaşı
		Killi Şeyl	12		Üst Linyit Damarı
			10		Yaprak ve Ostrakod Fosilli Organik Şeyl
			15		Alt Linyit Damarı
		Çamurtaşı Kiltası	20		Grimsi Çamurtaşı-Kiltası
		Kumtaşı Çakiltası	99		Alt Klastikler
MESO				Ultramafikler, Metamorfikler, Olistostramlar	

Şekil 4.4 Seyitömer havzasının stratigrafik kolon kesiti (Sarıyıldız 1992)

### 4.3. Arslanlı Ölçülü Stratigrafik Kesiti

Arslanlı Ölçülü Stratigrafik kesiti (ARS-ÖSK) Arslanlı sahasında yer alan üst kömür damarı seviyesinin üstünden alınmıştır. Bu seviye yaklaşık 20 metrelik bir kalınlık sunar. Organik maddece zengin seviyelerin taze yüzeyleri gri-koyu gri, kahve ve siyahımsı renklerde gözlenirken havanın oksijeni ile temas edip oksitlenen yüzeyler ise kahvemsi beyaz ve beyaz renklerde. Bu istiften alınan 15 adet örnek bitümlü şeyl, bitümlü marn, bitümlü kiltası, silisli marn ve kömür olmak üzere çeşitli litolojilerdedir (Şekil 4.5, 4.6). Sarıyıldız (1992) her ne kadar hazırlanmış olduğu stratigrafik kesitinde üst kömür damarının altındaki killi şeylleri organik şeyl olarak ayırtlamış olsa da ARS ÖSK'dan da görüleceği üzere asıl organik maddece zengin seviye kömür damarının üstündeki seviyedir.

ARS-1: 300 cm kalınlığında laminalı, kolay kırılğan, koyu gri renkli, bol organik maddeli bitümlü şeyl. Tabaka kalınlıkları 5 cm ile 15cm arasında değişmektedir. Tabaka kalınlığı 10 cm olan koyu yeşil renkli organik maddece zengin kiltası, tabaka kalınlığı 5cm ile 15 cm arasında değişen siyah renkli bol organik maddeli bitümlü şeyl ile ardalanmalı olarak görülmektedir.

ARS-2: 200 cm kalınlığında koyu yeşil koyu gri renkli, kolay kırılğan, laminalı, bol organik maddeli içinde gastropot fosilleri ihtiva eden, bitki izli bitümlü şeyl seviyesi.

ARS-3: 150 cm kalınlığında açık kahverenkli, kolay kırılğan alterasyon yüzeyleri beyazımsı bol organik madde içeren bitümlü kiltası seviyesi. Bu seviyede Gastropod fosilleri yer yer görülmüştür.

ARS-4: 130 cm kalınlığında koyu gri renkli, laminalı, yine gastropod fosilli bitki izli, bol organik maddeli bitümlü şeyl seviyesi (Şekil 4.7).

ARS-5: 25 cm kalınlığında taze yüzeyleri açık kahve renkli, okside yüzeyleri ise beyaz renkli organik maddeli kolay kırılğan bitümlü kiltası seviyesi.

ARS-6: 10 cm kalınlığında koyu yeşil renkli oldukça sert, bol organik maddeli, taze yüzeyleri beyazımsı olan silisli, karbonatlı seviye.

ARS-7: 30 cm kalınlığında bitümlü şeyl, bitümlü kıltaşı ardalımalı seviye. Bu seviye içerisinde biri tabanda diğeri ise tavanda olmak üzere 5 cm kalınlığında iki adet bitümlü şeyl seviyesi vardır.

ARS-8: 30 cm kalınlığında altere yüzeyleri beyaz, pamuğumsu halde kile dönüşmüş halde taze yüzeyleri açık kahverenkli organik maddeli kolay kırılğan kıltaşı seviyesi.

ARS-9: 250 cm kalınlığında taze yüzeyleri siyah, koyu gri renkli, bol organik maddeli, içerisinde gastropod fosilleri izlenen laminalı bitümlü şeyller ile istif içerisindeki 10 cm kalınlığında silisli, karbonatlı yine bol organik maddeli bitümlü marn ardalıması vardır. Bu bölümün tabanında 30 cm kalınlığında açık kahverenkli, kolay kırılğan, bol organik maddeli killi, karbonatlı, silttaşı seviyesi yer alır. Bu silttaşı içerisinde 0.5 cm ile 1 cm çapında yuvarlak oldukça hafif nodüller yer almaktadır (Şekil 4.8).

ARS-10: 100 cm kalınlığında olan bu istif koyu gri renkli, oldukça sert, organik maddece zengin, tabaka kalınlıkları 5-30 cm arasında değişen içerisinde 0.5-1 cm arasında değişen çörtlü bant seviyeleri ihtiva eden karbonatlı marn ile tabaka kalınlıkları 5cm ile 10 cm arasında değişen açık kahverenkli, laminalı, bol organik maddeli bitümlü şeyl ardalımasından oluşur.

ARS-11: 100 cm kalınlığında olan bu seviyenin içerisinde 3 cm ile 10 cm arasında değişen kömür tabakaları bulunur. Kömürler koyu kahve ve siyah renklidir. Kolay kırılğan yapıdadır. Bu 1 metrelik bölüm içerisinde koyu kahve renkli kalınlıkları 5 cm olan bol organik maddeli, gastropod fosilli bitümlü kil taşı seviyeleri ile kalınlıkları 3-7 cm arasında değişen koyu kahve renkli bitümlü kıltaşı seviyeleri ardalımalı şekilde bulunur (Şekil 4.9).

ARS-12: 150 cm kalınlığında açık kahverenkli, bol organik maddeli oldukça sert, silisli ve karbonatlı marn seviyelerinin kalınlıkları 30-50 cm arasında değişmektedir. (Bu silisli karbonatlı marn seviyesi içinde 0.5 ile 1 cm arasında kalınlığa sahip 7 adet çört

seviyesi gözlenmiştir). Bu seviye içerisinde arabantlar halinde 3 adet kalınlıkları 3 cm civarında olan koyu gri renkli, bol organik maddeli bitümlü şeyl ara tabakaları vardır (Şekil 4.10).

ARS-13: 30 cm kalınlığında koyu kahve-siyah renkli kalınlıkları 3-6 cm arasında değişen kolay kırılğan kömürlerle, 1-3 cm kalınlığında 2 adet açık kahverenkli bol organik maddeli kıltaşı seviyesi bulunmaktadır.

ARS-14:130 cm kalınlığında olan bu seviye koyu kahverenkli bol organik maddelidir. Bu seviye bitümlü şeyller ve kalınlıkları 2-15 cm arasında değişen açık kahverenkli bol organik maddeli bitümlü kıltaşı aradalanmasından oluşur. Bu seviyenin hakim litolojisi bitümlü kıltaşıdır. Bu seviyede çok yüksek organik madde içeriğinin bulunması, serbest bitümün havanın oksijeni ile temas ederek okside olması sebebiyle hem bitümlü şeyller hem de bitümlü kıltaşları beyaz renkli görülür.

ARS-15: 200 cm kalınlığında olan bu seviye tabanında kalınlığı 15 cm olan açık kahve renkli, bol organik maddelidir, silisli içerisinde 0.5-1.5 cm kalınlığında çört yumrulu seviyeler olan silisli, karbonatlı, bitümlü marn ile başlar. Üzerine 20 cm kalınlığında açık kahve renkli bitümlü kıltaşı, onun üzerine 20 cm kalınlığında koyu gri renkli bol organik maddeli bitümlü şeyl tabakası, üzerine 10 cm kalınlığında sarı, koyu sarı renkli kıltaşı tabakası, üzerine 20 cm kalınlığında koyu gri siyah renkli bol organik maddeli bitümlü şeyl, onun üzerine 40 cm kalınlıklı açık kahve renkli bol organik maddeli kıltaşı seviyesi gelir. Kıltaşlarının içerisinde 2 adet kalınlıkları 5 cm olan bitümlü şeyl seviyesi vardır. Bu seviyenin üzerinde ise 1 metre kalınlığında koyu gri renkli, bol organik maddeli bitümlü şeyl seviyesi gelir (Şekil 4.11).

KALINLIK (cm)	KESİT	JEOLJİK BİRİM	LİTOLOJİ	NUMUNE ALIMI
200cm		BİTÜMLÜ ŞEYL BİTÜMLÜ KİL ARDALANMALI  SİLİSLİ MARN	40 cm kalınlığında açık kahve renkli bol organik maddeli 0-er cm arasıntılı bitümlü şeyl içeren kıltaşı 20 cm kalınlığında koyu gri siyah renkli bol organik maddeli bitümlü şeyl 10 cm kalınlığında sarı renkli kıltaşı 20 cm kalınlığında koyu gri renkli bol organik maddeli bitümlü şeyl 20 cm kalınlığında açık kahve renkli bitümlü kıltaşı 15 cm kalınlığında açık kahve renkli bol organik maddeli silis içerisinde 0,5-1,5cm'lik yumurulu çört silisli karbonatlı bitümlü marn	ARS-15
130 cm		BİTÜMLÜ KİLTAŞI BİTÜMLÜ ŞEYL ARDALANMASI	Koyu kahve renkli bol organik maddeli bitümlü şeyl, Kalınlıkları 2-15 cm arasında değişen açık kahve renkli bol organik maddeli bitümlü kıltaşı ardalanması, hakim litoloji kıltaşıdır, okside olmuş bitümlü kıltaşı ve nitümlü şeyller beyaz renklidir	ARS-14
30 cm		KİLTAŞI KÖMÜR ARDALANMASI	Koyu kahve siyah renkli , 3-6cm kalınlıklarında kolay kırılabilir kömür, 1-3cm kalınlıklarında 2 adet açık kahve renkli bol organik maddeli kıltaşı seriyesi	ARS-13
150 cm		SİLİSLİ KARBONATLI MARN BİTÜMLÜ ŞEYL ARDALANMALI	İstifde hakim olarak açık kahve renkli bol organik maddeli oldukça sert silisli ve karbonatlı 30cm-50cm kalınlıklarında marn, bu silisli karbonatlı marnlar içerisinde kalınlıkları 0,5-1cm olan 7 adet çört seriyesi vardır, silisli kum istifin en üst kısmında gözlenmektedir, toplam 3 adet arabanlır halinde 3 cm civarında koyu gri renkli bol organik maddeli bitümlü şeyl ara tabakalı	
100 cm		BİTÜMLÜ ŞEYL BİTÜMLÜ KİL KÖMÜR ARDALANMALI	Kalınlıkları 3cm-10cm arasında değişen koyu kahve renkli kolay kırılabilir kömür tabakaları, Kalınlıkları 5cm-10cm arasında değişen koyu kahve renkli bol organik maddeli gastropod fosilli bitümlü kıltaşı, Kalınlıkları 3cm-7cm arasında değişen koyu kahve renkli bitümlü kıltaşı	ARS-11B ARS-11A
100 cm		BİTÜMLÜ MARN BİTÜMLÜ ŞEYL ARDALANMASI	Koyu gri renkli oldukça sert organik maddeli tabaka kalınlıkları 5 cm-30 cm arasında değişen karbonatlı marn (karbonatlı marn içerisinde 0,5cm-1cm arasında değişen çörtü silikali bentler vardır), kalınlıkları 5cm-10cm değişen açık kahve renkli laminalı bol organik maddeli bitümlü şeyl ardalanması, bu ardalanmada bitümlü şeyller ara tabaka halinde dir.	
250 cm		BİTÜMLÜ ŞEYL BİTÜMLÜ MARN ARDALANMASI	Taze yüzeyleri siyah koyu gri renkli bol organik maddeli gastropod fosilli bitümlü şeyl istif içerisinde 4 adet 10 cm kalınlığında silisli karbonatlı bol organik maddeli bitümlü marn ardalanması	ARS-9A ARS-9C
30 cm		KİLİ KARBONATLI SİLİTAŞI	30 cm kalınlığında açık kahve renkli kolay kırılabilir bol organik maddeli killi karbonatlı silttaşı, bu seriyede 0,5 cm ile 1 cm çaplı yuvarlak oldukça hafif nodüller vardır	ARS-9B
30 cm		KİLTAŞI	Altare yüzeyleri beyaz pamukumsu halde kile dönüşmüş taze yüzeyleri açık kahve renkli olan organik maddeli kolay kırılabilir kıltaşı	
30 cm		BİTÜMLÜ ŞEYL-BİTÜMLÜ KİLTAŞI ARDALANMASI	Tavan ve tabanda 5 cm kalınlığında koyu gri renkli bitümlü şeyl, açık kahve renkli kıltaşı ardalanması	ARS-7
10 cm		SİLİSLİ KARBONAT	Koyu yeşil renkli oldukça sert bol organik maddeli taze yüzeyleri beyazımsı olan silisli marn	ARS-6
25 cm		BİTÜMLÜ KİLTAŞI	Koyu kahve renkli taze yüzeyleri beyaz olan organik maddeli kolay kırılabilir bitümlü kıltaşı	ARS-5
130 cm		BİTÜMLÜ ŞEYL	Koyu gri renkli laminalı gastropod fosilli bitki izli bol organik maddeli bitümlü şeyl	ARS-4
150 cm		BİTÜMLÜ KİLTAŞI	Açık kahve renkli kolay kırılabilir alterasyon yüzeyleri beyazımsı organik madde içerikli gastropod fosilli bitümlü kıltaşı	ARS-3
200 cm		BİTÜMLÜ ŞEYL	Koyu gri koyu yeşil renkli kolay kırılabilir laminalı bol organik maddeli, gastropod fosilli bitki izli bitümlü şeyl	ARS-2
300 cm		BİTÜMLÜ ŞEYL KİLTAŞI ARDALANMASI	Koyu gri renkli bol organik maddeli laminalı kolay kırılabilir tabaka kalınlığı 5 cm-15cm arasında değişen bitümlü şeyl  Koyu yeşil renkli organik maddeli tabaka kalınlığı 10 cm olan kıltaşı	ARS-1

Şekil 4.5 Arslanlı bölgesine ait ölçülü stratigrafik kesit





Şekil 4.6 Arslanlı ölçülü stratigrafik kesitinin alındığı istifin görüntüsü



Şekil 4.7 ARS-4B bitümlü şeyl örneğinin görüntüsü



Şekil 4.8 Arslanlı sahasına ait ARS 9A-B seviyesinin arazi görüntüsü



Şekil 4.9 Arslanlı sahası kömür üstü bitümlü seri ARS 11-B arazi görüntüsü



Şekil 4.10 Arslanlı sahasına ait ARS-12 çörtlü seviyenin arazi görüntüsü



Şekil 4.11 Arslanlı sahasına ait ARS 15 B örneğinin arazi görüntü

## 5. ORGANİK JEOKİMYASAL İNCELEMELER

Organik jeokimyasal analizler, sedimanter havzalarda organik madde içeriğine sahip istiflerin jeolojik devirler boyunca petrol ve/veya gaz üretip üretmemelerinin anlaşılmasını sağlayan en önemli yöntemlerdir. Bu analizler neticesinde, Hidrokarbon üreten kaynağın organik kökenli olduğu ve bu organik maddenin ısı ile birlikte parçalanmaya başlayarak oluştuğu kabul edilmektedir (Tissot ve Welte 1984). Kaynak kayaların üretim potansiyellerinin belirlenmesi için içerdiği organik madde miktarı, kerojen tipi (Tip I, Tip II, Tip III) ve olgunluk derecesi mutlaka bilinmesi gereken parametrelerdir.

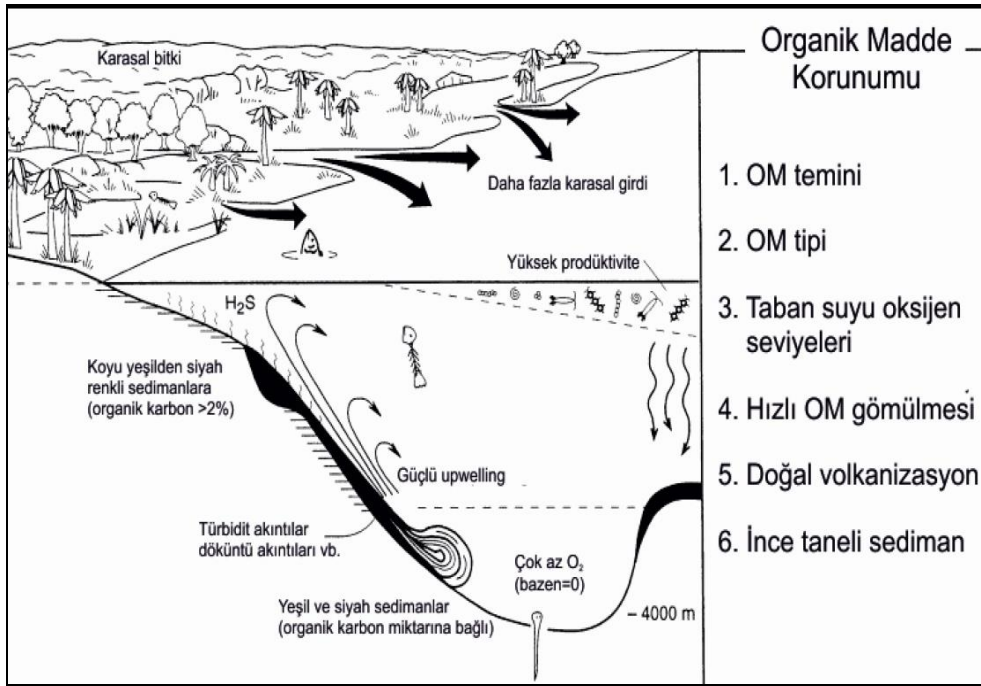
### 5.1. Organik Maddece Zengin Sedimanlar

Organik madde içeren bitümlü şeyl, marn ve kiltaşlarının organik ve inorganik olmak üzere iki farklı bileşeni vardır. Organik bileşenleri kerojen ve bitümden oluşurken, inorganik bileşenleri ise kil ve karbonat mineralleri ile sülfidli bileşenlerden oluşur. Farklı disiplinlerce araştırma konusu olan organik madde sularda, toprakta, sedimanter kayaçlar içerisinde dağınık olarak bulunur.

Canlı organizmalardan oluşan organik madde, canlı organizmaların ölümünden sonra karbonhidrat, lipidler, proteinler, lignin gibi birleşik maddelerin sedimantasyon ortamına bağlı olarak çeşitli ayrışmalara maruz kalması neticesinde sedimanlar içerisinde yoğunlaşmaları gözlenir.

Organik madde birikimi; ölü zooplanktonlar, tüketilmiş su yosunu hücreleri, ölmüş nektonlar, dışkı taneleri ile akarsu ve rüzgar gibi taşıma ajanlarıyla karadan taşınan organik maddelerin dibe çökmesiyle başlar. Bu dibe çökme süreci oldukça yavaştır. Organik kalıntılardan tane boyu en büyük olanlar en önce, en küçük olanlar ise en son dibe çökerler. Organik kalıntılar canlı aktivitesinin olduğu oksijenli bir ortama düşerse, önce bu kalıntılarla beslenen canlılar tarafından tüketilir ve bu canlıların dışkılamaları suretiyle dibe çökebilir. Organik maddenin oksijenin bol olduğu bir su kolonunda uzun süre kalması ve su kolonunun derin olması da organik maddenin korunumunu olumsuz yönde etkileyen faktörlerdir ( Şekil 5.1).

Günlenmiş organik maddenin büyük bir kısmı nehirlerde canlı aktivitesi veya oksijen tarafından bozunmak suretiyle yok olmaktadır (Meybeck 1987). Organik maddenin jeokimyasal özelliklerinin değişmesinde günlenme, erozyon ve yeniden depolanma faktörleri etkilidir. Organik maddenin birikiminde ve korunmasında mutlaka ortamın sülfidik ve indirgen şartlarda olması arzu edilir. Böyle ortamlarda oksijenin olmaması hem canlı yaşamını tüketir hem de organik maddenin oksijen tarafından parçalanmasını önler.

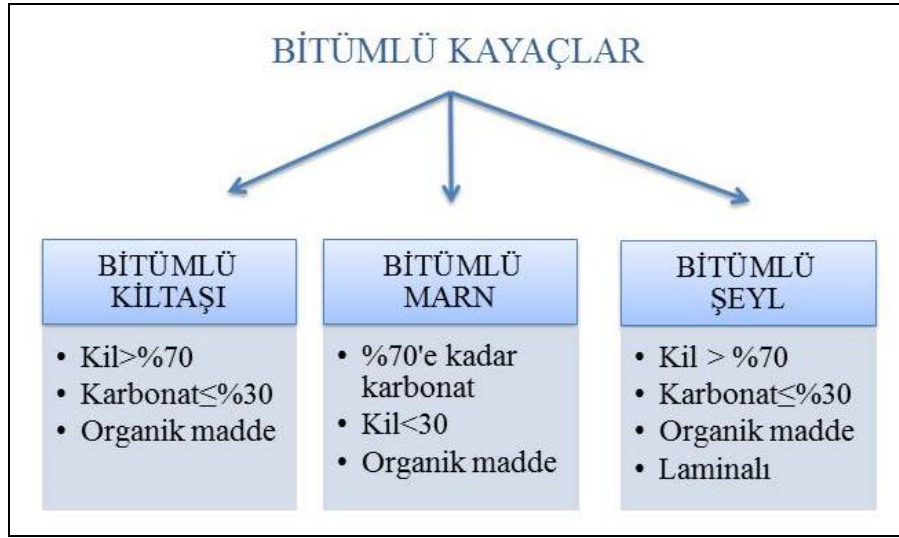


Şekil 5.1. Organik maddenin korunumu (Arthur vd.1994'den türkçeleştirilmiştir)

## 5.2. Bitüm Kavramı ve Bitümlü Kayaçlar

Bitüm, organik çözücülerde çözülebilen ve yaklaşık 300 °C sıcaklık altında eriyen organik materyaldir. Bitüm, kayaç içerisinde bulunan üretilebilir hazır halde bulunan katı petroldür ve Rock Eval analizlerinden elde edilen S<sub>1</sub> piki kayaçtaki bitümü temsil ettiği kabul edilir. Kerojen ise organik çözücülerde çözünemeyen ve yaklaşık 425-460 °C arasında bünyesindeki kimyasal bağların kopmaya başlaması neticesinde petrol üretmeye başlayan organik materyaldir. Rock eval analizinde elde edilen S<sub>2</sub> piki kayaç içerisindeki kerojenin petrol ve gaz potansiyelini göstermesi açısından önemlidir.

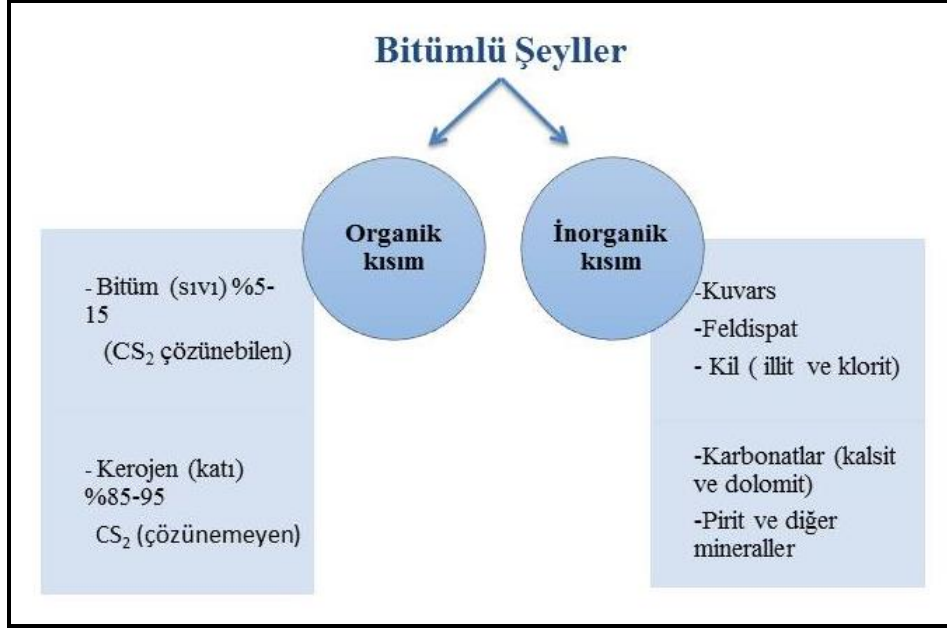
Bitümlü kayaçlar genellikle çamurtaşı türevleri olup içerdikleri farklı kil ve karbonat oranları sebebiyle kıltaşı, marn ve şeyl olarak üç kısma ayrılır (Şekil 5.2). Bu birimler bitüm ihtiva edip etmemesi durumuna göre önlerine bitümlü sıfatı alırlar. Şeyller bitümlü kayaçlar içerisinde literatürde adına en fazla rastlanan kayaç grubu olması ve bu tez çalışmasında da araziden alınan örneklerin daha çok şeyl litolojisinde olması sebebiyle bitümlü şeyller üzerinde daha çok durulacaktır.



Şekil 5.2 Bitümlü kayaç sınıflaması

### 5.3. Bitümlü Şeyllerin Bileşimi

Bitümlü şeyl; başlıca kuvars, feldispat, kil, karbonat, pirit vb. inorganikler ile bitüm ve kerojenin oluşturduğu organik maddelerden oluşur. Bitümlü şeyllerin organik maddesi organik çözücülerde (CS<sub>2</sub>) çözünebilen bitüm ve organik çözücülerde çözünemeyen kerojenden ibarettir (Şekil 5.3). Bitümlü şeyllerin inorganik bileşimleri ise çökelme ortamı, çökelme koşulları, iklim, tektonik koşullar ve alterasyon hakkında önemli bilgiler sunarlar.



Şekil 5.3 Bitümlü şeylerin bileşenleri

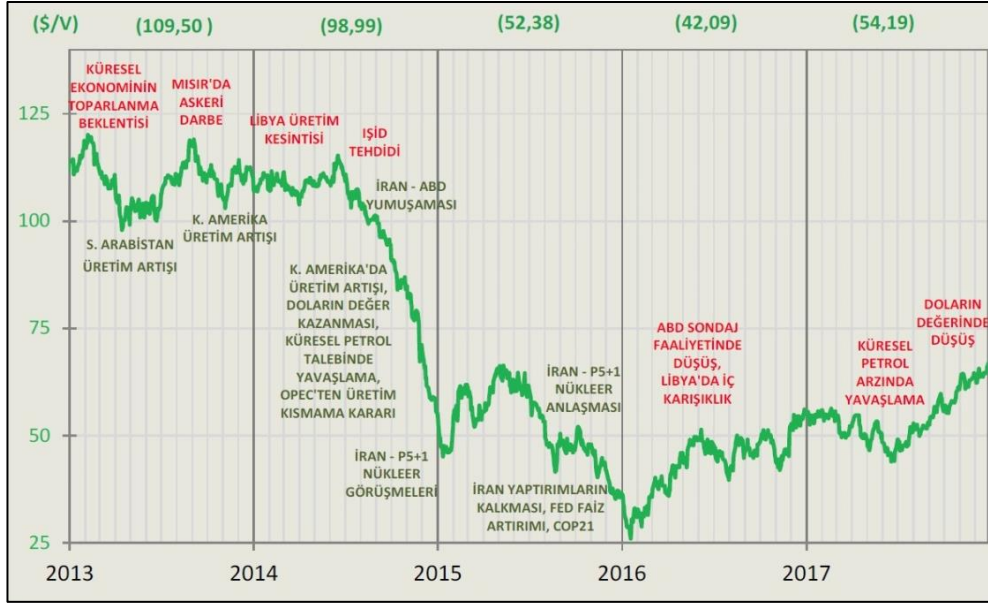
#### 5.4. Bitümlü Şeylerin Kullanım Alanları ve Dünya’da Şeyl Petrolü

Bitümlü kayaçlar dünyanın bir çok farklı bölgesinde çok çeşitli yaş aralığında karşılaşılmaktadır. Bir kaç metreden yüzlerce metreye kadar değişen kalınlığa sahip ve yüzlerce kilometre kare alana yayılan sahalar mevcuttur.

Bir çok bitümlü şeyl sahası ekonomik öneme haiz olup, açık işletmeye uygun olacak kadar yüzeye yakın konumda bulunan sahalar açık işletme yöntemi ile, derinde olan diğer sahalar ise klasik yer altı madenciliği ya da yerinde (insitu) metodlarla petrolü damıtmak suretiyle işletilmektedir.

Amerika Birleşik Devletleri, Estonya, Ürdün, Rusya, Çin ve Avustralya bitümlü şeylerden petrol ve türevlerini üreten başlıca ülkelerden bazılarıdır. Petrol fiyatlarının 2013 yılı itibariyle varil başına 120 dolar civarına yükselmesiyle birlikte (Şekil 5.4) ankonvansiyonel petrol üretme yöntemlerinden belkide en önemlisi olan bitümlü şeylere olan ilginin dünya çapında artmasına sebep olmuştur. Bu durum büyük bitümlü şeyl kaynaklarını ticari hale getirmiştir. ABD bu ülkelerin başında gelmektedir ve hidrolik çatlatma ve yönlü sondaj gibi tekniklerle bu alandaki üretim faaliyetini artmıştır. Petrol fiyatlarının 2014 yılı ortalarından itibaren küresel gelişmeler

neticesinde kademeli olarak düşmeye başlayıp 2016 yılında 30 doların altına düşmesiyle birlikte ankonvansiyonel yöntemlere olan ilgi bir nebze azalmış olsa da bitümlü şeyl üretim teknolojilerinin sürekli gelişmesi ve üretim maliyetlerinin 25–50 dolar/varil civarında seyretmesi ve yaşanan maliyet düşüşü şeyl petrolüne gösterilen ilginin azalmasını engellemiş ve üretim faaliyetlerinin devamı sağlamıştır.



Şekil 5.4 2013-2017 arasında küresel petrol fiyatlarının seyri (Energy Intelligence 2018)

Bitümlü şeyllerden petrol eldesi amacı dışında da yararlanılmaktadır. Bunlardan bazıları, termik santralde katı yakıt olarak kullanmak (ısısal gücü 850 Kcal/kg ve daha yüksek olanlar), yakma işlemi sonrasında açığa çıkan küllerden çeşitli elementler ve nadir toprak elementlerinin ayıklanması suretiyle zenginleştirilmesi, yine küllerden çimento hammaddesi ve refrakter tuğla yapımında faydalanmak, gübre sanayi ve toprak stabilizatörü olarak değerlendirme ve aktif karbon üretimi bu yöntemlerden başlıcalarıdır.

## 5.5. Organik Jeokimyasal Çalışmalar

Petrolün organik kökenli olması sebebiyle, organik maddenin türü, miktarı ve ısısal uygunluğunun bilinmesi petrol aramacılığının ilk basamağını oluşturmaktadır. Havzada



çökelmiş olan sedimanların petrol kaynak kayası olma özelliği taşıması için öncelikle belirli miktarda organik madde içermesi (killer için  $>0,5$  karbonatlar için  $>0,3$  TOC), içerdiği organik madde tipinin petrol veya gaz türetebilecek nitelikte olması (Tip I, Tip II, Tip III) ve bununla birlikte ısıl olgunluğun petrol türümü için yeterli olması gerekmektedir. Bu bakımdan, kaynak kaya özelliğine sahip kayaçların yayılımları, paleocoğrafya ile ilişkileri, petrol türetecek yeterli olgunluğa ulaştıkları jeolojik yaş aralığı, oluşan petrolün hangi yollardan hangi miktarda göç ettiği, göç yolları ve kapanlanma süreci ile üretim potansiyellerinin belirlenmesi açısından organik jeokimyasal incelemeler son derece büyük bir öneme sahiptir.

#### **5.6. Arslanlı ÖSK'sı Bitümlü Kayaçlarına Ait Piroliz Analizleri**

Rock–Eval analizi kaynak kaya potansiyeli olan kayaçların içermiş olduğu organik maddenin köken, olgunluk ve kerojen tipini incelemek için kullanılan bir yöntemdir. Bu tez kapsamında incelenecek olan Arslanlı (Seyitömer/Kütahya) sahasına ait bitümlü şeyl örneklerinin Rock-Eval piroliz analizinden elde edilen  $S_1$ ,  $S_2$ ,  $S_3$ ,  $T_{max}$ , Hidrojen İndeksi (HI), Oksijen İndeksi (OI), Üretim İndeksi (PI), Rezidüel Karbon (RC %) ve Piroliz Edilebilen Karbon (PC%) sonuçları Çizelge 5.1’de verilmiştir.

Çizelge 5.1 Piroliz analizleri sonuçları

	<b>TOC, wt %</b>	<b>S<sub>1</sub>,mg HC/g kaya</b>	<b>S<sub>2</sub>,mg HC/g kaya</b>	<b>S<sub>3</sub>,mg HC/g kaya</b>	<b>Tmax °C</b>	<b>HI</b>	<b>OI</b>	<b>PI</b>	<b>RC %</b>	<b>PC %</b>
<b>ARS-15</b>	24.46	4.85	147.05	13.20	433	601	54	0.03	11.20	13.26
<b>ARS-14</b>	18.82	3.13	106.12	13.86	438	564	74	0.03	9.08	9.74
<b>ARS-13</b>	40.69	4.58	202.82	39.65	430	498	97	0.02	21.76	18.93
<b>ARS-11B</b>	39.54	4.86	292.1	16.37	438	739	41	0.02	14.06	25.48
<b>ARS-9C</b>	17.16	10.54	129.9	6.06	438	757	35	0.08	5.18	11.98
<b>ARS-6</b>	3.48	0.95	22.26	1.10	429	640	32	0.04	1.44	2.04
<b>ARS-5</b>	11.53	0.29	19.23	4.28	414	166	37	0.01	1.63	9.90
<b>ARS-4</b>	23.90	4.12	177.74	10.52	436	744	44	0.02	8.27	15.63
<b>ARS-3</b>	26.57	4.55	122.05	11.4	428	459	42	0.04	16.06	10.51
<b>ARS-2</b>	14.77	4.33	98.05	4.85	432	663	32	0.04	6.27	8.50
<b>ARS-1</b>	21.43	2.73	112.06	7.46	432	522	34	0.02	11.90	9.53

### 5.6.1. Toplam organik karbon (TOC, wt %) incelemeleri

Sedimanlar içerisinde yer alan organik madde miktarı Toplam Organik Madde (TOC, wt %) olarak adlandırılmaktadır. Kayacın içindeki kerojene ait karbon miktarı ile bu kerojenden türeyip fakat kayaç dışına atılmamış olan hidrokarbonlara ait karbonların toplamının yüzde ağırlık cinsinden ifadesidir (Hunt 1995). Kayaç içerisindeki organik madde miktarını belirlemek için Leco metodu, Carmhograph metodu ve Rock-Eval metodu olmak üzere üç farklı yöntem uygulanabilmektedir. Bu yöntemin esası organik maddenin hava veya oksijen atmosferi altında yakılıp TOC değerinin tayin edilmesi esasına dayanmaktadır. Sıcaklıklar her bir metod için farklılıklar arz etmektedir. Leco için 1500 °C, Carmhograph için 1100 °C, Rock-Eval metodu için ise 600 °C'dir. Tissot ve Welte (1994)'e göre bir kayacın petrol kaynak kayası olarak kabul edilebilmesi için içermesi gereken minimum TOC miktarı şeyller için % 0.5, karbonatlı kayaçlar için ise % 0.3'tür. Ancak bu tespitin petrol kaynak kayaları için geçerli olduğunu bitümlü kayaçlarda bu sınır değerlerin daha yüksek olduğunu unutmamak gerekir.

Çeşitli araştırmacılar tarafından şeyl kaynak kayaları için yapılan çalışmalarda kaynak kaya potansiyeli tayini yapılabilmesi için farklı sınır değerleri önerilmiştir bu araştırmacılar ve önermiş oldukları TOC, wt % değerleri Çizelge 5.2'de verilmiştir.

Çizelge 5.2 Çeşitli araştırmacılara göre TOC (wt, %) ve kaynak kaya potansiyeli sınıflaması

Tissot ve Welte (1984)		Jarvie (1991)		Peters ve Cassa (1994)	
TOC (wt, %)	Kaynak Kaya Kalitesi	TOC (wt, %)	Kaynak Kaya Kalitesi	TOC (wt, %)	Petrol Potansiyeli
0,1 – 0,5	Zayıf	0– 0,5	Yetersiz	0 – 0,5	Zayıf
0,5 – 1	Orta	0,5 – 1	Orta	0,5 – 1	Orta
1 – 2	İyi	>1	Yeterli	1 – 2	İyi
2 – 10	Zengin			2 – 4	Çok iyi
				>4	Mükemmel

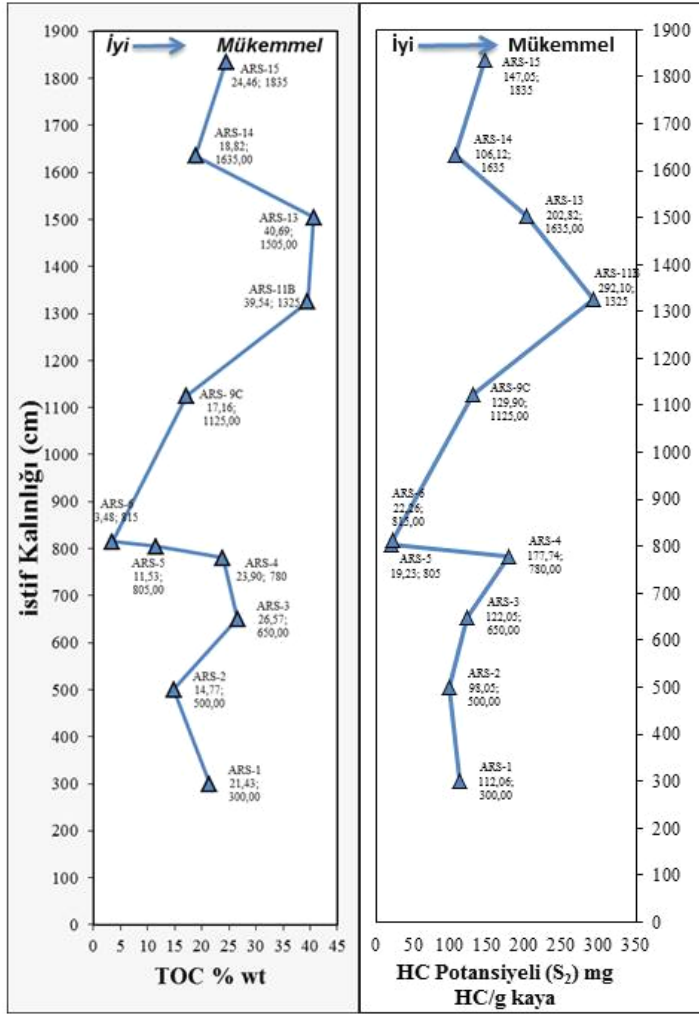
Buna göre, Arslanlı sahasına ait 11 örneğin Rock-Eval analizinden elde edilen Toplam Organik Karbon (TOC, wt %) değerleri 3.48 ile 40.69 arasında değişmekte olup (

ortalama wt, % 22.03), bu değerler sahanın Tissot ve Welte'ye (1984) göre 'Zengin' Peters ve Cassa'ya (1994) göre 'Mkemmell', Jarvie'ye (1991) göre ise 'Yeterli' kaynak kaya potansiyeline sahip olduğu göstermektedir (izelge 5.3).

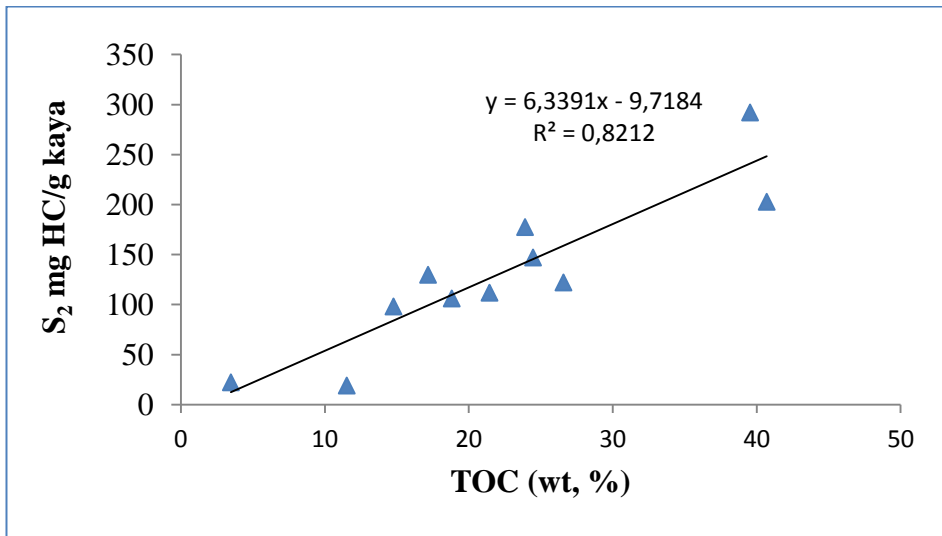
Çizelge 5.3 Arslanlı sahası bitümlü Őeylleriine ait toplam organik madde miktarı ve kaynak kaya potansiyelleri

rnek No	TOC, wt %	Tissot ve Welte (1984)	Jarvie (1991)	Peters ve Cassa (1994)
ARS-15	24.46	Zengin	Yeterli	Mkemmell
ARS-14	18.82	Zengin	Yeterli	Mkemmell
ARS-13	40.69	Zengin	Yeterli	Mkemmell
ARS-11B	39.54	Zengin	Yeterli	Mkemmell
ARS-9C	17.16	Zengin	Yeterli	Mkemmell
ARS-6	3.48	Zengin	Yeterli	çok iyi
ARS-5	11.53	Zengin	Yeterli	Mkemmell
ARS-4	23.90	Zengin	Yeterli	Mkemmell
ARS-3	26.57	Zengin	Yeterli	Mkemmell
ARS-2	14.77	Zengin	Yeterli	Mkemmell
ARS-1	21.43	Zengin	Yeterli	Mkemmell

Arslanlı ll stratigrafik kesiti (ARS-SK) rneklerinden elde edilen TOC (wt, %) değerlerine karşılık istif kalınlılığı (cm) ve S<sub>2</sub> pikine karşılık kalınlık (cm) diyagramları oluşturulduğunda; öncelikle oluşturulan bu iki diyagramın birbirlerine benzer trendler sergiledikleri görülmüştür. Kesitin tabanında toplam organik karbon ve S<sub>2</sub> piki değerlerinin görece yüksek olduğu, kesitin orta kesimlerinde TOC (wt, %) değeri ve S<sub>2</sub> piki değerinin en düşük seviyeye ulaştığı, kalınlığın artmasıyla birlikte yine TOC (wt, %) değeri ve S<sub>2</sub> pikinde keskin artıŐlar gerçekleŐtięi daha sonra kesitin tavanındaki değerlerin tabandaki değerlere yakın seyrettiği görülmüştür (Şekil 5.5). Ayrıca oluşturulan S<sub>2</sub> mg HC/g kaya–TOC (wt, %) diyagramında elde edilen 0.82 r<sup>2</sup> değeri ile gcl pozitif korelasyon da bu anlamda önemlidir (Şekil 5.6).



Şekil 5.5 Arslanlı sahasına ait örneklerin TOC (wt, %) ve S<sub>2</sub> mg HC/g kaya pikinin kalınlıkla değişimi gösteren diyagramlar



Şekil 5.6 S<sub>2</sub> mg HC/g kaya ile TOC (wt, %) arasındaki ilişkiyi gösteren diyagram

Toplam organik karbon miktarı tek başına petrol kaynak kayası potansiyelini yansıtmaya yetmeyebilir. Örneğin kömür oluşturmaya yatkın olan karasal organik maddeler yüksek TOC içeriğine sahip olsalar bile petrol üretmezler. Ayrıca sedimanter döngülerle yeniden işlenen organik maddeler eski denizel sedimentlerde yüksek miktarda depolanabilirler. Bu ve benzeri yanıltıcı durumlar için yüksek TOC içeriği ile birlikte kerojen tipi ve ısıl olgunlaşma da kaynak kaya çalışmalarında son derece büyük bir öneme sahiptir.

### **5.6.2. Organik madde tipi incelemeleri**

Organik maddece zengin kayalardan hidrokarbon türümü gerçekleşmesi organik maddenin tipine bağlıdır. Sediman içerisindeki organik madde karasal ve denizel olmak üzere iki tiptedir. Karasal organik madde genellikle gaz, denizel organik madde ise petrol üretir. Bunun başlıca nedeni, organik maddeyi oluşturan organizmaların kimyasal yapılarıdır. Denizel organizmaların vücut ağırlıklarının büyük bir kısmını lipidler oluştururken, karasal bitkiler mevcut ağırlıklarını taşıyabilmek için bir desteğe ihtiyaç duyarlar bu destek selüloz ve lignin tarafından sağlanır. Biyolojik bozunmaya karşı selüloz dayanıksız iken lignin ise çok dayanıklıdır. Aromatik halkaya bağlı kısa yan zincirlerden oluşan lignin gömülmeyle birlikte artan sıcaklığa karşı kopan kısa yan zincirlerden metan ve etan gibi gazlar üretir.

Karbon, Hidrojen ve Oksijen içeriklerine göre kerojenler Tip I, Tip II, Tip III ve Tip IV olmak üzere dört çeşittir.

- a- Tip I kerojen: Algal kökenli organik maddeler olup özellikle gölsel ortamlarda türemişlerdir. Kimyasal yapılarında alifatik zincirler son derece boldur. Aromatik bileşik oranı ise sınırlıdır. Bünyelerinde bulunan yüksek H/C ve düşük O/C ile karakterize olurlar. Lipid bileşiklerce zengin olup petrol türetme yetenekleri yüksektir.
- b- Tip II kerojen: Bu tür kerojen genellikle spor, polen, karasal bitki kütikülleri, yaprak ve ağaçsal reçinelerin yağ ve mumu bileşenlerinden ve bitki tohumlarından oluşmaktadır. Denizel ve karasal kökenli organik maddelerin birlikte bulunduğu ortamlarda oluşurlar. Yapılarındaki alifatik zincirler Tip I kerojene göre daha az, aromatik bileşikler ise daha fazladır. Moleküler yapısında

H/C oranı Tip I kerojene göre daha az O/C oranı ise daha yüksektir. Bu sebeplerle petrol üretme yetenekleri Tip I kerojene göre daha sınırlıdır.

- c- Tip III kerojen: Selülozlu organik maddeler, yüksek bitkiler ve karasal kökenli yüksel ağaçlardan oluşan bu kerojen tipi içermiş oldukları fazla aromatik halkalar sebebiyle petrol üretme yetenekleri son derece kısıtlı olup genellikle gaz üretirler.
- d- Tip IV kerojen: Aromatik yapılu organik maddeden depolanma öncesi, depolanma süreci ya da petrolün parçalanması sürecinde oluşur. Hidrokarbon potansiyelleri yoktur. Çok nadiren kuru gaz CH<sub>4</sub> üretirler. Kömürler Tip IV kerojen olarak tanımlanır.

Bu tez kapsamında organik madde tipinin belirlenmesi amacıyla Hidrojen İndeks (HI, mg HC/g kaya) verisi (Jones 1984, Peters ve Cassa 1994), HI-OI (Van Kravelen 1993), ve TOC-S<sub>2</sub> (Langford ve Blanc-Valleron 1990) diyagramları ile Hidrokarbon Tip İndeksi S<sub>2</sub>/S<sub>3</sub> (Peters ve Cassa 1994) diyagramlarından yararlanılmıştır.

Hidrojen İndeks (HI, mg HC/g kaya) verisi kayacın kerojen tipinin tayini ve hidrokarbon tipinin (petrol/petrol+gaz) anlaşılmasında önem arz eder. HI, kerojenin hidrojen zenginliğinin ifadesidir ve algal kerojenlerde en yüksek değerlere sahiptir. Bu sebeple Tip I kerojende en yüksek değerlere sahipken Tip III kerojende en düşük değerler karşımıza çıkar. Dolayısıyla Hidrojen İndeks değeri ne kadar yüksek ise kerojen de o derece zengin petrol potansiyeline sahiptir. Arslanlı sahasına ait bitümlü şeyl örneklerinin HI verileri Jones (1984) ve Peters ve Cassa (1994) standartlarına göre değerlendirilmiştir. (Çizelge 5.4, Çizelge 5.5)

Çizelge 5.4 Hidrojen indeksi değerlerine karşılık gelen kerojen tipi ve HC potansiyeli (Jones 1984)

Kerojen	Hidrojen İndeksi	Potansiyel
Tip I	>700	Petrol penceresi, genellikle gölsel
Tip II	350-700	Petrol penceresi, genellikle denizel
Tip II/III karışık	200-350	Karışık petrol/gaz penceresi
Tip III	50-200	Petrol/Gaz, genellikle karasal
Tip IV	<50	Gaz penceresi

Çizelge 5.5 Hidrojen İndeksi parametresine göre Kerojen Tipi (Peters ve Cassa 1994)

HI, mg HC/g kaya	Kerojen Tipi ve Hidrokarbon tipi
> 600	Tip I, Petrol
300 - 600	Tip II, Petrol
200 - 300	Tip II - Tip III, Petrol – Gaz Karışık
50 - 200	Tip III, Gaz
< 50	Tip IV, Sınırlı Gaz

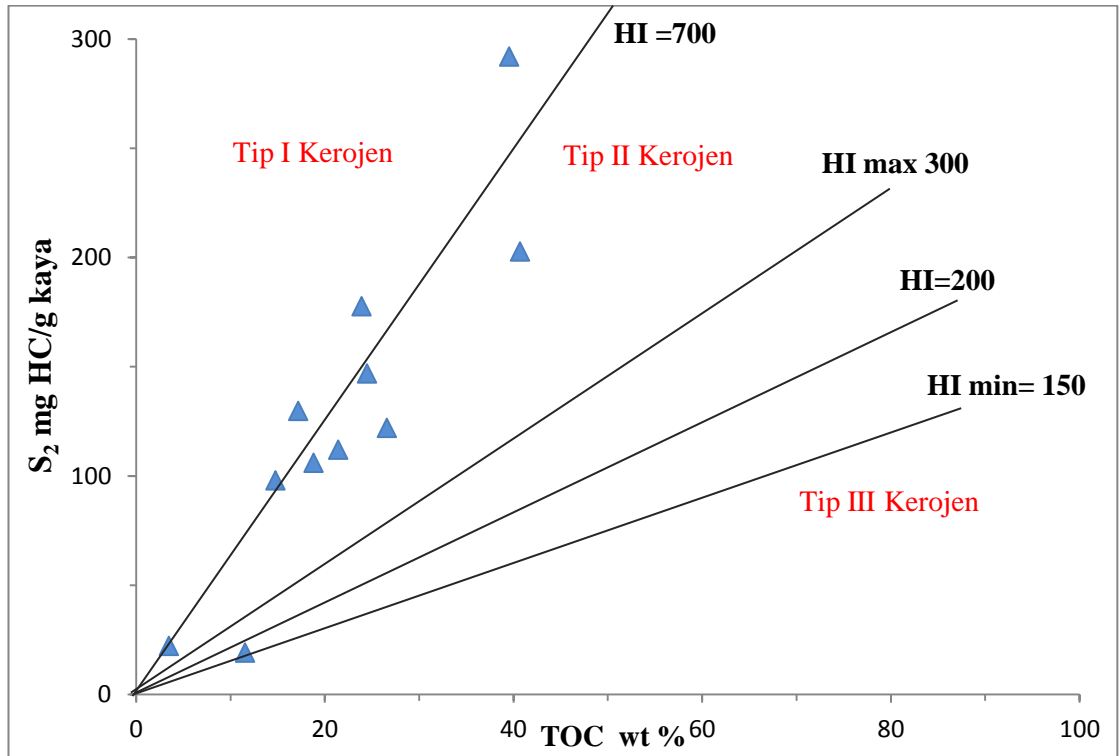
Buna göre incelenen 11 örnekte Hidrojen İndeks değerleri 166-757 mg HC/g kaya arasında değişen (ortalama 577,5 mg HC/g kaya) veriler elde edilmiştir. Bu değerler Jones (1984)'e göre 1 adet örnekte Tip III kerojen, karasal kaynak ve gaz türümü; 3 adet örnekte “Tip I kerojen” gölsel kaynak ve petrol türümü; 7 adet örnekte ise “Tip II kerojen” denizel kaynak ve petrol türümüne uygun olduğu tespit edilmiştir. Peters ve Cassa (1994)'e göre ise yine 1 adet örneğin “Tip III kerojen” içerdiği ve gaz potansiyeline sahip olduğu olduğu, 6 adet örneğin “Tip I kerojen” gölsel kaynaklı alglerden oluştuğu ve petrol türeteceği, 4 adet örneğin ise “Tip II kerojen”den oluştuğu, denizel kaynaklı olduğu ve petrol türeteceği sonucuna ulaşılmıştır (Çizelge 5.6).

Arslanlı sahasından alınan örneklerin piroliz analizlerinden elde edilen sonuçlar kullanılarak oluşturulan; Arslanlı sahasına ait bitümlü şeyl örneklerinin HI sınır değerleriyle ilişkilendirilmiş S<sub>2</sub>-TOC grafiği, Arslanlı sahasına ait bitümlü şeyl örneklerinin kalınlık–HI arasındaki ilişkiyi gösteren diyagram ve Arslanlı sahasına ait bitümlü şeyl örneklerinin OI–HI değerleri arasındaki ilişkiyi gösteren diyagramlar (Şekil 5.7, 5.8, 5.9) göz önüne alındığında Arslanlı sahasına ait bitümlü şeyl örneklerinin genel olarak Tip I kerojen ve Tip II kerojen içerdiği, petrol potansiyeline sahip oldukları, bir tane örneğin ise Tip III kerojen içerdiği ve gaz potansiyeline sahip olduğu tespit edilmiştir.

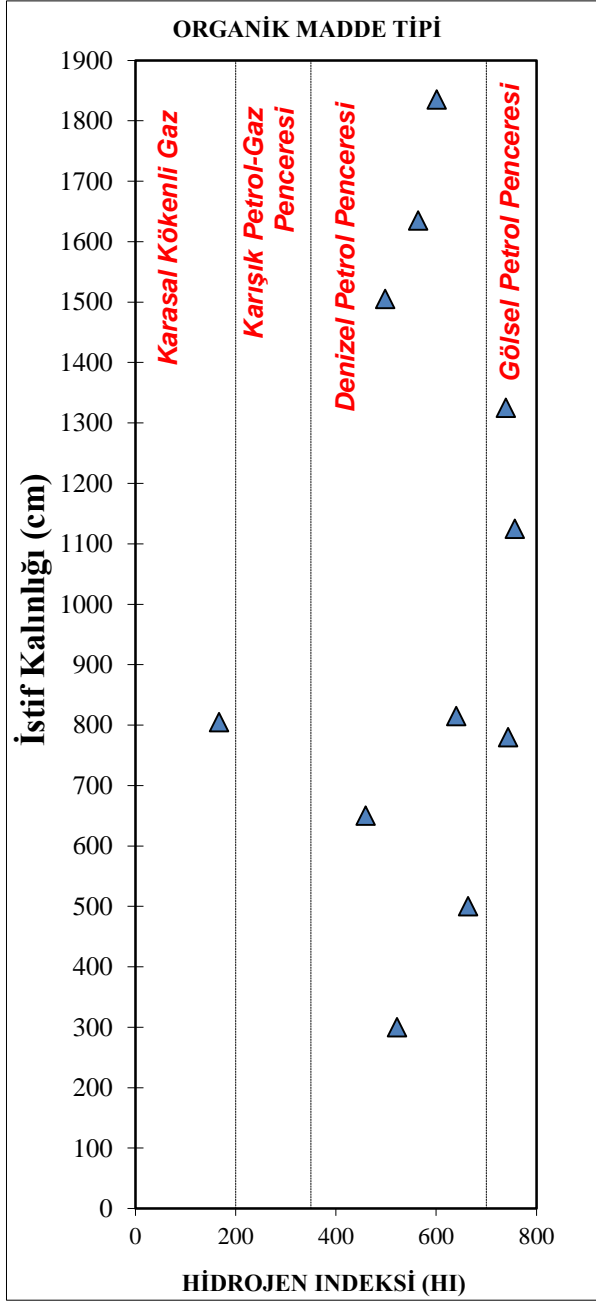


Çizelge 5.6 İncelenen örneklerin HI değerlerine karşılık hidrokarbon tipleri

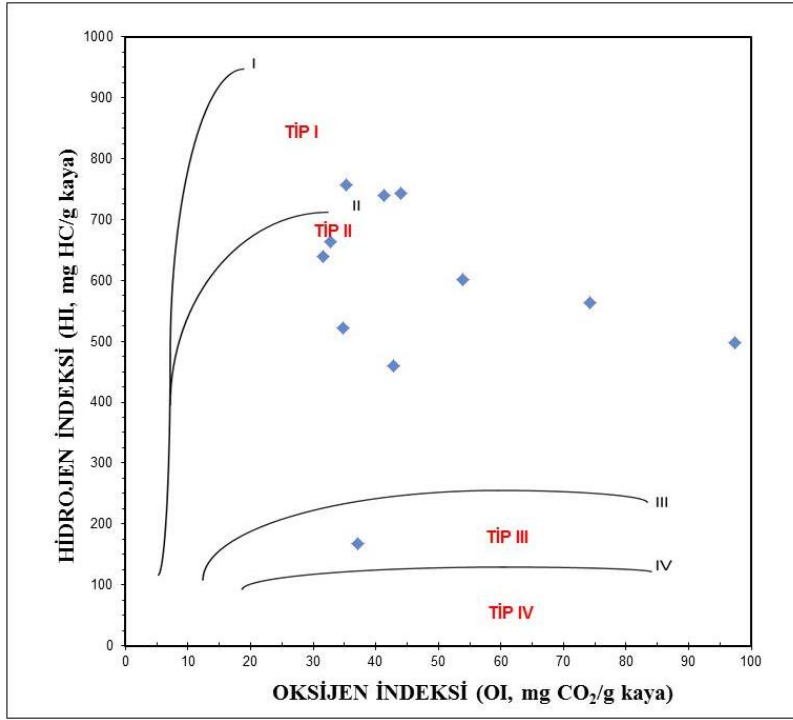
Örnek no	HI, mg HC/g kaya	Jones (1984)	Peters ve Cassa (1994)
ARS-15	601	Petrol-Denizel Tip II	Petrol Tip I
ARS-14	564	Petrol-Denizel Tip II	Petrol Tip II
ARS-13	498	Petrol-Denizel Tip II	Petrol Tip II
ARS-11B	739	Petrol-Gölsel Tip I	Petrol Tip I
ARS-9C	757	Petrol-Gölsel Tip I	Petrol Tip I
ARS-6	640	Petrol-Denizel Tip II	Petrol Tip I
ARS-5	166	Gaz-Karasal Tip III	Gaz Tip III
ARS-4	744	Petrol-Gölsel Tip I	Petrol Tip I
ARS-3	459	Petrol-Denizel Tip II	Petrol Tip II
ARS-2	663	Petrol-Denizel Tip II	Petrol Tip I
ARS-1	522	Petrol-Denizel Tip II	Petrol Tip II



Şekil 5.7 Arslanlı sahasına ait bitümlü şeyl örneklerinin HI sınır değerleriyle ilişkilendirilmiş S<sub>2</sub>-TOC grafiği (Langford ve Blanc-Valleron 1990)



Şekil 5.8 Arslanlı sahasına ait bitümlü şeyl örneklerinin kalınlık (cm)-HI arasındaki ilişkiyi gösteren diyagram (Jones 1984)



Şekil 5.9 Arslanlı sahasına ait bitümlü şeyl örneklerinin HI-OI arasındaki ilişkiyi gösteren diyagram (Van Kravelen 1993)

Peters ve Cassa (1994) yapmış oldukları çalışmada  $S_2/S_3$  oranını kullanarak hidrokarbon tipi tayin edilebileceğini belirtmişlerdir. (Çizelge 5.7 ve Çizelge 5.8). Arslanlı sahasına ait bitümlü şeyl örneklerinden elde edilen  $S_2/S_3$  değerine karşılık gelen kerojen tipleri aşağıdaki gibidir (Çizelge 5.9). Çalışılan örneklerin Genel olarak Tip I ve Tip II kerojen tipinde oldukları ve petrol üretme potansiyeline sahip oldukları görülmektedir. Bu verilerin yukarıda bahsi geçen diyagramlarla paralellik göstermesi birbirlerini doğrular nitelikte olduğu görülmektedir.

Çizelge 5.7  $S_2/S_3$  parametresine göre organik madde tipi Peters ve Cassa (1994)

Peters ve Cassa (1994)	
$S_2/S_3^a$	Kerojen Tipi
> 15	I
10 – 15	II
5 – 10	II/III
1 – 5	III
< 1	IV

<sup>a</sup> Isısal olarak olgunlaşmamış kaynak kayalardaki tahmini değerler

Çizelge 5.8 S<sub>2</sub>/S<sub>3</sub> parametresine göre organik madde tipi Peters (1986)

Peters (1986)	
S <sub>2</sub> /S <sub>3</sub> <sup>a</sup>	Hidrokarbon Tipi
0-3	Gaz
3-5	Petrol ve Gaz
>5	Petrol

<sup>a</sup> Ro=%0,6' da tahmin edilen değerlerdir

Çizelge 5.9 Arslanlı sahası bitümlü şeylerine ait örneklerin S<sub>2</sub>/S<sub>3</sub> sonuçları ve değerlendirmeleri

Örnek No	S <sub>2</sub> /S <sub>3</sub>	Peters ve Cassa (1984)	Peters (1986)
ARS-15	11,14	Tip II	Petrol
ARS-14	7,65	Tip II/III	Petrol
ARS-13	5,11	Tip II/III	Petrol
ARS-11B	17,84	Tip I	Petrol
ARS-9C	21,43	Tip I	Petrol
ARS-6	20,23	Tip I	Petrol
ARS-5	4,49	Tip III	Petrol ve Gaz
ARS-4	16,89	Tip I	Petrol
ARS-3	10,7	Tip II	Petrol
ARS-2	20,21	Tip I	Petrol
ARS-1	15,02	Tip I	Petrol

### 5.6.3. Organik petrografik incelemeler

Organik petrografik analizler kayaç içerisindeki organik maddenin fiziksel ve optik özelliklerinin belirlenmesi amacıyla uygulanan bir yöntemdir. Bu analizler neticesinde olgunluk, organik madde tipi, yüzde bolluğu gibi parametrelerin belirlenmesine yönelik yorumlar yapılabilir. Bu yöntem, organik maddenin gömülme sürecindeki gelişimi ısı/derinlik artışına bağlı olarak ortaya çıkan renk değişim evrelerinin incelenmesi suretiyle yapılır. SCI (spor color index), analizlerinde kerojen tipi ve bağlı bollukları (% oran) görsel olarak tayin edilir. Organik madde alg/amorf, otsu, odunsu ve kömürsü olmak üzere dört farklı şekilde sınıflanır ve bağlı bollukları tayin edilir.

Gömülme derinliği arttıkça başlarda açık sarı turuncu renklere gözlenen organik maddenin rengi koyulaşıp opaklaşır. Amorf veya amorf maddece zengin organik madde

genellikle koloidal, sapropelik veya denizel olarak adlandırılır. Yosundan türeyen anlamında kullanılmakta olan sapropelik terimi organik materyalden oluşmuş ve oksijensiz ortamda fosilleşmiş bir jel olarak tanımlanabilir. Amorf materyal algal, denizel ve sapropelik terimleri ile birlikte kullanılmalıdır. Bunun nedeni, yüksek orandaki algal birikimin ne denizel orijine ne de yalnızca amorf karaktere dayalı algal orijine bağlanarak yorumlanabilmesi mümkün değildir (Durand 1980).

Arslanlı sahasından alınan bitümlü şeyl örneklerinden 6 tanesi seçilerek organik petrografik analizleri yapılmıştır (Çizelge 5.10). Organik petrografi yöntemi ile kerojen tipi tanımlamasına göre Arslanlı sahası bitümlü şeyl örneklerinden 2 tanesi “% 100 algal/amorf” Tip I kerojen, 2 adet örnek “% 60 Algal/Amorf-%20 otsu ve %20 odunsu” Tip II kerojen, 1 örneğin “%40 Algal/Amorf-% 5 otsu-% 50 odunsu ve %5 kömürsü” Tip II/III kerojen ve 1 adet örnek ise “%70 odunsu-%30 kömürsü” Tip III kerojen olduğu görülmüştür. Ayrıca incelenen örneklerde Spor Color Index (SCI) değerleri de hesaplanmıştır buna göre Arslanlı sahasına ait bitümlü şeyl örneklerinin SCI değerlerinin 3.0 ile 5.0 arasında değişen değerlerde olduğu tespit edilmiştir.

Çizelge 5.10 Organik madde tipleri ve spor renk indeksi değerleri

Örnek No	%Algal/Amorf	%Otsu	%Odunsu	%Kömürsü	SCI
ARS-11B	100	-	-	-	3.0-5.0
ARS-9C	100	-	-	-	3.0-5.0
ARS-5	-	-	70	30	3.0-4.0
ARS-3	40	5	50	5	4.0-4.5
ARS-2	60	20	20	-	3.5-5.0
ARS-1	60	20	20	-	3.0-4.0

#### 5.6.4. Organik maddenin olgunluk incelemeleri

Depolanma ortamında, sedimanlarla beraber çökelen organik madde sıcaklık, basınç ve zaman parametreleri altında çeşitli başkalaşım evrelerine (diyajenez, katajenez, metajenez) maruz kalırlar. Bu başkalaşım evreleri organik maddenin yapısında fiziksel ve kimyasal değişiklikler meydana getirir. Organik maddenin bünyesinde yer alan uzun moleküllerin sıcaklık etkisiyle parçalanmaya başlayıp petrol ve gaz moleküllerine dönüşmesi olayına ‘organik olgunlaşma’ denir.

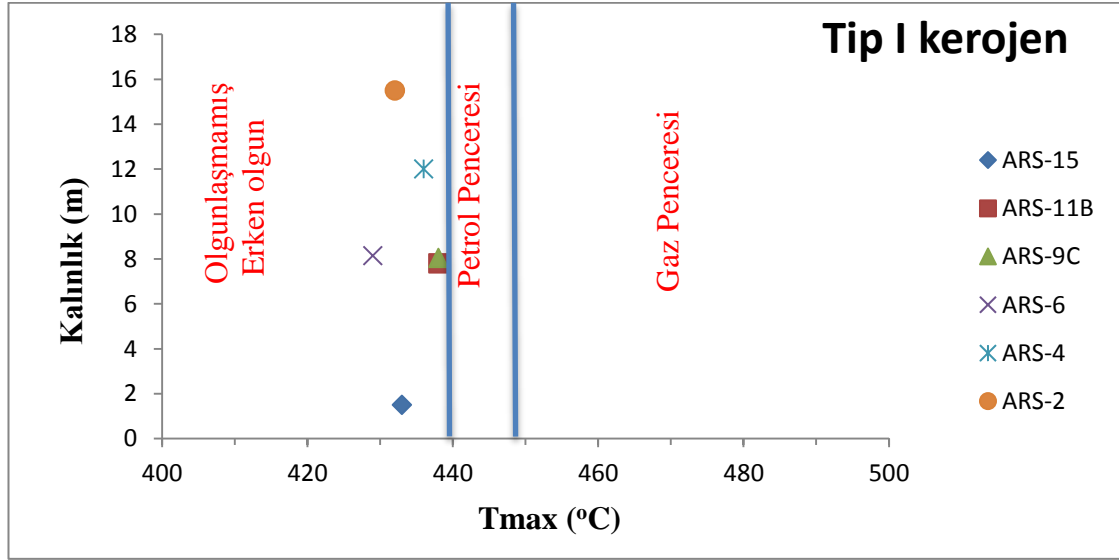
Organik maddenin ısısal olgunluğu Piroliz analizlerinden elde edilen ( $T_{max}$ , PI) ve organik petrografik yöntemler (SCI ve vitrinit yansıması) ile belirlenebilmektedir. PI ve  $T_{max}$  ( $^{\circ}C$ ) değerlerinin  $PI < 0,1$ ,  $T_{max} < 435$   $^{\circ}C$  olması olgun olmayan organik maddeyi işaret ederken,  $PI > 0,4$ ,  $T_{max} > 465$   $^{\circ}C$  değerleri aşırı olgun organik maddeyi işaret eder (kuru gaz zonu) (Espitalie vd. 1977, Peters 1986).

$T_{max}$  ( $^{\circ}C$ ), piroliz analizlerinden elde edilen  $S_2$  pikinin en yüksek seviyede olduğu andaki sıcaklığın ifadesidir (Éspitalié vd. 1977) ve kaynak kayanın olgunluk derecesinin belirlenmesinde kullanılmaktadır. Ağır serbest hidrokarbonların bulunduğu  $S_2$  pikinde  $T_{max}$  ( $^{\circ}C$ ) değerleri anormal şekilde düşük ( $< 400$   $^{\circ}C$ ) iken, yeniden işlenmiş (reworked) organik madde olması halinde ise anormal yüksek değerler ( $> 550$   $^{\circ}C$ ) görülebilmektedir.  $S_2$  pikinin 0.5'den düşük olduğu ve aynı şekilde  $S_2$  pikinin tanımlanmasının zor olduğu durumlarda  $T_{max}$  ( $^{\circ}C$ ) değeri genellikle güvenilir değildir. Bunun yanında,  $S_2$  piki değerinin 2.0 gibi yüksek olduğu organik maddece zayıf killi sedimanların  $T_{max}$  ( $^{\circ}C$ ) değerleri de güvenilir olmayabilir (Espitalie vd. 1985). Organik madde tipine göre hidrokarbonun olduğu  $T_{max}$  ( $^{\circ}C$ ) sıcaklık değerleri değişiklik göstermektedir (Éspitalié vd. 1985). Tip I kerojen dar aktivasyon enerjisi dağılımına sahip olup, kuvvetli C-C bağları ile birbirine bağlanan uzun alifatik zincirlerden oluşması sebebiyle en yüksek aktivasyon enerjisine ve dar  $T_{max}$  ( $^{\circ}C$ ) petrol penceresine sahiptir. Tip II-S kerojen yüksek kükürt içeriğine sahip olmasından dolayı bünyesinde zayıf bağlarla birbirine bağlanan C-N, C-S, C-O bağları mevcuttur ve petrol oluşturmak için Tip I kerojene nazaran daha düşük aktivasyon enerjisine ihtiyaç duyar. Başka bir deyişle yukarıda bahsi geçen bağlar C-C bağlarına göre daha çabuk kopmaya başlayıp erken petrol türümü gerçekleştirir. Yüksek oksijen ve kükürt içeriğine sahip kerojenlerin  $T_{max}$  ( $^{\circ}C$ ) değerleri 390-410  $^{\circ}C$  arasında değişmekte olup yaklaşık olarak 425  $^{\circ}C$  sıcaklıkta petrole dönüşüm işleminin %50'si tamamlanmış olur (Jarvie ve Lundell, 2001). Tip III kerojen için ise  $T_{max}$  ( $^{\circ}C$ ) değerleri oldukça geniş bir aktivasyon enerjisi aralığına sahip olup, erken olgun evrede 435  $^{\circ}C$ 'den başlayıp petrol penceresinin sonunda 465-470  $^{\circ}C$ 'ye kadar yükselir (Çizelge 5.11).

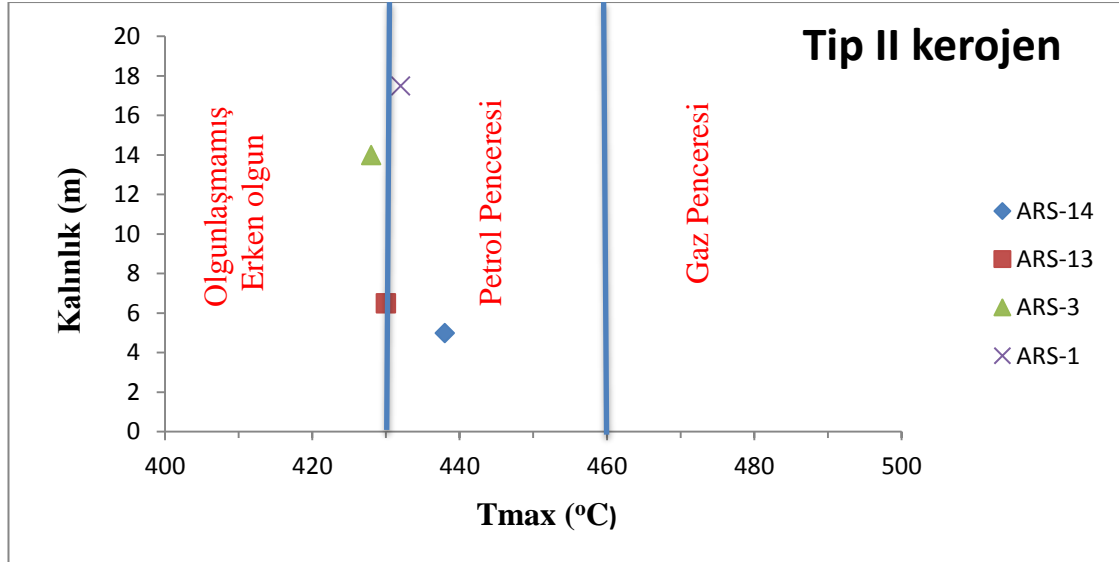
Çizelge 5.11 Çeşitli araştırmacılara göre olgunlaşma dereceleri (Éspitalié vd. 1984, Éspitalié vd. 1985, Peters ve Cassa 1994)

Éspitalié vd. (1984)		Peters ve Cassa (1994)		T <sub>max</sub> (°C), Éspitalié vd. (1985)				
T <sub>max</sub> (°C)	Olgunluk Derecesi	T <sub>max</sub> (°C)	Olgunluk Derecesi	Tip I	Tip II	Tip II-S	Tip III	Olgunluk Derecesi
< 430 - 435	Olgunlaşmamış	< 435	Olgunlaşmamış	< 440°C	<430°C	< 425 °C	< 435 °C	Olgunlaşmamış- Erken Olgun
435 - 460	Petrol Penceresi	435 - 445	Erken Olgun	440 – 448 °C	430-460 °C	425–450 °C	435–465 °C	Petrol Penceresi
> 455 - 460	Gaz Penceresi	445 - 450	Orta Olgun-Geç Olgun	> 448 °C	> 460 °C	> 450 °C	> 465 °C	Gaz Penceresi
		> 450	Aşırı Olgun					

Éspitalié vd. (1985) çalışması bitümlü şeylleri kerojen tiplerini göz önünde bulundurarak farklı sıcaklıklarda olgunlaşma derecelerini yorumlamıştır. Arslanlı sahasına ait bitümlü şeyl örnekleri Éspitalié vd. (1985)'e göre olgunlaşma derecesi grafikleri oluşturulmuştur (Şekil 5.10, 5.11, 5.12).

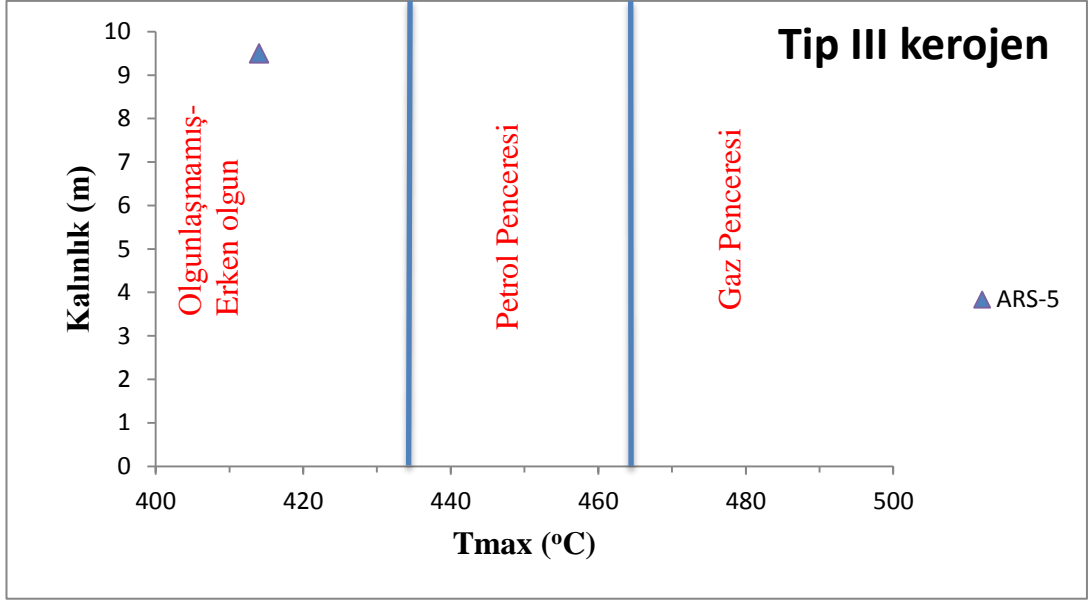


Şekil 5.10 Tip I kerojene sahip örneklerin kalınlık (m) ile ilişkilendirilmiş Tmax (°C) değerlerine göre olgunlukları (Éspitalié vd. 1985)



Şekil 5.11 Tip II kerojene sahip örneklerin kalınlık (m) ile ilişkilendirilmiş Tmax (°C) değerlerine göre olgunlukları (Éspitalié vd. 1985)





Şekil 5.12 Tip III kerojene sahip örneklerin kalınlık (m) ile ilişkilendirilmiş Tmax (°C) değerlerine göre olgunlukları (Éspitalié vd. 1985)

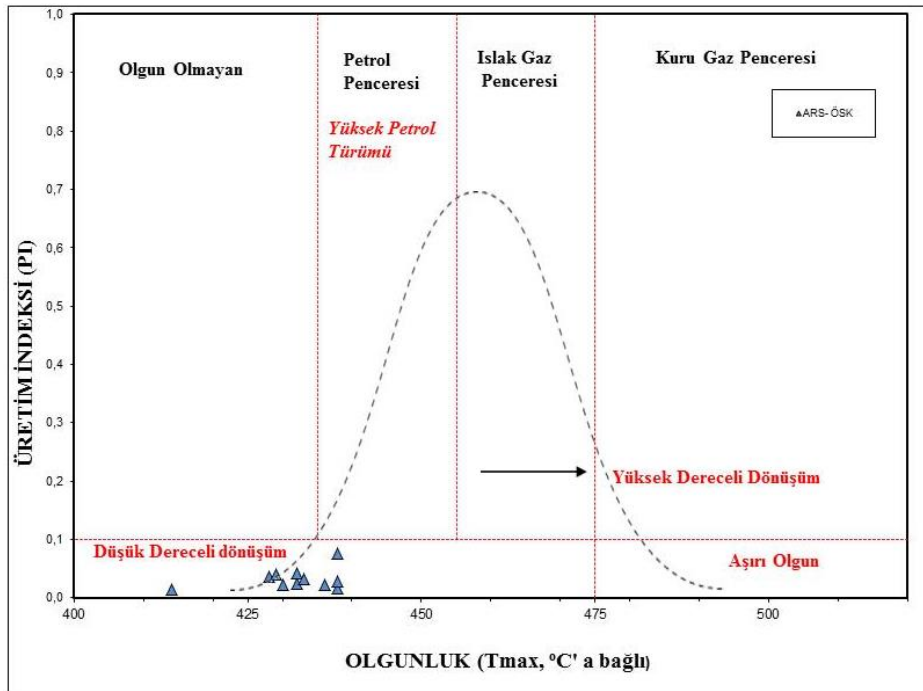
Organik maddenin bağlı ısıl olgunluğu ve göç etmiş hidrokarbonların varlığını belirlemek için kullanılmakta olan Üretim İndeks (PI);  $(S_1/S_1+S_2)$ , kayanın olgunluğu yani derinlere gömülmesi ile artar. Genç yani yüzeye yakın kaynak kayaların üretim indeks değerleri küçükken yaşlı kayaçların üretim indeks değerleri ise daha yüksektir. Fakat bazı durumlarda genç, olgun olmayan, bünyesinde bol kil ihtiva eden kaynak kayaların üretim indeks değerleri yüksek çıkabilmektedir bunun nedeni organik maddelerin ilk dönüşüm ürünü olan  $S_1$  hidrokarbonlarının illit ve montmorillonit türü killer tarafından absorblanmasıdır.

Üretim İndeks, organik maddenin geçirmiş olduğu jeolojik evrime ve sıcaklığa bağlı olarak değişmektedir (Peters ve Cassa 1994). Isıl olgunluğa henüz erişmemiş Tip I ve Tip II kerojen tipine sahip organik materyal genel olarak 0,1'den küçük Üretim İndeks değerlerine sahiptirler. Bu oranlar katajenez boyunca kademeli olarak 0,4'e kadar yükselir ve ana hidrokarbon üretim evresi aşıldığı zaman 0,4 değerinin de aşar (Çizelge 5.12). Tip III kerojenler de ise katajenez evresindeki üretim indeks değerleri genellikle 0,1-0,2 arasında değişmektedir (Pitman vd. 1987). Üretim İndeksi, sediman içerisindeki petrol üretiminin ne kadar ilerlediğini, başka bir deyişle ise katajenez evresinin ne boyutta gerçekleştiğinin anlaşılması için kullanılmaktadır (Ghori 2002).

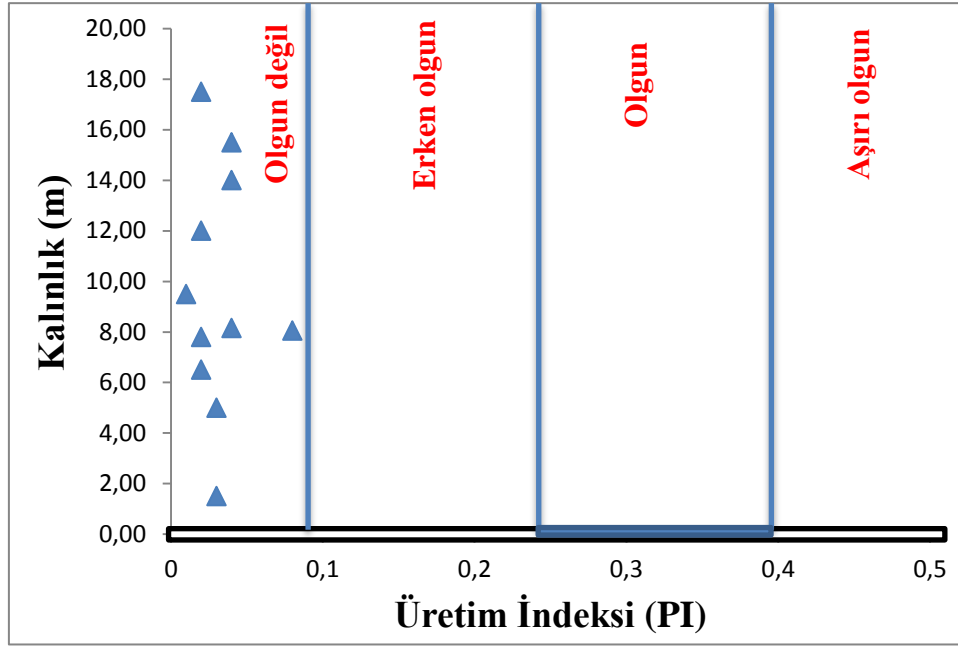
Çizelge 5.12 Üretim İndeksi (PI) sınır değerlerine göre olgunlaşma (Peters ve Cassa 1994)

Peters ve Cassa (1994)	
PI ( $S_1/S_1+S_2$ )	Olgunluk Derecesi
< 0,10	Olgun değil
0,10 – 0,25	Erken olgun
0,25 – 0,40	Olgun
>0,40	Aşırı olgun

Tmax ve PI değerlerine bağlı olgunlaşma diyagramında örneklerin hepsinin Üretim İndeks sınır değerinin altında kaldığı görülmektedir. Ayrıca örneklerin olgun olmayan ve petrol penceresi aralığında yer aldığı ve düşük dereceli dönüşümün başlamadığı ya da henüz başladığı anlaşılmaktadır (Şekil 5.13). Peters ve Cassa (1994) çalışmasındaki üretim indeks değerleri baz alınarak Üretim indeks-Kalınlık (m) diyagramı oluşturulduğunda ise örneklerin hepsinin “olgun değil” penceresinde yer aldığı tespit edilmiştir (Şekil 5.14).



Şekil 5.13 Olgunluk (Tmax, °C'a bağlı) – Üretim İndeksi (PI) arasındaki ilişkiyi gösteren diyagram (Peters 1986)



Şekil 5.14 Arslanlı sahasına ait bitümlü şeyl örneklerinin kalınlıkla (m) ilişkilendirilmiş üretim indeksi diyagramı (Peters ve Cassa 1994)

Ediger ve Soylu (1993) yapmış oldukları çalışmada organik petrografik analizlerden elde edilen Spor Color Index (SCI) değerlerinin olgunlaşma seviyesinin belirlenmesi için kullanılabileceğini ileri sürmüşlerdir (Çizelge 5.13).

Çizelge 5.13 Ediger ve Soylu'ya (1993) göre spor renk indeksi olgunlaşma parametreleri

Ediger ve Soylu (1993)		
SCI	Renk	Olgunlaşma Seviyesi
2 – 3	Sarı	Olgunlaşmamış
4	Koyu Sarı	Olgunlaşmamış
5	Sarı – Turuncu	Olgunlaşma Başlangıcı
6	Turuncu	Olgun
6,5	Turuncu – Kırmızı	Orta Olgun
7	Açık Kahve	İleri Olgun
7,5 – 8	Koyu Kahve	Aşırı Olgun
9 – 10	Koyu Kahve – Siyah	Aşırı Olgun

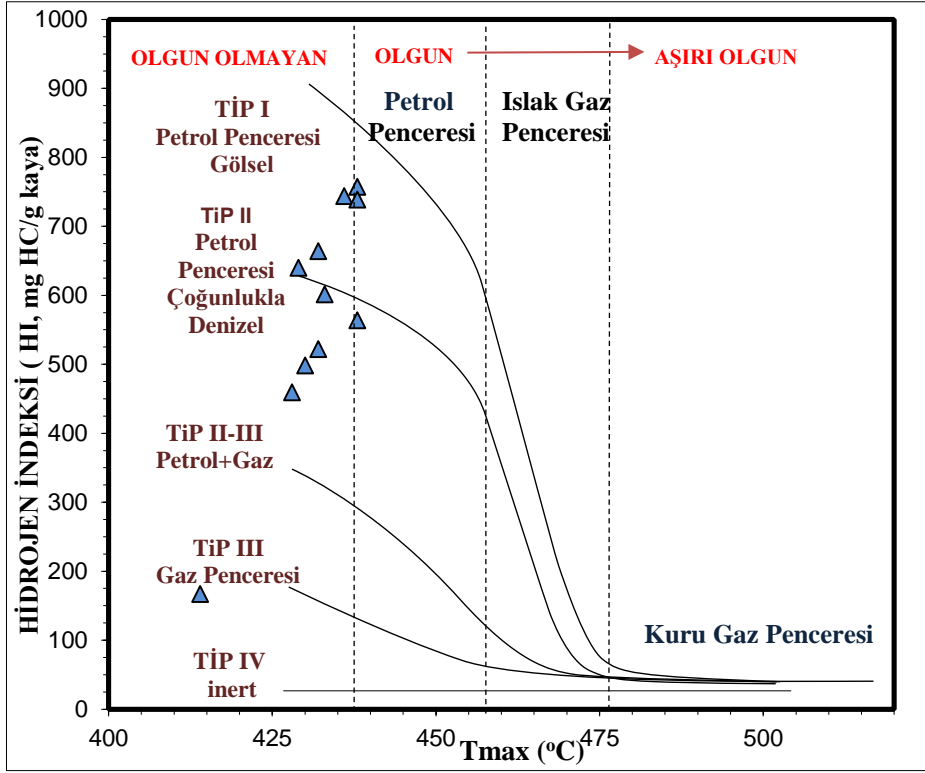
İncelenen Arslanlı sahasına ait bitümlü şeyl örneklerinin  $T_{max}$  (°C) değerleri 414-438 (°C) arasında (ortalama 432 °C) değişmektedir. İncelenen örneklerin  $T_{max}$  (°C) olgunlaşmaları;

Éspitalié vd.'nin (1984)  $T_{max}$  (°C) standartlarına göre olgunlaşma dereceleri baz alındığında örneklerin 4 tanesinin “Petrol penceresi” aralığında geriye kalan 7 tanesinin ise “Olgunlaşmamış” aralığında yer aldığı görülmüştür. Peters and Cassa (1994)  $T_{max}$  standartına göre olgunlaşma dereceleri yorumlandığında ise örneklerin “Olgunlaşmamış” ve “Erken olgun” safharında yer aldıkları tespit edilmiştir. Éspitalié vd. (1985)  $T_{max}$  (°C) standartı baz alınarak olgunlaşma dereceleri yorumlandığında ise Tip I kerojen tipine sahip örneklerin “Olgunlaşmamış-Erken olgun” aralığında yer aldığı, Tip II kerojen tipine sahip örneklerin 3 tanesinin “Petrol penceresi” aralığına, 1 tanesinin ise “Olgunlaşmamış-Erken olgun” aralığında yer aldığı görülmüştür. Tip III kerojen tipine sahip olan örneğin ise “Olgunlaşmamış-Erken olgun” aralığında yer aldığı tespit edilmiştir. Peters ve Cassa (1994) PI değerleri baz alınarak olgunlaşma derecelerine göre incelendiğinde ise örneklerin “Olgun değil” penceresinde yer aldıkları görülmüştür. SCI değerlerine göre ise Ediger ve Soylu (1993) spor renk indeksi olgunlaşma parametreleri göz önüne alındığında örneklerin “Olgunlaşmamış” ve “Olgunlaşma başlangıcı” safhalarında oldukları görülmüştür (Çizelge 5.14).

Çizelge 5.14 Arslanlı sahasına ait bitümlü şeyl örneklerine ait olgunlaşma derecesi sonuçları

Örnek No	Tmax (°C)	PI	SCI	Tmax (Éspitalié vd. 1985'e göre)	Tmax (Peters ve Cassa 1994'e göre)	PI (Peters ve Cassa 1994'e göre)	Ediger ve Soylu (1993)
ARS-15	433	0,03	-	Olgunlaşmamış-Erken olgun	Olgunlaşmamış	Olgun değil	-
ARS-14	438	0,03	-	Petrol Penceresi	Erken Olgun	Olgun değil	-
ARS-13	430	0,02	-	Petrol Penceresi	Olgunlaşmamış	Olgun değil	-
ARS-11B	438	0,02	3.0-5.0	Olgunlaşmamış-Erken olgun	Erken Olgun	Olgun değil	Olgunlaşma başlangıcı
ARS-9C	438	0,08	3.0-5.0	Olgunlaşmamış-Erken olgun	Erken Olgun	Olgun değil	Olgunlaşma başlangıcı
ARS-6	429	0,04	-	Olgunlaşmamış-Erken olgun	Olgunlaşmamış	Olgun değil	-
ARS-5	414	0,01	3.0-4.0	Olgunlaşmamış-Erken olgun	Olgunlaşmamış	Olgun değil	Olgunlaşmamış
ARS-4	436	0,02	-	Olgunlaşmamış-Erken olgun	Erken Olgun	Olgun değil	-
ARS-3	428	0,04	4.0-4.5	Olgunlaşmamış-Erken olgun	Olgunlaşmamış	Olgun değil	Olgunlaşmamış
ARS-2	432	0,04	3.5-5.0	Olgunlaşmamış-Erken olgun	Olgunlaşmamış	Olgun değil	Olgunlaşma başlangıcı
ARS-1	432	0,02	3.0-4.0	Olgunlaşmamış-Erken olgun	Olgunlaşmamış	Olgun değil	Olgunlaşmamış

Hidrojen İndeksi (HI) değerlerine karşılık gelen Tmax °C diyagramı oluşturulduğunda, örneklerin göl ortamını yansıtan Tip I ve denizel ortam göstergesi Tip II kerojen tipine sahip oldukları, olgunlaşma derecelerine göre ise ‘‘Olgun olmayan’’ ve ‘‘Olgun’’ petrol penceresi aralıklarına düştüğü görülmektedir (Şekil 5.15).



Şekil 5.15 Tmax (°C) – HI arasındaki ilişkiyi gösteren grafik (Hunt 1995)

S<sub>2</sub>/S<sub>3</sub> parametresi de organik maddenin olgunluğu hakkında bilgi sağlamak amacıyla kullanılan parametrelerden bir tanesidir (Peters 1982 ve Clementz vd. 1979, Çizelge 5.15).

Çizelge 5.15 S<sub>2</sub>/S<sub>3</sub> parametresine göre organik maddenin olgunlaşma derecesi ve hidrokarbon potansiyeli (Peters 1986 ve Clementz vd. 1979)

S <sub>2</sub> /S <sub>3</sub>	Katajenez Safhasının Olgunlaşma Evreleri ve Hidrokarbon Potansiyeli
<4,0	Katajenezin aşırı olgun evresi, kuru gaz
4,0 - 8,0	Katajenezin olgun evresi, ıslak gaz ve kondanseyt
>8,0	Katajenezin olgun olmayan ve erken olgun evresi, petrol

Arslanlı sahasına ait bitümlü şeyl örneklerinin  $S_2/S_3$  değerleri 4.49 ile 21.43 arasında değişmekte olup (ortalama 10.7) Peters (1986) ve Clementz vd. (1979) standartına göre değerlendirildiğinde örneklerin büyük bir kısmının “katajenezin olgun olmayan ve erken olgun evresi, petrol” aralığına, küçük bir kısmının ise “katajenezin olgun evresi, ıslak gaz ve kondanseyt” aralığına düştüğü görülmektedir (Çizelge 5.16).

Çizelge 5.16 Arslanlı sahasına ait bitümlü şeyl örneklerinin  $S_2/S_3$  değerleri ve HC potansiyelleri

Örnek No	$S_2/S_3$	Katajenez Safhasının Olgunlaşma Evreleri ve Hidrokarbon Potansiyeli
ARS-15	11,14	Katajenezin olgun olmayan ve erken olgun evresi, petrol
ARS-14	7,65	Katajenezin olgun evresi, ıslak gaz ve kondanseyt
ARS-13	5,11	Katajenezin olgun evresi, ıslak gaz ve kondanseyt
ARS-11B	17,84	Katajenezin olgun olmayan ve erken olgun evresi, petrol
ARS-9C	21,43	Katajenezin olgun olmayan ve erken olgun evresi, petrol
ARS-6	20,23	Katajenezin olgun olmayan ve erken olgun evresi, petrol
ARS-5	4,49	Katajenezin olgun evresi, ıslak gaz ve kondanseyt
ARS-4	16,89	Katajenezin olgun olmayan ve erken olgun evresi, petrol
ARS-3	10,7	Katajenezin olgun olmayan ve erken olgun evresi, petrol
ARS-2	20,21	Katajenezin olgun olmayan ve erken olgun evresi, petrol
ARS-1	15,02	Katajenezin olgun olmayan ve erken olgun evresi, petrol

### 5.6.5. Hidrokarbon üretme potansiyelinin incelenmesi

Potansiyel kaynak kaya; petrol türetebilecek kadar organik madde içeren, uygun kerojen tipine sahip ancak yeterli ısısal olgunluğa erişemediği için düşük sıcaklıklarda bakteriyel gaz üreten ya da yeterli ısısal olgunluğa ulaştığı zaman petrol türetecek olan kaynak kayadır. Aktif kaynak kaya; petrol üretim sürecinde en önemli eşik olan petrol penceresi eşiğini geçmiş ve aktif olarak petrol türeten kaynak kayadır. İnaktif kaynak kaya; petrol üretme potansiyeline sahip olduğu halde petrol üretimi çeşitli nedenlerle durmuş olan kaynak kayadır. Harcanmış petrol kaynak kayası ise; petrol penceresi eşiğini çok hızlı bir şekilde geçen ve aşırı olgun evreye ulaşarak bünyesindeki petrolü çok hızlı bir şekilde türeten ve türetilen bu petrolün göç edecek bir zaman bulamadan ıslak ve kuru gaza dönüşen petrol kaynak kayasıdır.

Peters ve Cassa (1994)'e göre Rock-Eval Piroliz analizinden elde edilen  $S_1$  (mg HC/g kaya) ve  $S_2$  (mg HC/g kaya) parametreleri kaynak kayanın petrol potansiyelinin belirlenmesi için önemli bilgiler sunmaktadır.

TOC değerleri ve  $S_1$  ve  $S_2$  hidrokarbon miktarlarına göre petrol üretme potansiyelleri Çizelge 5.17'de verildiği şekilde değerlendirilmektedir.

Çizelge 5.17 Kaynak kayaların petrol potansiyelini belirlemede kullanılan TOC (wt, %) miktarları ve  $S_1$ ,  $S_2$  (mg HC/g kaya) hidrokarbon değerleri (Peters ve Cassa 1994)

Organik Madde			PETROL POTANSİYELİ
ROCK-EVAL PİROLİZ		TOC, wt %	
$S_1$ , mg HC/g kaya	$S_2$ , mg HC/g kaya		
0 – 0,5	0 – 2,5	0 – 0,5	Zayıf
0,5 – 1,0	2,5 – 5,0	0,5 – 1,0	Orta
1,0 – 2,0	5,0 – 10,0	1,0 – 2,0	İyi
2,0 – 4,0	10,0 – 20,0	2,0 – 4,0	Çok iyi
> 4,0	> 20,0	> 4,0	Mükemmel

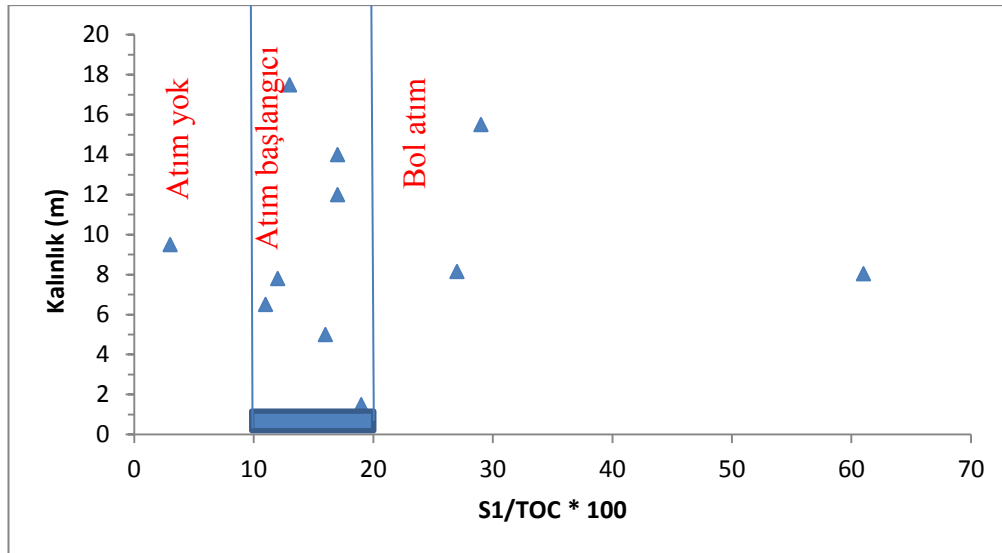
Arslanlı sahasına ait bitümlü şeyl örneklerinin  $S_1$  değerleri 0.29 ile 10.54 mg HC/g kaya arasında değişmekte olup (ortalama 4.08 mg HC/g kaya) Peters ve Cassa (1994)'e göre incelenen örneklerin “Zayıf”tan Mükemmel’e kadar değişen bir aralıkta oldukları görülmektedir (Çizelge 5.18).



Çizelge 5.18 Arslanlı sahasına ait bitümlü şeyl örneklerinin  $S_1$  (mg HC/g kaya) değerlerine göre petrol potansiyelleri (Peters ve Cassa 1994)

Örnek No	$S_1$ , mg HC/g kaya	Petrol Potansiyeli (Peters ve Cassa, 1994)
ARS-15	4,85	Mükemmel
ARS-14	3,13	Çok iyi
ARS-13	4,58	Mükemmel
ARS-11B	4,86	Mükemmel
ARS-9C	10,54	Mükemmel
ARS-6	0,95	Orta
ARS-5	0,29	Zayıf
ARS-4	4,12	Mükemmel
ARS-3	4,55	Mükemmel
ARS-2	4,33	Mükemmel
ARS-1	2,73	Çok iyi

Arslanlı sahasına ait örneklerin kalınlık (m) değerlerine karşılık gelen  $S_1/TOC$  değerleri kullanılarak oluşturulan bitümen indeks diyagramında (Hunt 1996) örneklerin 1 tanesinde henüz “Atım yok” aralığında, 7 adet örneğin “Atım başlangıcı” aralığında yer aldığı geriye kalan 3 adet örneğin ise “Bol atım” aralığına düştüğü görülmektedir (Şekil 5.16).

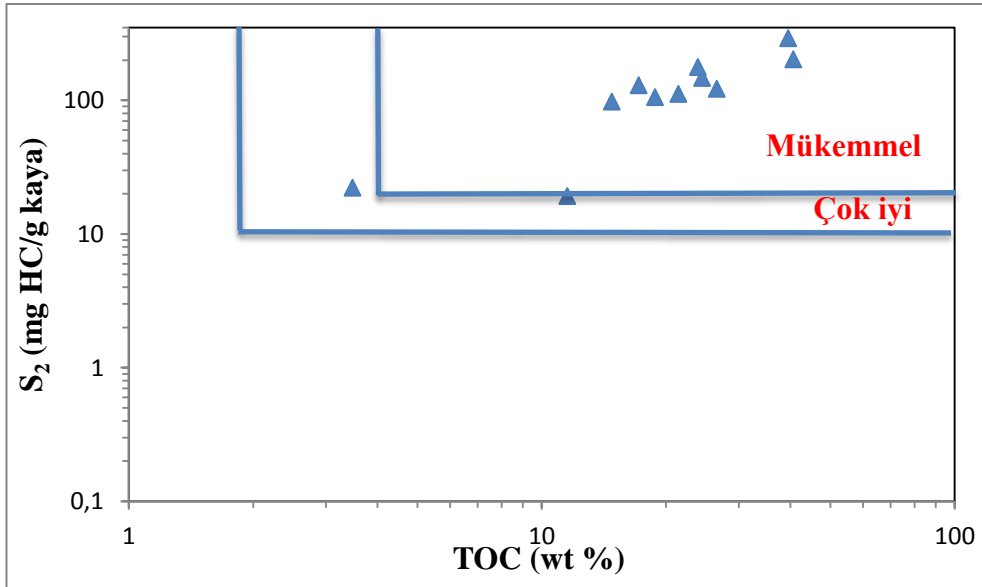


Şekil 5.16 Arslanlı sahasına ait bitümlü şeyl örneklerinin kalınlıkla ilişkilendirilmiş  $S_1/TOC*100$  (bitümen indeks) diyagramı (Hunt'dan 1996 değiştirilerek türkçeleştirilmiştir)

İncelenen örneklerin S<sub>2</sub> hidrokarbon değerleri ise 19.23 ile 292.1 mg HC/g kaya arasında değişmekte olup ( ortalama 129.94 mg HC/g kaya) Peters ve Cassa (1994)'e göre göre “Çok iyi-Mükemmel” kaynak kaya potansiyeline sahip olduğu görülmüştür (Çizelge 5.19). Bölgeye ait örnekler Ghori (2000) çalışmasına göre değerlendirildiğinde ise iki adet örneğin “Çok iyi” diğer dokuz adet örneğin ise “Mükemmel” kaynak kaya potansiyeline sahip oldukları tespit edilmiştir (Şekil 5.17).

Çizelge 5.19 Arslanlı sahasına ait bitümlü şeyl örneklerinin S<sub>2</sub> (mg HC/g kaya) değerlerine göre petrol potansiyelleri (Peters ve Cassa 1994)

Örnek No	S <sub>2</sub> , mg HC/g kaya	Petrol Potansiyeli (Peters ve Cassa 1994)
ARS-15	147,05	Mükemmel
ARS-14	106,12	Mükemmel
ARS-13	202,82	Mükemmel
ARS-11B	292,1	Mükemmel
ARS-9C	129,9	Mükemmel
ARS-6	22,26	Mükemmel
ARS-5	19,23	Çok iyi
ARS-4	177,74	Mükemmel
ARS-3	122,05	Mükemmel
ARS-2	98,05	Mükemmel
ARS-1	112,06	Mükemmel



Şekil 5.17 İncelenen örneklerin S<sub>2</sub> ve TOC (wt %) değerlerine dayanan kaynak kaya potansiyelleri (Ghori (2000)'den değiştirilerek)

Hidrokarbon Tip İndeksi ( $S_2/S_3$  oranı), hidrokarbon tipini (petrol/gaz) belirlemede kullanılan bir parametredir (Clementz vd. 1979, Peters 1986) (Çizelge 5.20).

Çizelge 5.20  $S_2/S_3$  parametresine göre organik maddenin üretebileceği hidrokarbon tipi (Clementz vd. 1979, Peters 1986)

Clementz vd. (1979)		Peters (1986)	
$S_2/S_3$	HC Tipi	$S_2/S_3^a$	HC Tipi
0 - 2,5	Gaz	0 - 3	Gaz
2,5 – 5,0	Petrol ve Gaz	3 – 5	Petrol ve Gaz
> 5,0	Petrol	> 5	Petrol

<sup>a</sup>  $R_0 = \% 0.6$ 'da tahmin edilen değerlerdir

İncelenen örneklerin Hidrokarbon Tip İndeks ( $S_2/S_3$  oranı) değerleri 4.49 ile 21.43 arasında değişmekte (ortalama 10.7) olduğundan örneklerin bir örnek hariç petrol üretme potansiyeline sahip oldukları görülmektedir (Çizelge 5.21).

Çizelge 5.21 Arslanlı sahasına ait bitümlü şeyl örneklerinin  $S_2/S_3$  parametresine göre hidrokarbon tipleri (Clementz vd. 1979, Peters 1986)

Örnek No	$S_2/S_3$	HC Tipi (Clementz vd. 1979)	HC Tipi (Peters 1986)
ARS-15	11,14	Petrol	Petrol
ARS-14	7,65	Petrol	Petrol
ARS-13	5,11	Petrol	Petrol
ARS-11B	17,84	Petrol	Petrol
ARS-9C	21,43	Petrol	Petrol
ARS-6	20,23	Petrol	Petrol
ARS-5	4,49	Gaz ve Petrol	Gaz ve Petrol
ARS-4	16,89	Petrol	Petrol
ARS-3	10,7	Petrol	Petrol
ARS-2	20,21	Petrol	Petrol
ARS-1	15,02	Petrol	Petrol

Potansiyel ürün ( $S_1+S_2$ , ppm), esas olarak kaynak kayanın petrol üretim potansiyelini göstermesi açısından önemlidir. Kerojen yeterli bir zaman aralığı boyunca uygun sıcaklığa maruz kaldığı takdirde üretebileceği hidrokarbon miktarı potansiyel ürün ( $S_1+S_2$ ) olarak tanımlanmıştır. Potansiyel ürün kerojen bolluğu ve tipine göre değişiklik gösterir. Ayrıca depolanma ortamındaki orijinal organik girdiyle, mikrobiyal

degradasyon koşulları ve bu sediman içindeki organik maddenin yeniden düzenlenmesiyle ilişkilidir (Tissot ve Welte 1984). Hidrokarbon kaynak potansiyelinin kalitatif bir değerlendirmesi olan Potansiyel ürün, üretilen hidrokarbon türünü (gaz veya petrol) tahmin etmek için ise kullanılmaz.

Arslanlı sahası bitümlü şeyl örneklerinin Potansiyel ürün değerleri 1952-29696 ppm arasında (ortalama 13400 ppm) değişmekte olup, Tissot ve Welte (1978)'e göre 1 adet örneğin “Kaynak kaya potansiyeli yok”, 1 adet örneğin “Orta derecede kaynak kaya potansiyeli” ve geri kalan tüm örneklerin ise “İyi kaynak kaya potansiyeli”ne sahip oldukları görülmektedir (Çizelge 5.22, Çizelge 5.23).

Arslanlı sahası bitümlü şeyl örneklerinin Potansiyel ürün değerleri 1952-29696 ppm arasında (ortalama 13400 ppm) değişmekte olup, Tissot ve Welte (1978)'e göre 1 adet örneğin “Kaynak kaya potansiyeli yok”, 1 adet örneğin “Orta derecede kaynak kaya potansiyeli” ve geri kalan tüm örneklerin ise “İyi kaynak kaya potansiyeli”ne sahip oldukları görülmektedir (Çizelge 5.22, Çizelge 5.23).

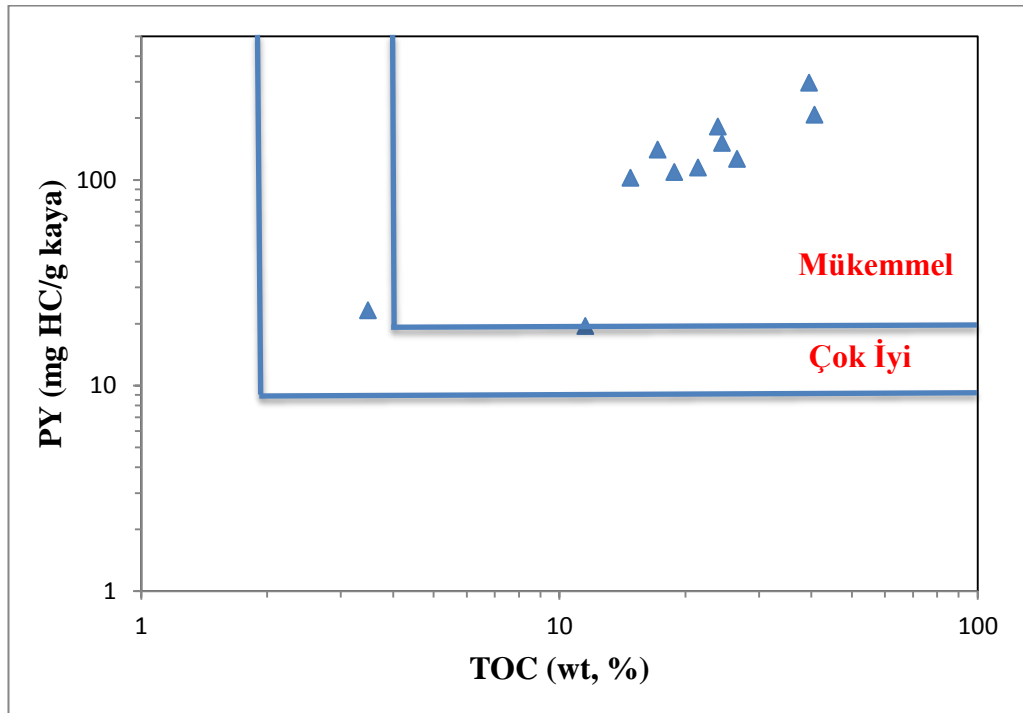
Çizelge 5.22 Potansiyel ürün kaynak kaya potansiyeli arasındaki ilişki (Tissot ve Welte 1978)

Jenetik Potansiyel (ppm)	Kaynak Kaya Potansiyeli
< 2000	Kaynak Kaya Potansiyeli Yok
2000 - 6000	Orta Derecede Kaynak Kaya Potansiyeli
> 6000	İyi Kaynak Kaya Potansiyeli

Çizelge 5.23 İncelenen örneklerin Potansiyel ürün değerleri ve buna bağlı kaynak kaya potansiyelleri

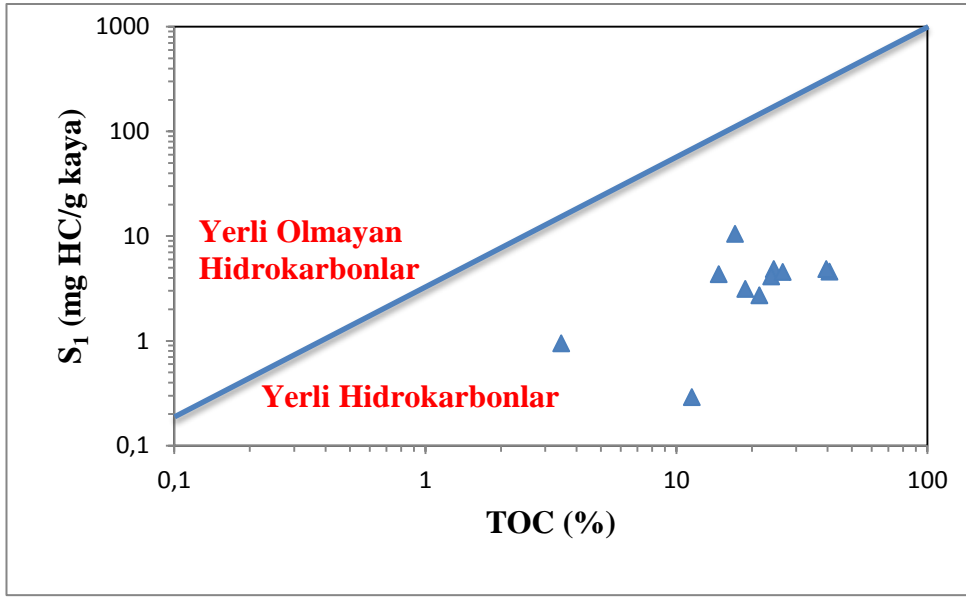
Örnek No	PY (S <sub>1</sub> +S <sub>2</sub> ), ppm	Kaynak kaya potansiyeli (Tissot ve Welte 1978)
ARS-15	15163	İyi kaynak kaya potansiyeli
ARS-14	10925	İyi kaynak kaya potansiyeli
ARS-13	20740	İyi kaynak kaya potansiyeli
ARS-11B	29696	İyi kaynak kaya potansiyeli
ARS-9C	14044	İyi kaynak kaya potansiyeli
ARS-6	2321	Orta derecede kaynak kaya
ARS-5	1952	Kaynak kaya potansiyeli yok
ARS-4	18186	İyi kaynak kaya potansiyeli
ARS-3	12660	İyi kaynak kaya potansiyeli
ARS-2	10238	İyi kaynak kaya potansiyeli
ARS-1	11479	İyi kaynak kaya potansiyeli

Arslanlı sahasına ait bitümlü şeyl örnekleri PY (mg HC/g kaya)–TOC (wt, %) diyagramında değerlendirildiklerinde “Çok iyi–Mükemmel” kaynak kaya potansiyeline sahip oldukları görülmektedir (Şekil 5.18).



Şekil 5.18 İncelenen örneklerin PY-TOC diyagramındaki konumları (Ghori 2002’den değiştirilerek)

Hunt (1995) yapmış olduğu çalışmada  $S_1$  (mg HC/g kaya)–TOC (wt %) verilerine kullanarak oluşturduğu diyagram vasıtasıyla yerli hidrokarbonları ve yerli olmayan hidrokarbonları ayırtlamıştır. Buna göre incelenen örneklerin ürettikleri hidrokarbon yerli olup, herhangi bir antropojenik veya mekanik kirlenmeye maruz kalmadıkları anlaşılmaktadır (Şekil 5.19).



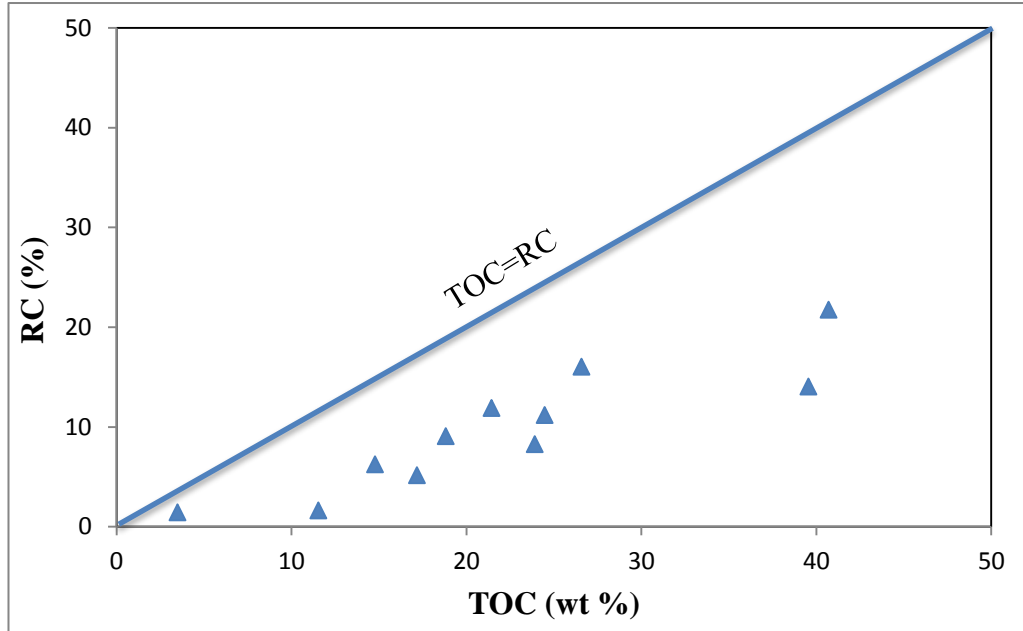
Şekil 5.19 Arslanlı sahasına ait bitümlü şeyl örneklerinin  $S_1$  (mg HC/g kaya)–TOC (wt, %) diyagramındaki konumları (Hunt 1995)

Rezidüel karbon (RC) piroliz işlemi esnasında CO ve CO<sub>2</sub>'den elde edilen organik karbonun (% wt) toplamını gösterir. Ayrıca rezidüel karbon TOC'un piroliz edilemeyen organik kısmı olarak da tanımlanabilir (Johannes vd. 2006).

Arslanlı sahası bitümlü şeyl örneklerinin rezidüel karbon (% RC) değerleri 1.44-21.76 arasında (ortalama 9.71) değişmektedir (Çizelge 5.24). Buna göre oluşturulan diyagram vasıtasıyla incelenen örneklerin kalıntı karbon çizgisi (TOC=RC) üzerinde bulunmadığı bu sebeple hala türüm potansiyeline sahip olduğu görülmektedir (Şekil 5.20)

Çizelge 5.24 Bölgeye ait örneklerin RC, % değerleri

Örnek No	RC, %
ARS-15	11,2
ARS-14	9,08
ARS-13	21,76
ARS-11B	14,06
ARS-9C	5,18
ARS-6	1,44
ARS-5	1,63
ARS-4	8,27
ARS-3	16,06
ARS-2	6,27
ARS-1	11,9

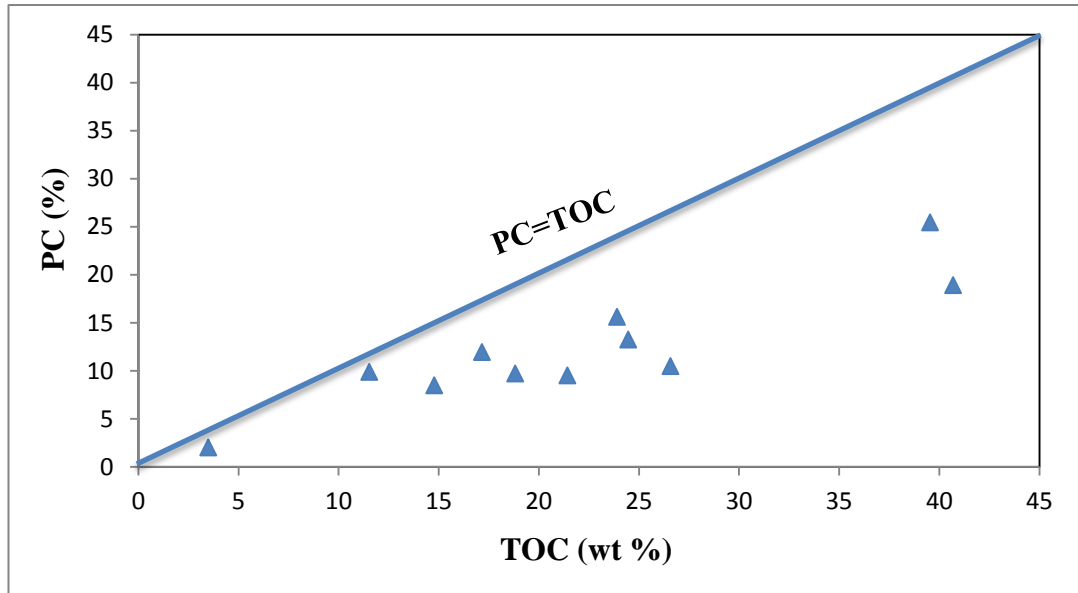


Şekil 5.20 Arslanlı sahasına ait bitümlü şeyl örneklerinin RC (%)–TOC (%) diyagramındaki konumları

Piroliz Edilebilir Karbon (PC) ise TOC'un piroliz edilebilir kısmı olarak tanımlanır. Bölgeye ait örneklerin % PC değerleri 2,04 ile 25,48 arasında (ortalama 12,31) değişmektedir (Çizelge 5.25). Arslanlı sahasına ait bitümlü şeyl örneklerinin piroliz edilebilir karbon çizgisine yakın olduğu (TOC=PC) bu sebeple incelenen örnekleri hala türüm potansiyeline sahip oldukları görülmektedir (Şekil 5.21).

Çizelge 5.25 Arslanlı sahası bitümlü şeyl örneklerinin PC, % değerleri

Örnek No	PC, %
ARS-15	13,26
ARS-14	9,74
ARS-13	18,93
ARS-11B	25,48
ARS-9C	11,98
ARS-6	2,04
ARS-5	9,9
ARS-4	15,63
ARS-3	10,51
ARS-2	8,5
ARS-1	9,53

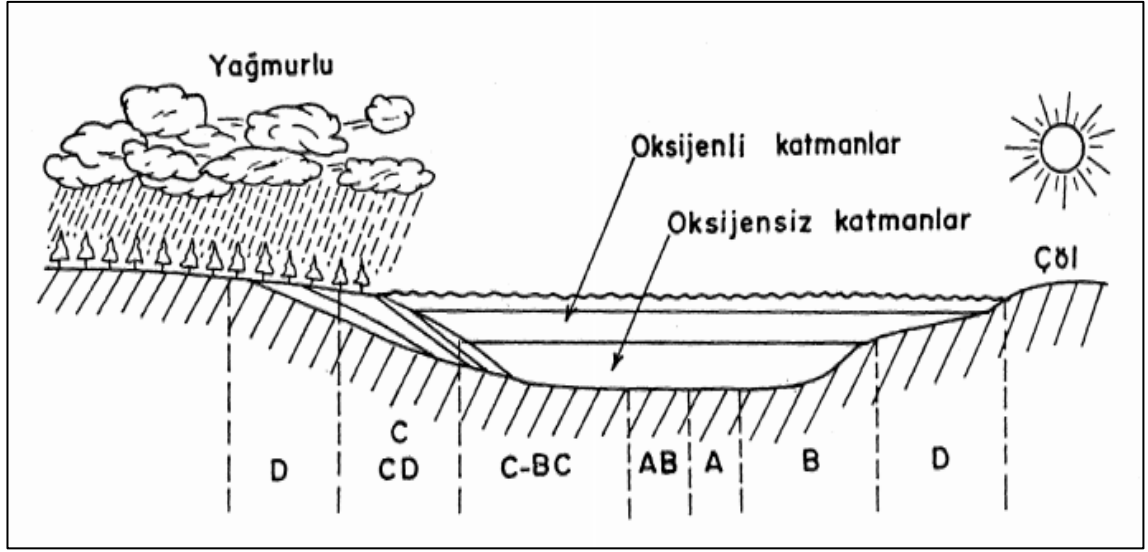


Şekil 5.21 Arslanlı sahasına ait bitümlü şeyl örneklerinin PC (%)–TOC ( wt %) diyagramındaki konumları

#### 5.6.6. Organik fasiyes incelemeleri

Jones (1987) yapmış olduğu çalışmada Rock-Eval piroliz analizleri (HI, OI, TOC), H/C, O/C atomik oranları ve egemen organik madde türlerine göre organik fasiyesleri A, AB, B, BC, C, CD ve D olmak üzere 7 ayrı bölgeye ayırmıştır (Şekil 5.22).





Şekil 5.22 Organik fasiyeslerin şematik görünümü (Jones'den 1987 türkçeleştirilmiştir)

A organik fasiyesi ile B organik fasiyesi arasında bir geçiş zonunu gösteren AB organik fasiyesinde egemen organik madde amorf olup az miktarda karasal organik madde içeriğine de sahiptir. Bu fasiyeste petrol oluşumu gözlenir. Yüksek fluoresans özellik gösteren karışık kökenli alglerin meydana getirdiği kerojenlerden ibarettir (Jones 1987). Buna bağlı kerojen tip tanımlamasına bakıldığında ise Tip I kerojenin baskın olduğu bununla birlikte Tip II kerojenin de görüldüğü böylelikle HC tipi olarak çoğunlukla petrol az oranda ise gaz gözlenebileceği söylenebilir. AB organik fasiyesinde laminalanma özelliği göstermiş sedimanlar içerisindeki organik maddenin jeokimyasal karakteristiğinde % 0,5 vitrinit yansıması değerinde H/C oranı, 1,35-1,45 arasında değişmektedir. Hidrojen İndeks (HI) değerleri 650-850 mg HC/g TOC, oksijen indeksi (OI) ise 20-50 mg CO<sub>2</sub>/g TOC'dir. Toplam organik karbon (TOC) miktarı % 3-10+ arasında değişmekle birlikte genellikle yüksektir.

Arslanlı sahasına ait bitümlü şeyl örneklerinin Hidrojen İndeks (HI) değerleri 166-757 mg HC/g kaya arasında (ortalama 577,5 mg HC/g kaya), Oksijen İndeks (OI) değerleri 32-97 arasında değişmekte olup (ortalama 47,45), TOC wt % değerleri ise 3.48 ile 40.69 arasında (ortalama wt % 22.03) değişmektedir. Organik petrografik analizler sonucunda ise örneklerin çoğunlukla algal/amorf kaynaktan türedikleri görülmüştür.

Tüm bu verilerin ışığında Arslanlı sahası bitümlü şeyl örneklerinin Organik fasiyesinin C'den AB'ye kadar olan aralıkta değişiklik gösterdiği fakat AB organik fasiyesinin baskınlık gösterdiği görülmektedir (Çizelge 5.26, 5.27, 5.28).

Çizelge 5.26 Organik fasiyelerin genelleştirilmiş mikroskobik ve jeokimyasal karakteristiklerinin özeti (Jones ve Demaison 1982, Jones 1984,1987)

ORGANİK FASİYES	%R <sub>0</sub> = 0,5 deki H/C ORANI	PİROLİZ VERİLERİ			EGEMEN ORGANİK MADDE	KEROJEN TİPİ	SEDİMANTER YAPI
		HI, mg HC/ g kaya	OI, mg CO <sub>2</sub> / g kaya	TOC, wt %			
A	≥ 1,45	> 850	10 - 30	5(3) - 20+	Algal; amorf	Tip I	Laminalı
AB	1,35 – 1,45	650 - 850	20 - 50	3-10+	Amorf; çok az karasal	Tip I / Tip II	
B	1,15 – 1,35	400 - 650	30 - 80		Amorf, yaygın karasal	Tip II / Tip I	İyi tabakalı - laminalı
BC	0,95 – 1,15	250 - 400	40 - 80	3(1) - 3+	Karışık; bazen okside	Tip II / Tip III	Zayıf tabakalı
C	0,75 – 0,95	125 - 250	50 - 150	≤ 3	Karasal; bazen okside	Tip III / Tip II	Çok zayıf tabakalı - biyotürbasyonlu
CD	0,60 – 0,75	50 - 125	40 - 150+	< 0.5	Okside; taşınmış	Tip III / Tip IV	Masif ; biyotürbasyonlu
D	≤ 0,60	< 50	20 - 200+		Yüksek okside; taşınmış	Tip IV	

Çizelge 5.27 Organik fasiyeler ve ortamsal faktörler arasındaki ilişki (Jones ve Demaison 1982, Jones 1984, 1987)

ORGANİK FASİYES	PROKSİMAL-DİSTAL EĞİLİM	OKSİJEN REJİMİ	SEDİMENT BİRİKİM ORANI	ÜRÜN
A	Distal	Öksinik / Anoksik	Düşük	Petrol
AB		Anoksik - Disoksik	Değişken	Petrol + Gaz
B				
BC	Proksimal	Oksik	Yüksek	Gaz + Petrol
C			Orta	Gaz
CD		Düşük		Biraz Gaz
D			Çok Oksik	Çok Nadir Gaz ya da Hiç Yok

Çizelge 5.28 Arslanlı sahasına ait bitümlü şeyl örneklerinin organik petrografik analiz ve piroliz analizi sonuçları

Örnek No	% Amorf+Alg	Piroliz Verileri			Organik fasiyes
		HI, (mg HC/g kaya)	OI, (mg CO <sub>2</sub> / g kaya)	TOC (wt, %)	
ARS-15	-	601	54	24.46	AB
ARS-14	-	564	74	18.82	B
ARS-13	-	498	97	40.69	B
ARS-11B	100	739	41	39.54	AB
ARS-9C	100	757	35	17.16	AB
ARS-6	-	640	32	3.48	AB
ARS-5	-	166	37	11.53	C
ARS-4	-	744	44	23.90	AB
ARS-3	40	459	42	26.57	B
ARS-2	60	663	32	14.77	AB
ARS-1	60	522	34	21.43	B

### 5.6.7. Gaz kromatografi incelemeleri

Gaz kromatografi (GC) analizi organik jeokimyanın temel analiz yöntemlerinden biri olup, çökelme ortamı, organik madde tipi ve olgunluk parametreleri hakkında bilgiler verir. Gaz kromatografi analizi petrol ve bitüm içerisindeki hidrokarbon bileşiklerinin genel dağılımını göstermesi açısından önemlidir.

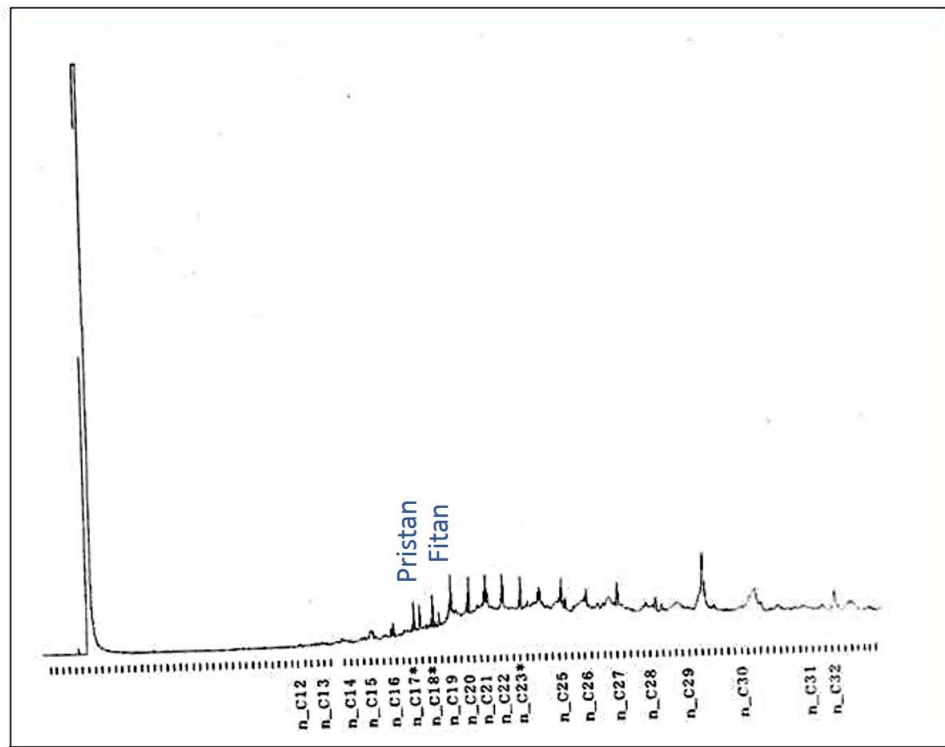
Bir gaz kromatogramında hakim pikler normal alkan (n-alkan)'lardır. Bunun yanında kromatogramda i-alkanlar da çıkmaktadır. Bir gaz kromatogramında normal alkan dağılımlarındaki maksimumların genellikle C<sub>14</sub>-C<sub>18</sub> aralığında çıkması organik madde tipinin baskın olarak algal/bakteriyel olduğu sonucunu gösterir (Varandas da Silva 2008). Başka bir deyişle, C<sub>15</sub>, C<sub>17</sub>, C<sub>19</sub> gibi düşük moleküler ağırlıklı tek karbon numaralı n-alkanlar algal kaynağı yansıtırken, C<sub>27</sub>, C<sub>29</sub>, C<sub>31</sub> gibi yüksek moleküler ağırlıklı tek karbon numaralı n-alkanlar ise karasal kaynak göstergesidir. Bununla birlikte çift merkezli pikler ile nC<sub>23</sub>-nC<sub>30</sub> dizisine doğru çarpık bir vaziyette görülen n-alkan dağılımı da yine karasal girdi göstergesidir (Tissot ve Welte 1984, Waples 1985).

Gaz kromatogramında görülen en önemli iki pik pristan (C<sub>17</sub>) ve fitan (C<sub>18</sub>) olup, bir çok farklı şekilde kullanılmaktadır. Fitan, pristan ve daha küçük izoprenoidler klorofil molekülü parçası olan fitilden türer. Anoksik koşullar altında fitil yan zincirinin kaybederek fitole, fitol ise indirgenme suretiyle fitanı oluştururken, oksik ortam koşullarında ise fitol pristana indirgenmektedir (Peters ve Moldowan 1993).

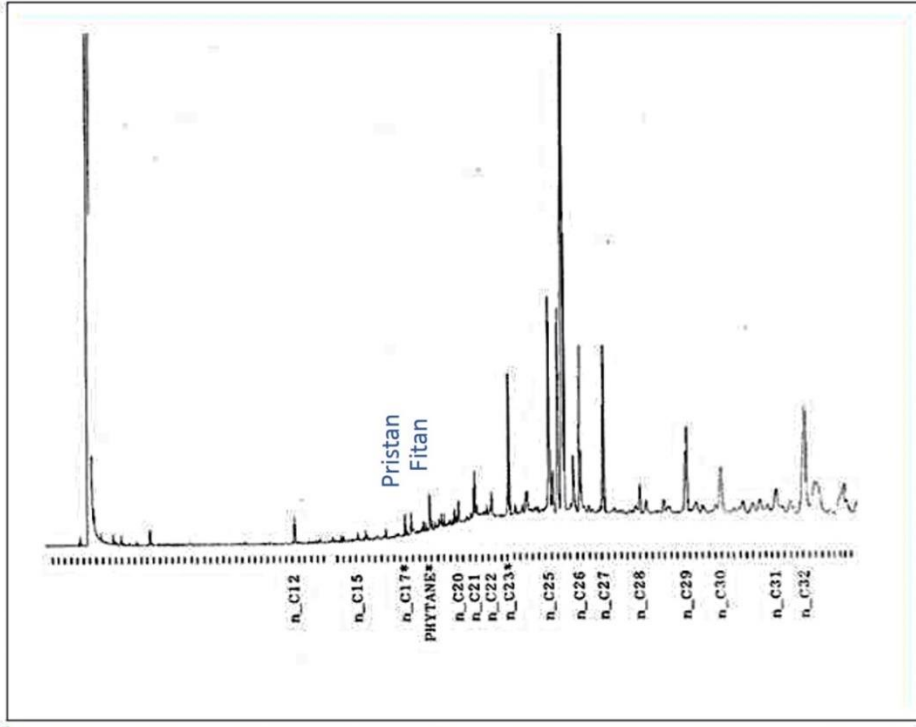
Pristan ve fitanın muhtemel kaynağı karasal bitkilerin baskın olduğu organik maddedeki klorofildir, Pr/Ph oranları Markic ve Sachsenhofer (1997) ve Bechtel vd. (2003b)'e göre redoks koşullarındaki değişimleri yansıtmasıyla yorumlanabilmektedir. Örneğin pristan/fitan oranının 1'den küçük olduğu (Pr/Ph<1) durumlar anoksik ortam, tuzlu çökelim ortamı göstergesi iken ayrıca denizel organik madde belirteci olarak da yorumlanabilmektedir. Pristan/fitan oranının 1'den büyük olduğu (Pr/Ph>1) durumlar ise oksik bir çökelme ortamı önerirken organik maddenin türü de karasal ortamları işaret eder.

Pr/Ph oranı biyodegradasyon ve göç ile değişmediği için önemli bir korelasyon parametresidir. Bu sebeple, Pr/Ph oranı çökeltme ortamı redoks koşullarının anlaşılması noktasında da önemlidir (Peters ve Moldovan 1993).

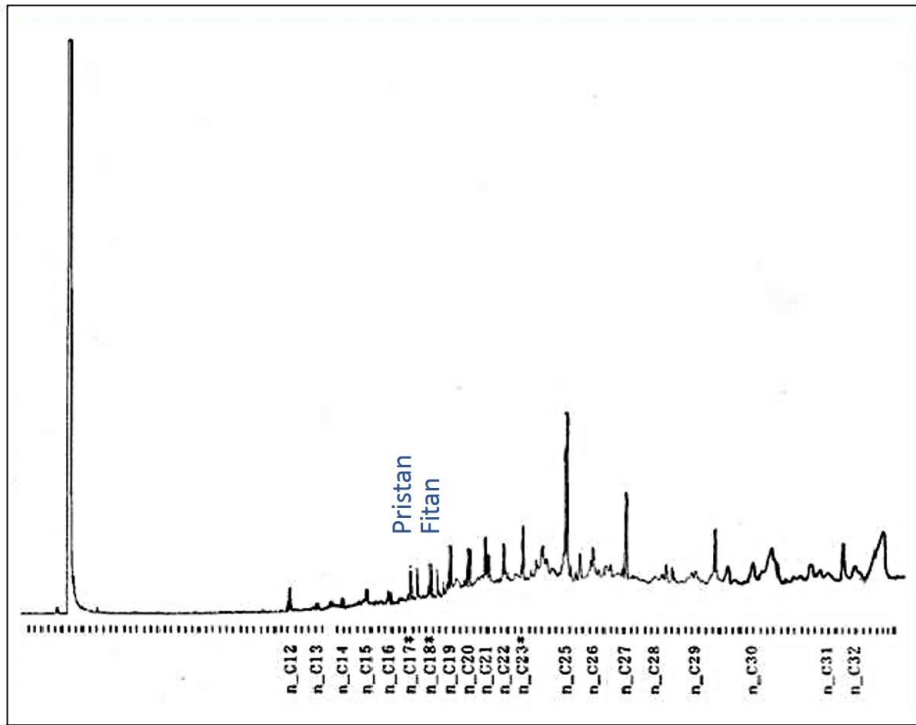
Gaz kromatogramlarında piklerin dağılım ve boylarına bakılarak değerlendirmeler yapılır. Arslanlı sahasına ait bitümlü şeyl örneklerinden 4 tanesi (ARS-5, ARS-6, ARS-9C, ARS-11B) gaz kromatografi analizine tabi tutulmuş n-alkanlardan yararlanılarak çeşitli yorumlamalara gidilmiştir (Şekil 5.23, 5.24, 5.25, 5.26).



Şekil 5.23 Arslanlı sahasına ait ARS-5 örneğinin gaz kromatogramı

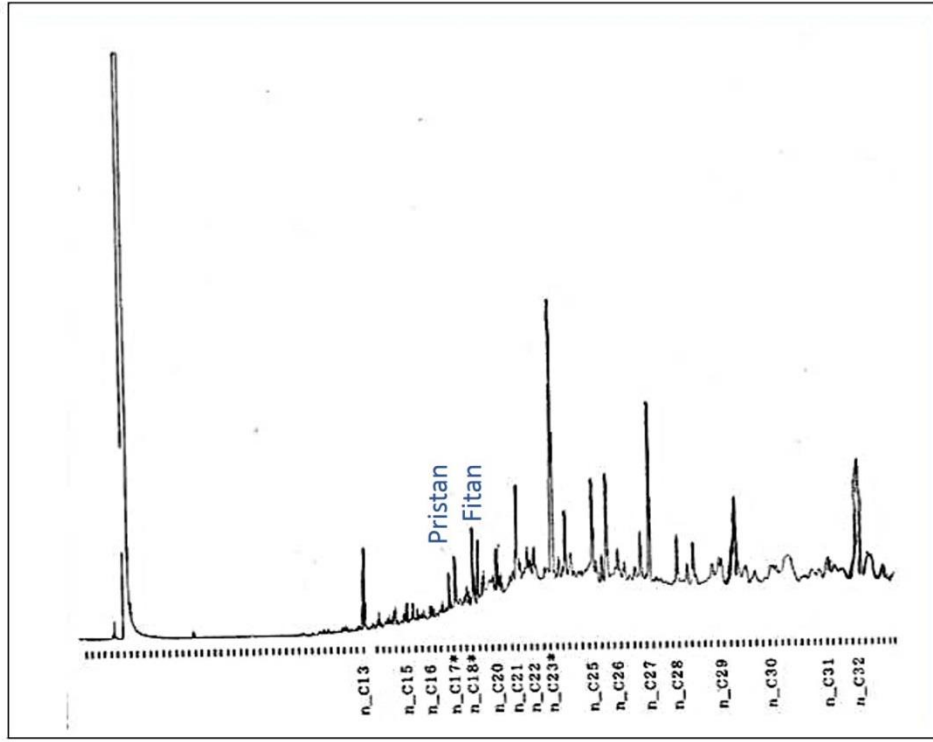


Şekil 5.24 Arslanlı sahasına ait ARS-6 örneğinin gaz kromatogramı



Şekil 5.25 Arslanlı sahasına ait ARS-9C örneğinin gaz kromatogramı





Şekil 5.26 Arslanlı sahasına ait ARS-11B örneğinin gaz kromatogramı

Gaz kromatografi analizi sonucunda ölçülen yüksek Ph (Fitan) ya da ölçülen Pr/Ph oranının 1,0'dan küçük olması çökeltme ortamının indirgen/anoksik olduğunu, yüksek Pr (Pristan) miktarı ya da ölçülen Pr/Ph oranının 1'den büyük olması ise organik maddenin depolanma ortamının yükseltgen/oksijenli olduğunu işaret eder (Didyk vd. 1978, Tissot ve Welte 1984). Arslanlı sahasına ait bitümlü şeyl örneklerine ait gaz kromatografi analizi sonucunda örneklerin tamamının Pr/Ph oranı 1'den küçük olduğu görülmüştür bu durum “Anoksik” çökeltme ortamı koşullarını yansıtmaktadır (Çizelge 5.29).

Çizelge 5.29 Arslanlı sahasına ait bitümlü şeyl örneklerinin Pr/Ph değerleri ve buna ilişkin redoks koşulları

Örnek No	Pr/Ph	Redoks Koşulları
ARS-14	0,76	Anoksik
ARS-9C	0,77	Anoksik
ARS-6	0,55	Anoksik
ARS-5	0,87	Anoksik

Karbon Tercih İndeksi (CPI), tek karbon numaralı n- alkanlar ile çift karbon numaralı n–alkanların birbirlerine göre bolluğunun ifadesi olup, kayaç içerisindeki organik maddenin kerojen tipi, çökelme ortamı şartları ve kaynak kayanın ısısız olgunluğu hakkında önemli bilgiler sunar. CPI indeksi değerinin hesaplanmasında araştırmacılar farklı formüller ortaya koymuşlardır. Bu çalışmada;

$$\text{CPI}_{(26-34)} = \frac{n\text{C}_{25} + n\text{C}_{27} + n\text{C}_{29} + n\text{C}_{31} + n\text{C}_{33}}{(n\text{C}_{26} + n\text{C}_{28} + n\text{C}_{30} + n\text{C}_{32} + n\text{C}_{34})}$$

formülü kullanılmıştır (Bray ve Avans 1961).

CPI değerinin belirgin bir şekilde 1’den büyük ya da 1’den küçük olması ısısız olgunlaşmanın petrol türümünü gerçekleştirecek yeterlilikte olmadığı petrol veya bitüm örneklerini gösterirken CPI değerinin 1’e yakın değerlerde çıkması ısısız olgunluğun yeterli olduğunu işaret eder (Waples 1985). CPI değerinin 1 ya da 1’e yakın olması kaynak kayanın yeterli olgunluğa eriştiğinin kesin delili değildir (Peters ve Moldovan 1993). CPI değerinin 1’den küçük olduğu durumlara ender olarak rastlanılır ve tipik olarak karbonat veya tuzluluğun son derece yüksek olduğu bir çökelme ortamında oluşmuş petrol veya bitüm göstergesidir (Tissot ve Welte 1984). Isısız olgunlaşmasını tamamlayamamış ya da henüz başlamış örneklerde görülen yüksek CPI değerleri ise karasal organik madde girdisinin göstergesidir (Tran ve Phillippe 1993).

Arslanlı sahasına ait bitümlü şeyl örneklerinin CPI değerleri 1,00 – 1,88 arasında değişmekte olup bu sonuçlar denizel organizmalardan türemiş organik maddeyi işaret etmektedir. Ayrıca, incelenen örneklerin CPI değerlerinin 1’den büyük olması örneklerin ısısız olgunluğunun yeterli olmadığını göstermektedir (Çizelge 5.30). Tüm bu sonuçlar ışığında incelenen örneklerin henüz yeterli bir ısısız olgunluğa sahip olmadıklarını göstermektedir (Çizelge 5.31).

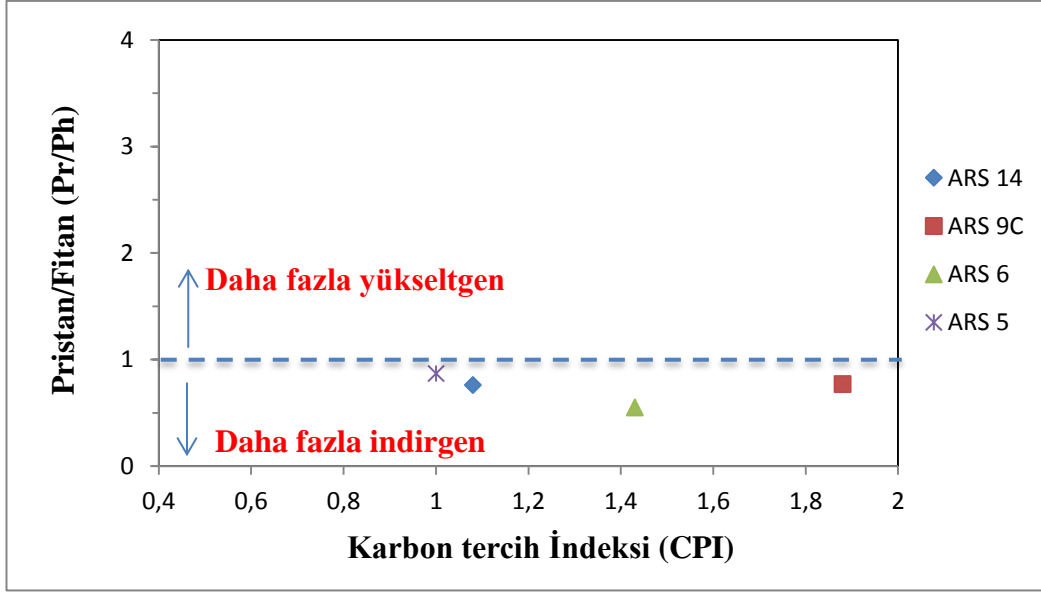
Çizelge 5.30 Karasal bitkiler ve denizel organizmalarda CPI'nın değerlendirilmesi (Bray ve Evans 1961 ve Koons vd. 1965)

Kıtasal Bitkiler	CPI	Denizel Organizmalar	CPI
Karasal Bitkilerde	4,0-7,0	Sponges	1,2
Kıyı Açığı Sedimentlerde	2,5-5,5	Coral	1,1
		Plankton	1,1
		Derin Deniz Sedimentleri	1,0

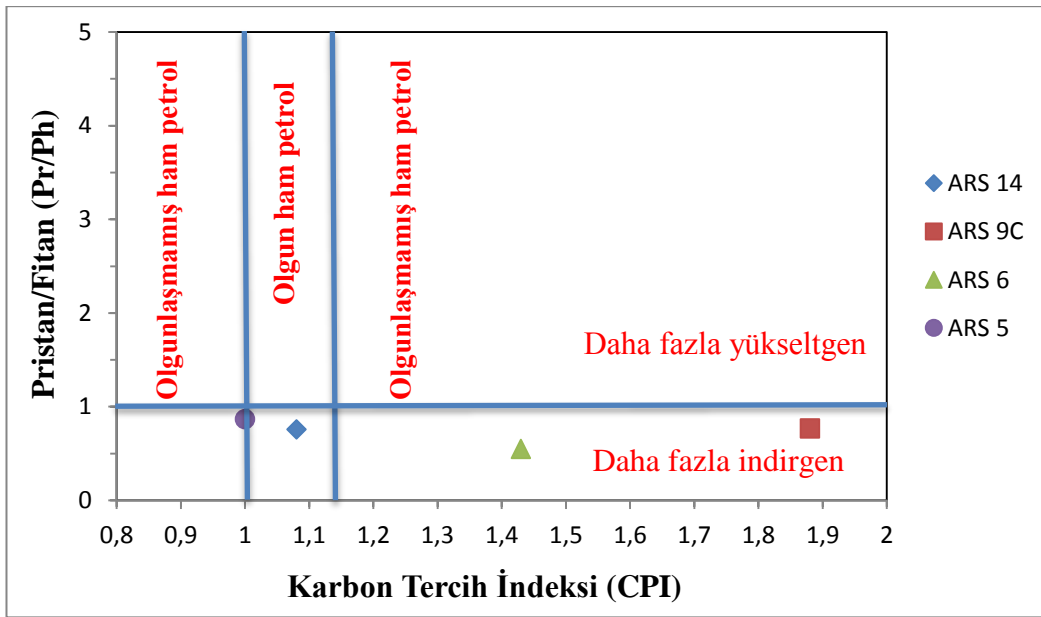
Çizelge 5.31 İncelenen örnekler için hesaplanmış CPI değerleri

Örnek No	CPI <sub>(26-34)</sub>
ARS-14	1,08
ARS-9C	1,88
ARS-6	1,43
ARS-5	1,0

Arslanlı sahasına ait bitümlü şeyl örneklerinin Pr/Ph- CPI (Akinlua ve Smith 2009) ve Pr/Ph – CPI (Akinlua vd. 2007) diyagramları oluşturulduğunda örneklerin hepsinin “Daha fazla indirgen” aralığına düştüğü ve “Olgunlaşmamış-Olgun ham petrol” aralıklarına düştüğü görülmektedir (Şekil 5.27 ve Şekil 5.28).



Şekil 5.27 Arslanlı sahasına ait bitümlü şeyl örneklerinin Pr/Ph – CPI diyagramındaki konumları (Akinlua ve Smith 2009)



Şekil 5.28 Arslanlı sahasına ait bitümlü şeyl örneklerinin petrolerin olgunlaşma düzeyiyle ilişkilendirilmiş Pr/Ph – CPI diyagramındaki konumları (Akinlua vd.'den (2007) değiştirilip türkçeleştirilmiştir)

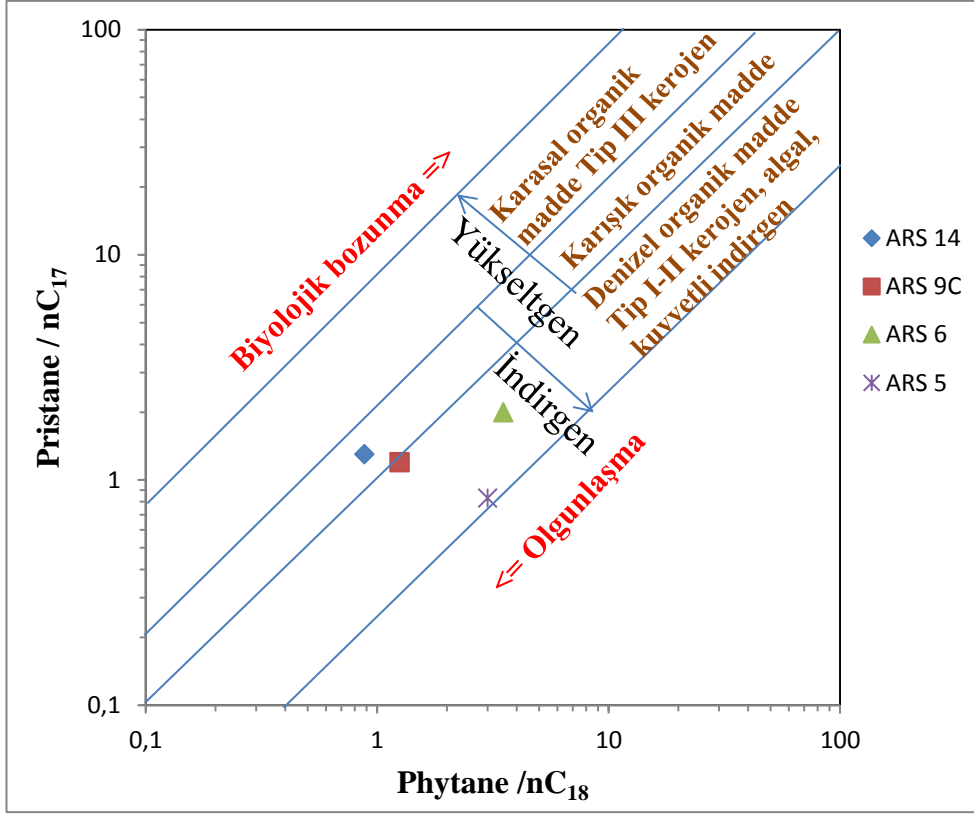
İzoprenoidler dallanmış hidrokarbonların çok kullanışlı olduğu bir gruptur. Gaz kromatogramlarında izoprenoidlerden gelen Pristan (Pr) n-C<sub>17</sub> ile Fitan n-C<sub>18</sub> ile çift pik verir. Petrol korelasyon çalışmalarında Pr/n-C<sub>17</sub> ve Ph/n-C<sub>18</sub> oranları yaygın olarak kullanılmaktadır.

Yüksek pristan içeriği oksitleyici bir kaynağın varlığını gösterirken, yüksek fitan içeriği ise indirgeyici bir kaynağı işaret eder. Bu sebeple petrol ve bitümü farklı gruplar içinde sınıflandırmak amacıyla Pr/nC<sub>17</sub>'nin Ph/nC<sub>18</sub>'e karşı çizilmiş olan diyagramlar kullanılmaktadır (Hunt 1995). İzoprenoid/n-alkan oranı, olgunluğun artmasıyla birlikte kerojenden daha fazla n-alkan serbestlenmesine neden olduğu için olgunlukla ters orantılı olup biyolojik bozunmaya maruz kalmamış petrol ve bitüm örnekleri için olgunluk ölçütü olarak kullanılmaktadır (Tissot ve Welte 1984). Bu oran biyolojik bozunma ile birlikte artmakta ayrıca organik madde girdisi ve ikincil işlemlerde bu oranı etkilemektedir (Hunt 1995). Ayrıca Pr/nC<sub>17</sub>-Ph/nC<sub>18</sub> diyagramından yararlanılarak petrolerin türemiş oldukları kaynak kaya litolojisi ve çökeltme ortamı koşulları da yorumlanabilmektedir.

Arslanlı sahasına ait bitümlü şeyl örneklerinin Pr/nC<sub>17</sub> – Ph/nC<sub>18</sub> (Petersen vd. 2001) diyagramındaki konumlarına göre, örneklerin büyük bir kısmının indirgen bir ortamda depolandığı, çoğunlukla Tip I-II kerojen tipine sahip oldukları ve henüz olgunlaşmamış oldukları görülmektedir (Çizelge 5.32 ve Şekil 5.29).

Çizelge 5.32 Arslanlı bölgesine ait örneklerin Pr/nC<sub>17</sub>-Ph/nC<sub>18</sub> oranı değerleri

Örnek No	Pr/nC <sub>17</sub>	Pr/nC <sub>18</sub>
ARS-14	1,3	0,88
ARS-9C	1,2	1,25
ARS-6	2,0	3,5
ARS-5	0,83	3,0



Şekil 5.29 Arslanlı sahasına ait bitümlü şeyl örneklerinin Pr/nC<sub>17</sub>–Ph/nC<sub>18</sub> diyagramındaki konumları (Petersen vd. 2001)

### 5.6.8. Modified fischer Assay analizi sonuçları

Bitümlü şeyl örneklerinden endüstriyel anlamda yararlanılabilmesi için öncelikle bilinmesi gereken parametre yeterli olgunluğa erişememiş olan örneklerin uygun sıcaklık koşullarına maruz kaldıkları takdirde petrol verimliliği oranının ne olacağıdır. Bu amaçla yapılan Modified Fischer Assay (MFA) analizi bitümlü şeyl örneğinden elde edilecek petrol miktarını 1/ton bazında vermektedir. Bunun dışında % su, % gaz parametreleri de hesaplanabilmektedir. Bitümlü şeyllerden petrol eldesi için kullanılan termal proses aşaması iki farklı şekilde uygulanır, bunlar;

- a-) Düşük sıcaklıkta ısıtma bitümlü şeyl örneğinin dereceli olarak 400-500 °C'ye kadar ısıtılması
- b-) Yüksek sıcaklıkta ısıtma bitümlü şeyl örneğinin dereceli bir şekilde 1000-1200 °C'ye kadar ısıtılması suretiyle termal proses.

Ekstrakt (ısıtma ayrıştırma) halihazırda dünya genelinde kullanılan önemli bir yöntemidir. Genel olarak petrol ayrıştırma yöntemi yeraltı kuru distilasyonu (kapalı ocak madenciliği) ve yeryüzü kuru distilasyon (açık ocak yöntemi) olmak üzere iki çeşittir. Açık ocak yöntemi de kendi içinde, direk ve dolaylı ısı transferi yöntemi olmak üzere ikiye ayrılır. Direk ısı transferi methodu daha hızlı ve efektif sonuç alınan bir yöntemdir. Bitümlü şeylerden petrol eldesi sağlayan ülkeler kendi yöntemlerini geliştirmişlerdir. Estonya’da Kiviter, Brezilya’da Petrosix, Amerika Birleşik Devletleri’nde SGR, Çin’de Fushun-Type yöntemi bunlardan bazılarıdır (Shu Tao vd. 2011).

Bitümlü şeylerin potansiyel verimlerinin değerlendirilmesinde petrol verimi, kalorifik değeri, kül ve nem oranları önemlidir. Tüm bu parametreler, bitümlü şeyl örneğinin laboratuvar ortamında uygun koşullar altında hazırlanıp, dışarıdan bir ısı kaynağına maruz bırakılması suretiyle parçalanıp açığa ürünler çıkarması şeklinde elde edilir. Bu proses işlemi Modified Fischer Assay (MFA) olarak adlandırılır ve bitümlü şeylerdeki petrol verimi; yüksek kaliteli, orta kaliteli, düşük kaliteli ve zayıf kaliteli olmak üzere dört farklı şekilde değerlendirilir (Çizelge 5.33).

Gri renki bitümlü şeylerin ortalama petrol verimi % 3,5 ile 5 arasında değişmekte iken bu oran koyu gri renkli bitümlü şeylerde %5-10 kahverengimsi gri bitümlü şeylerde ise % 10’dan daha büyüktür (Liu vd. 2015). Yüksek verimli petrol eldesi 1 ton kayada 25 galon şeyl petrolüdür. Bu da tonda 94,5 litre petrol demektir (Hou 1984).

Çeşitli araştırmacılar tarafından bitümlü şeyl örneklerinden elde edilecek petrol miktarının ekonomik olarak değerlendirilmesi yapılmıştır (Çizelge 5.34 ve 5.35).

Çizelge 5.33 Fisher assay verimine karşılık ekonomik değerlendirme (Liu vd. 2015)

% FİŞHER ASSAY VERİMİ	EKONOMİK DEĞERLENDİRME
< 3.5 %	Zayıf Kaliteli (Weak quality)
3.5-5.0 %	Düşük kaliteli (Low-quality)
5.0-10.0 %	Orta Kaliteli (Medium-quality)
> 10 %	Yüksek Kaliteli (High-quality)

Çizelge 5.34 Fisher Assay verimine karşılık gelen ekonomik değerlendirme (Snape 1995)

Fischer Assay Verimi	Değerlendirme
< 4 %	Ekonomik değil
4- 13,8 %	Orta dereceli ekonomik
13,8-23,6 %	Oldukça ekonomik
> 23,6	Çok yüksek ekonomik

Arslanlı sahasında alınan bitümlü şeyl örneklerinden 6 tanesi Modified Fischer Assay analizine tabi tutulmuştur. İncelenen örneklerin % petrol değerleri 2,77 ile 23,64 arasında değişmekte (ortalama 10,39) olup (Çizelge 5.35) bu değerler Snape (1995) ve Liu vd. (2015)'e göre yorumlanmıştır (Çizelge 5.36). İncelenen örneklerin genellikle yüksek kaliteli ve orta dereceli ekonomik oldukları görülmektedir.



Çizelge 5.35 Arslanlı sahasına ait bitümlü şeyl örneklerinin Modified Fischer Assay analizi sonuçları

Örnek No	%Petrol (w/w)	% Su (w/w)	% Gaz (w/w)	Petrol (bbl/ton)	Su (bbl/ton)	Petrol (L/ton)	Su (L/ton)
ARS-15	4,54	21,00	14,84	0,25	1,32	40,00	210,00
ARS-14	2,77	14,00	10,84	0,13	0,88	20,00	140,00
ARS-13	10,49	19,00	26,30	0,69	1,20	110,00	190,00
ARS-11B	23,64	13,00	18,95	1,64	0,82	260,00	130,00
ARS-9C	9,46	9,00	8,47	0,63	0,57	100,00	90,00
ARS-4	11,46	9,00	16,09	0,82	0,57	130,00	90,00

Çizelge 5.36 İncelenen örneklerin % petrol değerleri ve buna bağlı değerlendirmeler

Örnek No	% petrol (w/w)	Liu vd. 2015	Snape 1995
ARS-15	4,54	Düşük kaliteli	Orta dereceli ekonomik
ARS-14	2,77	Zayıf kaliteli	Ekonomik değil
ARS-13	10,49	Yüksek kaliteli	Orta dereceli ekonomik
ARS-11B	23,64	Yüksek kaliteli	Oldukça ekonomik
ARS-9C	9,46	Orta kaliteli	Orta dereceli ekonomik
ARS-4	11,46	Yüksek kaliteli	Orta dereceli ekonomik

Shu Tao vd. (2010) bitümlü şeylerden petrol eldesi üzerine yapmış oldukları petrol verimi çalışmalarında, bitümlü şeylerden endüstriyel anlamda yararlanılabilmesi için sınır değerler belirlemişlerdir (Çizelge 5.37). Bu çizelgeye göre petrol verimi, TOC % ve  $S_1+S_2$  değerini birbirleriyle karşılaştırıp diyagram üzerinde korelasyon katsayılarını hesaplamak suretiyle bitümlü şeyleri endüstriyel manada değerlendirip bitümlü şey verimi yok, düşük kaliteli bitümlü şey, orta kaliteli bitümlü şey ve yüksek kaliteli bitümlü şey olmak üzere dört kısma ayrılmıştır.

Çizelge 5.37 Yeni değerlendirme indeksi (Shu Tao vd.'den (2010) değiştirilerek türkçeleştirilmiştir.)

Endüstriyel Kalite	Bitümlü şey verimi yok	Düşük kaliteli bitümlü şey	Orta kaliteli bitümlü şey	Yüksek kaliteli bitümlü şey
Petrol verimi %	< 3.5	3.5-5	5-10	> 10
TOC %	< 7.5	7.5-9.5	9.5-17.0	> 17.0
$S_1+S_2$	< 34	34-48	48-90	> 90

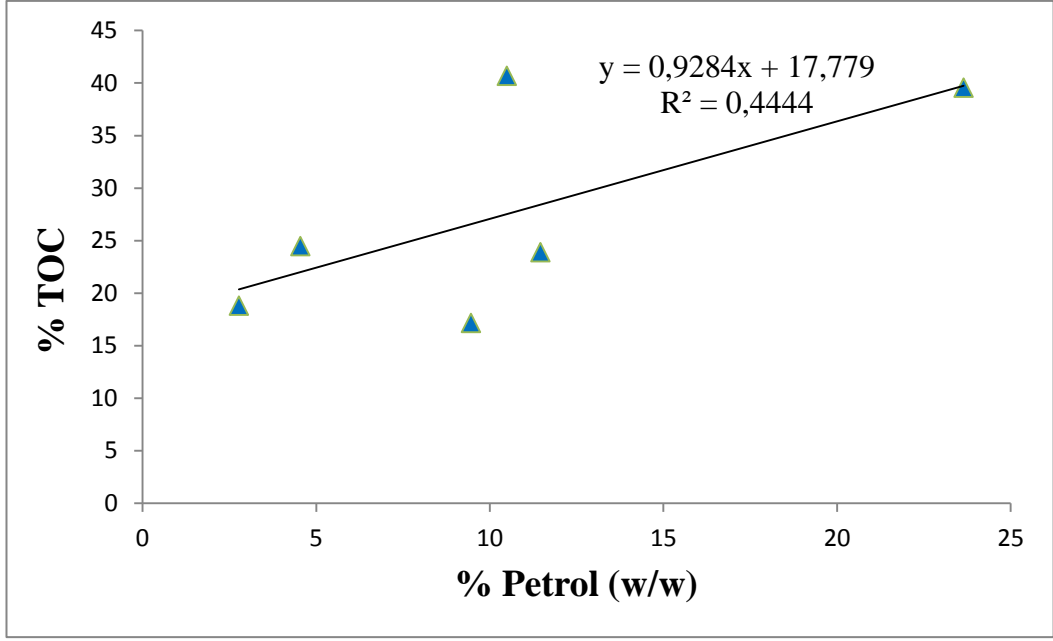
Arsanlı sahası bitümlü şey örneklerinin endüstriyel anlamda sınıflaması yapıldığında Endüstriyel Kalite İndeksleri % TOC,  $S_1+S_2$  ve petrol verimi parametreleri göz önüne alındığında incelenen örneklerin 1 tanesinin “Bitümlü şey verimi yok” 1 adetinin “Düşük kaliteli bitümlü şey” geriye kalan 4 adet örneğin ise endüstriyel manada “Yüksek kaliteli” oldukları görülmektedir (Çizelge 5.38).

Çizelge 5.38 İncelenen örneklerin yeni değerlendirme indeksi sonuçları

Örnek No	%TOC	S <sub>1</sub> +S <sub>2</sub>	Petrol verimi	Endüstriyel indeks
ARS-15	24,46	151,9	4,54	Düşük kaliteli
ARS-14	18,82	109,25	2,77	Verim yok
ARS-13	40,69	207,4	10,49	Yüksek kaliteli
ARS-11B	39,54	296,96	23,64	Yüksek kaliteli
ARS-9C	17,16	140,44	9,46	Yüksek kaliteli
ARS-4	23,90	181,86	11,46	Yüksek kaliteli

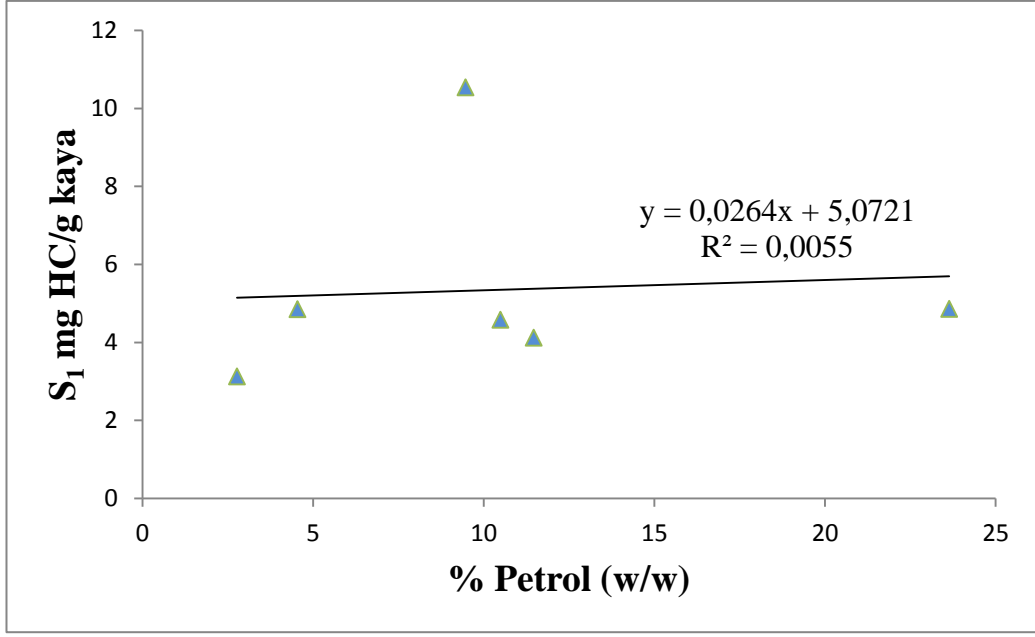
Bitümlü şeyllerin içermiş oldukları toplam organik madde içeriği; % TOC, S<sub>1</sub>+S<sub>2</sub>, petrol verimi ve buna benzer bir çok farklı şekilde ifade edilebilmektedir. Uluslararası Endüstriyel İndeks derecelendirmesi için, ki bu parametre de genellikle bitümlü şeyllerin petrol verimidir, bitümlü şeylin organik materyal içeriği, hidrokarbon potansiyeli, % TOC ve petrol verimi arasındaki ilişkilerin irdelenip ortaya konulması gerekmektedir. Bu değerler için oluşturulacak diyagramlar hesaplanacak olan r<sup>2</sup> değerleri organik madde içeriğinin durumunun anlaşılmasında uygun ve etkili bir yöntem olacaktır (Shu Tao 2010). Bu amaçla Arslanlı sahası bitümlü şeyl örneklerinin Modified Fischer Assay analizi sonuçlarının yukarıda belirtilen amaç doğrultusunda incelenmesi için hazırlanmış olan diyagram ve hesaplanan r<sup>2</sup> değerleri aşağıdaki gibidir.

Bitümlü şeyllerin Endüstriyel indeks değerleri; % petrol (w/w) değeri ile, % petrol (w/w) değeri ise % TOC ile bağlantılı bir parametredir. Bu sebeple bitümlü şeyllerin verimlilik değerleri hesaplanırken ilk göz önüne alınacak değerlerin başında bu parametre gelir. % petrol (w/w) değeri ile % TOC arasında gözlenen pozitif korelasyon, yüksek % TOC değerine sahip örneklere karşılık gelen yüksek % petrol (w/w) değerleri bu anlamda önemlidir (Şekil 5.30).

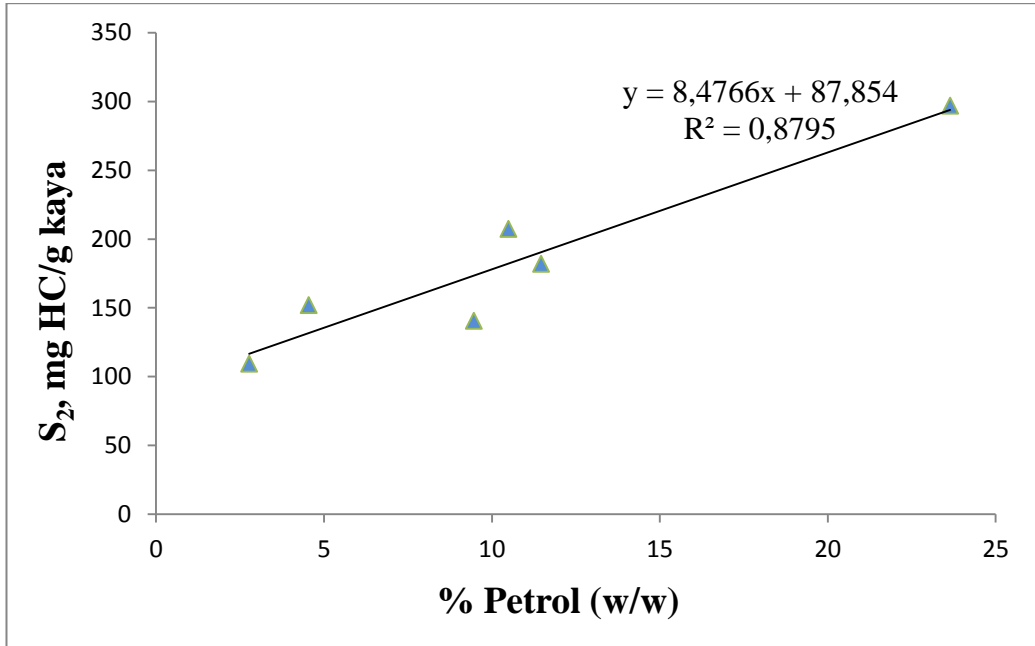


Şekil 5.30 Arslanlı sahasına ait örneklerin % TOC-% petrol (w/w) ilişkisini gösteren diyagram

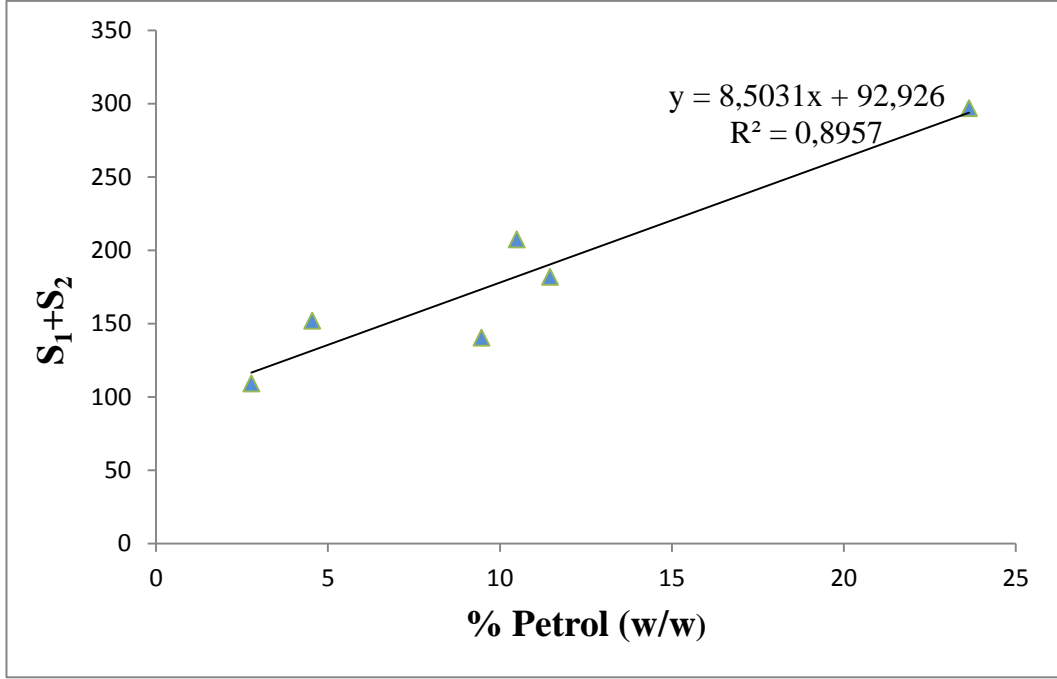
Toplam  $S_1+S_2$  değeri kayaç içerisindeki hidrokarbon potansiyelini yansıması açısından önemlidir. Bu sebeple  $S_1+S_2$  değerinin petrol verimiyle korelasyon göstermesi beklenir.  $S_1$  ve  $S_2$  parametrelerinin % petrol (w/w) ile ilişkisini anlamak için oluşturulan ikili diyagramlar neticesinde  $S_1$  pikinin % petrol (w/w) arasında yataya yakın zayıf bir korelasyon (Şekil 5.31),  $S_2$  piki ile % petrol (w/w) arasında ise  $r^2$  değerinin %87 olduğu çok kuvvetli bir pozitif korelasyon (Şekil 5.32) görülmesi kaynak kayanın içermiş olduğu petrolün çok az bir kısmının bitüm, önemli bir kısmının ise içermiş olduğu kerojenden kaynaklandığını göstermektedir.



Şekil 5.31 Arslanlı sahasına ait örneklerin S<sub>1</sub> mg HC/g kaya - % petrol (w/w) ilişkisini gösteren diyagram

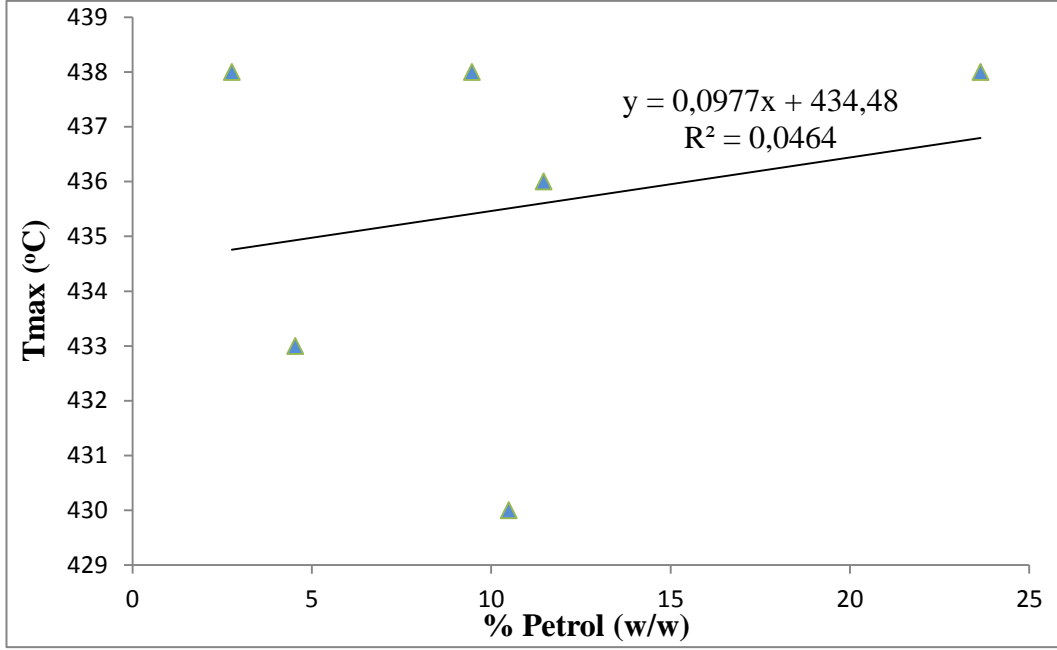


Şekil 5.32 Arslanlı sahasına ait örneklerin S<sub>2</sub>, mg HC/g kaya - % petrol (w/w) ilişkisini gösteren diyagram



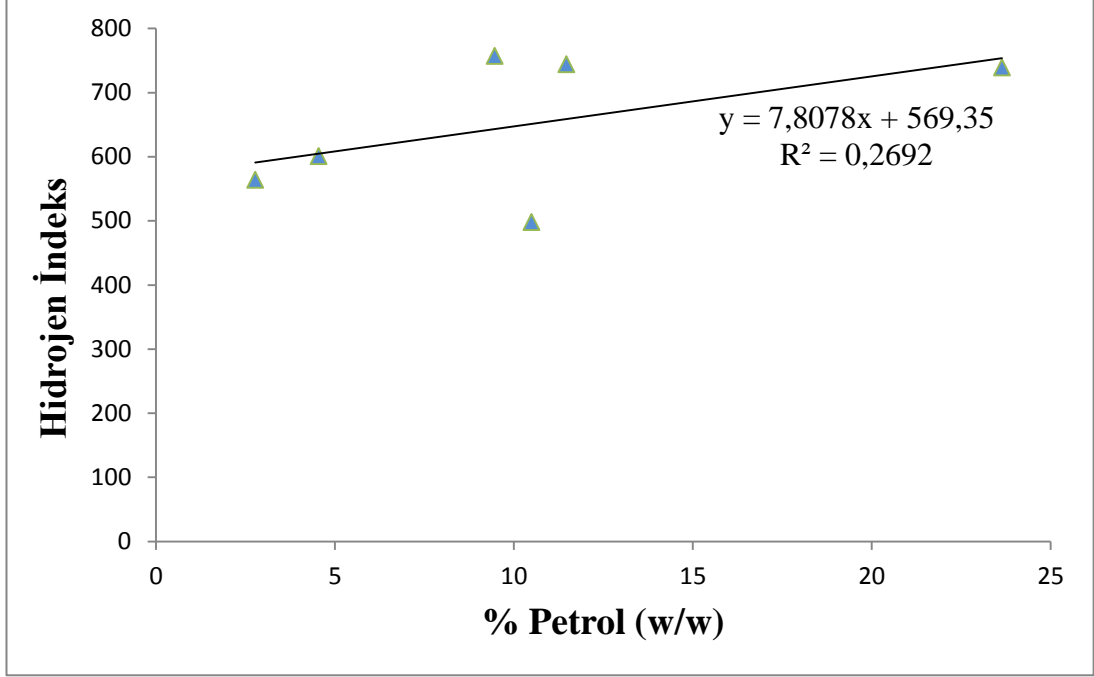
Şekil 5.33 Arslanlı sahasına ait örneklerin  $S_1+S_2$  - % petrol (w/w) arasındaki ilişkiyi gösteren diyagram

% Petrol değerine karşılık oluşturulan Tmax (°C) grafiğinde gözlenen pozitif korelasyon yeterli olgunluğa sahip olmayan örneklerin sıcaklık değerinin artmasıyla birlikte petrol veriminin de yükseldiği dolayısıyla iki parametre arasında beklendiği üzere doğru orantılı bir ilişki olduğu görülmektedir (Şekil 5.34).



Şekil 5.34 Arslanlı sahasına ait örneklerin Tmax (°C)-% petrol (w/w) ilişkisini gösteren diyagram

Hidrojen İndeks (HI), kerojenin hidrojen zenginliğinin ifadesidir ve algal kerojenlerde en yüksek değerlere sahiptir. Bu sebeple Tip I kerojende en yüksek değerlere sahipken Tip III kerojende en düşük değerler karşımıza çıkar. Dolayısıyla Hidrojen İndeks değeri ne kadar yüksek ise kerojen de o derece zengin petrol potansiyeline sahiptir. Arslanlı sahasına ait bitümlü şeyl örneklerinin HI değerlerine karşılık % petrol (w/w) değerleri diyagramı oluşturulduğunda (Şekil 5.35) gözlenen pozitif korelasyon yüksek hidrojen indeks değerlerinin yüksek petrol içeriği önermesini destekler niteliktedir.



Şekil 5.35 Arslanlı sahasına ait örneklerin Hidrojen indeks-% petrol (w/w) ilişkisini gösteren diyagram

Arslanlı sahasına ait bitümlü şeyl örneklerinin piroliz analizlerinden elde edilen % TOC, S<sub>1</sub>, S<sub>2</sub>, Tmax °C, HI ve Modified Fischer Essay analizinden elde edilen % petrol (w/w) değerleri kullanılarak oluşturulan diyagramların arasında kuvvetli pozitif korelasyonlar görülmüştür. Bu pozitif korelasyonlar irdelenen parametrelerin birbirleriyle doğru orantılı bir ilişki içerisinde olduklarının göstergesidir.



## 6. TARTIŞMA ve SONUÇLAR

Arslanlı ölçülü stratigrafik kesitine ait bitümlü kayaç örnekleri Arslanlı sahasından alınmıştır. Bu sahadaki kayaçların litolojileri çoğunlukla bitümlü marn ve bitümlü şeyl özelliğindedir. Bitümlü kayaçların taze mostraları gri ve koyu gri hatta siyahımsı renklerdedir. Bitümlü kayaçlar kırıldıklarında etrafa benzin kokusunu andıran bir koku yaymaktadır. Sahada bitümlü kayaçların yüzeydeki okside olmuş kısımları beyaz veya kirli beyaz renk tonlarındadır. Bunun sebebi kayaç içerisindeki ilksel bitümün ( $S_1$ ) havanın oksijenin ile bozularak okside olması sebebiyledir (Şekil 3.2). Arslanlı sahasında ARS ÖSK'nın yapıldığı alanda bitümlü şeyl örneklerinin yer yer kendiliğinden yandıkları görülmektedir (Şekil 3.2). Bitümlü şeyllerin kendiliğinden yanma sebebi kayaç içerisindeki ilksel bitümün ( $S_1$ ) oldukça yüksek olduğunun bir göstergesidir.

Seyitömer havzasının Bozcahöyük sahasında da oldukça kalın bitümlü şeyl, bitümlü kiltası ve bitümlü marn mostraları vardır. Bunlarında içermiş oldukları organik madde miktarları oldukça yüksek olup petrol üretme potansiyelleri vardır. Ancak Bozcahöyük sahası bitümlü kayaçlarının arazide kendiliğinden yanma görülmemektedir. Bunun başlıca sebebinin bu kayaçların sahip olduğu ilksel bitüm ( $S_1$ ) değerinin ortalama 2.02 mg HC/g kaya Arslanlı sahası bitümlü kayaçlarına göre oldukça düşük ortalama 4.08 mg HC/g kaya olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir. Yine Bozcahöyük sahası bitümlü kayaçlarına ait organik madde miktarı ortalama % 8.09 iken Arslanlı sahasına bitümlü şeyl örneklerinde organik madde miktarı ortalama 22.03'tür. Kerojen tipi her iki sahada da tip I ve Tip II kerojenden oluşmaktadır. Yine her iki sahada da organik maddenin olgunlaşmamış veya olgunlaşma başlangıcında oldukları görülmektedir. Bozcahöyük sahası bitümlü kayaçlarının Modified Fischer Assay analiz değerleri ortalama 12.6, Arslanlı sahasına ait bitümlü şeyl örneklerinin Modified Fischer Assay değerleri ortalama 10.39 değerleri karşılaştırıldığında her iki sahadan da elde edilecek sentetik petrolün oldukça ekonomik olacaklarını göstermektedir.

Gülbay (2005) "Kuzeybatı Anadolu'daki Bitümlü Şeyllerin Organik Jeokimyasal Özellikleri, Çökelme Ortamları ve Hidrokarbon Potansiyelleri" konulu doktora çalışmasında Seyitömer bölgesi bitümlü şeyllerini incelemiş, bitümlü şeyllerin yüksek

TOC içeriğine sahip, kerojen tipi olarak baskın olarak Tip I bunun yanında az oranda ise Tip II kerojen tespit edildiği bununla birlikte örneklerin yeterli ısısız olgunluğa erişmediğini belirtmiştir. Araştırmacı incelenen örneklerde yapmış olduğu GC-MS analizleri sonucunda m/z 217 kromatogramında gözlenen C<sub>30</sub> steran varlığının denizel bir etkiyi işaret ettiğini, C<sub>27</sub>, C<sub>28</sub> ve C<sub>30</sub> steran üçgen diyagramında ise bitümlü şeyl örneklerinin geçiş ortamında yer aldığını tespit etmiştir. Gaz Kromatografi analizleri neticesinde Pr/Ph oranının 1'den küçük olarak hesaplanması anoksik çökeltme koşullarını önermektedir. Düşük Pr/Ph oranı ve C<sub>29</sub> ββ steranların C<sub>29</sub> αα steranlara göre baskın olması Seyitömer bitümlü şeyllerinin tuzlu bir çökeltme ortamında çökeldiğinin göstermiştir. Sonuç olarak Seyitömer bitümlü şeyllerinin zaman zaman denizel etkiye maruz kalan, anoksik, tuzluluğu yüksek bir göl ortamında çökeldiğini belirtmiştir. Arslanlı sahası örneklerinin organik jeokimyasal analizlerden Piroliz, Gaz Kromatografi, Organik Petrografi ve Modified Fischer Assay analizleri neticesinde elde edilen veriler Gülbay (2005)'in elde ettiği verilerle önemli oranda paralellik göstermektedir.

Arslanlı sahası daha önceki çalışmalarda her ne kadar Alt-Orta Miyosen yaşlı gölsel bir havza olarak tanımlanmışsa da bu tez çalışmasında elde edilen jeokimyasal veriler ışığında depolanma ortamının bir geçiş ortamı (Lagün) olabileceğini düşündürmektedir. Lagün ortamları denizin kara ile bağlantısının bir yükseltiyle kesilmesi birlikte tuzluluk derecesinin yüksek olduğu bir göl ortamına dönüşmesidir. Zaman zaman transgresyon ile deniz seviyesinin yükselip göl ortamına tuzlu su ve beraberinde getirdiği denizel canlıların Arslanlı sahası örneklerinde gözlenen denizel organik madde göstergesi Tip II kerojenin kaynağı olduğu düşünülmektedir. Bu bilginin yapılacak ayrıntılı sedimantoloji ve yaş analizleriyle teyit edilmesi önerilmektedir.

Toplam Organik Karbon miktarı (TOC):

Arslanlı sahasına ait 11 adet bitümlü şeyl örneğinin Toplam Organik Karbon (TOC) değerleri % wt 3.48 ile 40.69 arasında değişmekte olup (ortalama wt, % 22.03), bu değerler sahanın Tissot ve Welte (1984)'e göre "Zengin", Peters ve Cassa (1994)'a göre "Mükemmel", Jarvie (1991)'e göre ise "Yeterli" kaynak kaya potansiyeline sahip olduğu göstermektedir.

### Organik Madde Tipi:

İncelenen örneklerin Hidrojen İndeks değerleri incelenen 11 örnekte 166-757 mg HC/g kaya arasında değişen (ortalama 577,5 mg HC/g kaya) değerlerdedir. Bu değerler Jones (1984)'e göre 1 adet örnek Tip III kerojen, karasal kaynak ve gaz türümü; 3 adet örnek Tip I kerojen gölsel kaynaklı ve petrol türümü; 7 adet örnek ise Tip II kerojen denizel kaynaklı ve petrol türümüne uygun olduğu tespit edilmiştir. Peters ve Cassa (1994)'e göre ise yine 1 adet örneğin Tip III kerojen içerdiği ve gaz potansiyeli olduğu, 6 adet örneğin Tip I kerojenden oluşan gölsel kaynaklı algler olduğu ve petrol türeteceği, 4 adet örneğin ise Tip II kerojenden oluştuğu, denizel kaynaklı olduğu ve petrol türeteceği sonucuna ulaşılmıştır. S<sub>2</sub>-TOC, kalınlığa bağlı HI değişimi, HI-OI arasındaki ilişkiyi gösteren diyagramlar incelendiğinde ise Arslanlı sahasına ait örneklerin genellikle Tip I ve Tip II kerojen tipine sahip oldukları görülmüştür.

Arslanlı sahasına ait örneklerin Hidrokarbon Tip İndeksi (S<sub>2</sub>/S<sub>3</sub> oranı) değerleri 4.49 ile 21.43 arasında değişmekte olup (ortalama 13.7) ) Peters (1986) ve Peters ve Cassa (1994) çalışmalarına göre örneklerin Tip I ve Tip II kerojen tipine sahip oldukları tespit edilmiştir.

Arslanlı sahası örneklerinin organik madde tiplerinin tayini için 6 adet örnek (ARS-11B, ARS-9C, ARS-5, ARS-3, ARS-2, ARS-1) organik petrografik analizlere tabi tutulmuştur. Buna göre örneklerden iki tanesi % 100 algal/amorf-Tip I kerojen, 2 adet örnek Tip II kerojen, 1 örneğin ise Tip II/III kerojen tipine sahip olduğu görülmüştür. Ayrıca bu analizler neticesinde elde edilen SCI değerleri ise Ediger ve Soylu (1993) çalışması göz önüne alındığında üç örneğin “Olgunlaşmamış” diğer üç adet örneğin ise “Olgunlaşma başlangıcı” safhasında yer aldığı tespit edilmiştir.

### Organik Maddenin Isısal Olgunluğu:

İncelenen Arslanlı sahasına ait bitümlü şeyl örneklerinin T<sub>max</sub> (°C) değerleri 414-438 (°C) arasında (ortalama 432 °C) değişmektedir. İncelenen örneklerin T<sub>max</sub> (°C) olgunlaşmaları Éspitalié vd.'nin (1984) T<sub>max</sub> (°C) standartlarına göre olgunlaşma

dereceleri göz önüne alındığında örneklerin 4 adetinin “Petrol penceresi” aralığında, 7 adet örneğin ise “Olgunlaşmamış” oldukları belirlenmiştir.

Peters and Cassa (1994)’nın Tmax olgunlaşma derecelerine göre örneklerin “Olgunlaşmamış” ve “Erken olgun” aralıklarında olduğu görülmüştür.

Éspitalié vd.’nin (1985) Tmax (°C) olgunlaşma derecelerine göre ise örneklerin büyük bir bölümünün “Olgunlaşmamış-Erken olgun” küçük bir kısmı ise “Petrol penceresi” aralığına düştüğü görülmüştür.

Peters ve Cassa (1994)’e göre incelenen örneklerin PI değerleri 0,01 ile 0,08 arasında (ortalama 0,03) değişmekte olup Peters ve Cassa PI standartına göre “Olgun değil” aralığında yer aldığı görülmüştür.

Arslanlı sahasına ait bitümlü şeyl örneklerinin HI değerlerine karşılık Tmax °C diyagramı incelendiğinde, örneklerin Tip I ve Tip II kerojen tipine sahip oldukları, olgunlaşma derecelerine göre ise “Olgun olmayan” ve “Olgun petrol” penceresi aralığına düştüğü tespit edilmiştir.

İncelenen örneklerin kalınlık ve S<sub>1</sub> değerleri arasındaki ilişki irdelendiğinde örneklerin önemli bir çoğunluğunun “Olgun olmayan” kaynak kaya küçük bir kısmının ise “Erken olgun” kaynak kaya aralığına düştüğü gözlenmiştir.

Olgunluk (Tmax, °C’a bağlı) değerlerine karşılık gelen Üretim İndeks (PI) diyagramı oluşturulduğunda örneklerin hepsinin Üretim İndeks sınır değerinin altında kaldığı, olgunluk parametresinde ise örneklerin “Olgun olmayan” ve “Petrol penceresi” aralığında yer aldığı bununla birlikte düşük dereceli dönüşümün başlamadığı ya da henüz başladığı anlaşılmaktadır.

Arslanlı sahasına ait bitümlü şeyl örneklerinin S<sub>2</sub>/S<sub>3</sub> değerleri 4.49 ile 21.43 arasında değişmekte olup (ortalama 10.7) Peters (1986) ve Clementz vd. (1979) standartına göre değerlendirildiğinde örneklerin büyük bir kısmının “katajenezin olgun olmayan ve

erken olgun evresi, petrol” aralığına, küçük bir kısmının ise “katajenezin olgun evresi, ıslak gaz ve kondanseyt” aralığına düştüğü görülmektedir.

Hidrokarbon Üretme Potansiyeli:

Arslanlı sahasına ait bitümlü şeyl örneklerinin  $S_1$  değerleri 0.29 ile 10.54 mg HC/g kaya arasında değişmekte olup (ortalama 4.08 mg HC/g kaya) Peters ve Cassa (1994)’ e göre incelenen örneklerin zayıftan mükemmele kadar değişen bir kaynak kaya potansiyeline sahip oldukları görülmüştür.

İncelenen örneklerin  $S_1/TOC$ –Kalınlık (bitümen indeks) diyagramı oluşturulduğunda 1 örnekte “Atım yok” aralığına, 7 adet örneğin “Atım başlangıcı” aralığına, 3 adet örneğin ise “Bol atım” aralığında yer aldığı tespit edilmiştir.

Arslanlı sahasına ait örneklerin  $S_2$  hidrokarbon değerleri 19.23 ile 292.1 mg HC/g kaya arasında değişmekte olup ( ortalama 129.94 mg HC/g kaya) Peters ve Cassa (1994)’e göre “Çok iyi-Mükemmel” kaynak kaya potansiyeline sahiptir.

İncelenen örnekler Ghorı (2000)  $S_2$  (mg HC/g kaya)-TOC (wt, %) diyagramına göre değerlendirildiğinde “Çok iyi–Mükemmel” kaynak kaya potansiyeline sahip oldukları görülmüştür.

İncelenen örneklerin Hidrokarbon Tip İndeks ( $S_2/S_3$  oranı) değerleri 4.49 ile 21.43 arasında değişmekte (ortalama 10.7) olup (Clementz vd. 1979, Peters 1986)’ya göre petrol üretme potansiyeline sahip oldukları görülmektedir.

Arslanlı sahası bitümlü şeyl örneklerinin Jenetik Potansiyel değerleri 1952-29696 ppm arasında (ortalama 13400 ppm) değişmekte olup, Tissot ve Welte (1978)’e göre 1 adet örneğin “Kaynak kaya potansiyeli yok”, 1 adet örneğin “Orta derecede kaynak kaya” potansiyeli ve geri kalan tüm örneklerin ise “İyi kaynak kaya potansiyeli”ne sahip oldukları görülmüştür.

Ghori (2002)'e göre oluşturulan Jenetik Potansiyel (PY ppm)–TOC (wt, %) diyagramında örneklerin önemli bir kısmının “Mükemmel” küçük bir kısmının ise “Çok iyi kaynak kaya” potansiyeline sahip oldukları görülmüştür.

İncelenen örneklerin  $S_1$  (mg, HC/g kaya)–TOC (wt, %) Hunt (1995) diyagramındaki konumlarına göre üretilen hidrokarbonlar yerli hidrokarbonlardır. Bu durum örneklerin alındığı sahada tek bir kaynak kayanın mevcut olduğunu önermektedir. Havzada başka bir kaynak kayanın var olması durumunda ise diyagramda “Yerli olmayan hidrokarbonlar” bölgesinde yer alacağı öngörülmüştür. Ayrıca bu örneklerin hepsinin “Yerli hidrokarbonlar” aralığında yer alması örneklerin antropojenik kirlenmeye maruz kalmadıklarını göstermektedir.

Arslanlı bölgesine ait örneklerin % RC değerleri 1.44-21.76 arasında (ortalama 9.71) değişmektedir. Buna göre oluşturulan diyagram vasıtasıyla incelenen örneklerin kalıntı karbon hattı (TOC=RC) üzerinde bulunmadığı bu sebeple hala türüm potansiyeline sahip oldukları görülmüştür.

Bölgeye ait örneklerin % PC değerleri 2,04 ile 25,48 arasında (ortalama 12,31) değişmektedir. Arslanlı sahasına ait bitümlü şeyl örneklerinin piroliz edilebilen karbon hattına genelde yakın olduğu (TOC=PC) bu sebeple incelenen örneklerin türüm potansiyeline sahip oldukları anlaşılmaktadır.

Organik Fasiyes İncelemeleri:

Arslanlı sahasına ait bitümlü şeyl örneklerinin Hidrojen İndeks (HI) değerleri 166-757 mg HC/g kaya arasında (ortalama 577,5 mg HC/g kaya), Oksijen İndeks (OI) değerleri 32-97 arasında değişmekte olup (ortalama 47,45), TOC wt % değerleri ise 3.48 ile 40.69 arasında (ortalama wt % 22.03) değişmektedir. Organik petrografik analizler sonucunda ise örneklerin çoğunlukla algal/amorf oldukları görülmüştür. Bu veriler ışığında Arslanlı sahası bitümlü şeyl örneklerinin Organik fasiyesinin çok zayıfta olsa C fasiyesine de düştüğü AB fasiyesine kadar olan aralıkta değişiklik gösterdiği fakat AB organik fasiyesinin baskın olduğu tespit edilmiştir.

#### Gaz Kromatografi:

Arslanlı sahasına ait bitümlü şeyl örneklerinden ARS-14, ARS-9C, ARS-6 ve ARS-5 örnekleri gaz kromatografi analizine tabi tutulmuştur. Örneklere ait gaz kromatografi analizi sonucunda örneklerin tamamının Pr/Ph oranının 1'den küçük olduğu belirlenmiştir bu durumun anoksik çökelme ortamı koşullarını yansıttığı tespit edilmiştir.

Arslanlı sahasına ait bitümlü şeyl örneklerinin CPI değerleri 1,00 – 1,88 arasında değişmekte olup bu sonuçlar denizel organizmalardan türemiş organik maddeyi işaret etmektedir. Ayrıca, incelenen örneklerin birçoğunun CPI değerlerinin 1'den büyük olması örneklerin ısısal olgunluğunun yeterli olmadığını göstermektedir. Tüm bu sonuçlar ışığında incelenen örneklerin henüz yeterli bir ısısal olgunluğa sahip olmadıkları sonucuna ulaşılmaktadır.

Bölgeye ait örnekler Pr/Ph –CPI (Akinlua ve Smith 2009) Pr/Ph –CPI (Akinlua vd. 2007'den değiştirilerek) diyagramlarında değerlendirildiğinde incelenen örneklerin daha indirgen alanda yer aldığı ve “Olgunlaşmamış” ve “Olgun ham petrol” aralıklarına düştükleri tespit edilmiştir.

Arslanlı sahasına ait bitümlü şeyl örneklerinin Pr/nC<sub>17</sub> – Ph/nC<sub>18</sub> (Petersen vd. 2001) diyagramındaki konumlarına göre, örneklerin önemli bir kısmının indirgen bir ortamda depolandığı, çoğunlukla Tip I-II kerojen tipine sahip oldukları ve henüz olgunlaşmamış oldukları sonucuna ulaşılmıştır.

#### Modified Fischer Assay:

Arslanlı sahasında alınan bitümlü şeyl örneklerinden 6 tanesi Modified Fischer Assay analizine tabi tutulmuştur. İncelenen örneklerin % petrol w/w değerleri 2,77 ile 23,64 arasında değişmekte (ortalama 10,39) olup bu değerler Snape (1995) ve Liu vd. (2015)'e göre yorumlanmıştır. İncelenen örneklerin çoğunluğunun “Yüksek kaliteli” ve “Ekonomik” oldukları anlaşılmaktadır.

Arslanlı sahası bitümlü şeyl örneklerinin endüstriyel anlamda sınıflamasını yapmak için Endüstriyel Kalite İndeksleri, % TOC, S<sub>1</sub>+S<sub>2</sub> ve petrol verimi parametreleri göz önüne alındığında incelenen örneklerin 1 tanesinin “Bitümlü şeyl verimi yok”, 1 adetinin “Düşük kaliteli bitümlü şeyl” geriye kalan 4 adet örneğin ise endüstriyel manada “Yüksek kaliteli bitümlü şeyl” oldukları görülmektedir.

Arslanlı sahasına ait bitümlü şeyl örneklerinin piroliz analizlerinden elde edilen % TOC, S<sub>1</sub>, S<sub>2</sub>, Tmax °C, HI ve Modified Fischer Essay analizinden elde edilen % petrol (w/w) değerleri kullanılarak oluşturulan diyagramların arasında kuvvetli pozitif korelasyonlar görülmüştür. Bu pozitif korelasyonlar irdelenen parametrelerin birbirleriyle doğru orantılı bir ilişki içerisinde olduklarının göstergesidir. S<sub>1</sub> ve S<sub>2</sub> parametrelerinin % petrol (w/w) ile ilişkisini anlamak için oluşturulan ikili diyagramlar neticesinde S<sub>1</sub> pikinin % petrol (w/w) arasında yataya yakın zayıf bir korelasyon, S<sub>2</sub> piki ile % petrol (w/w) arasında ise r<sup>2</sup> değerinin %87 olduğu çok kuvvetli bir pozitif korelasyon görülmesi kaynak kayanın içermiş olduğu petrolün çok az bir kısmının bitüm, önemli bir kısmının ise içermiş olduğu kerojenden kaynaklandığı sonucunu göstermektedir. Bu veri bitümlü şeyllerin organik bileşenleri (% 10-15 bitüm, %85-90 kerojen) göz önüne alındığında henüz yeterli bir ısısal olgunluğa erişmemiş olan Arslanlı sahası bitümlü şeyllerinin içermiş oldukları petrol miktarının ne derece önemli bir miktarda olduğunun bir göstergesidir.



## KAYNAKLAR

- Akdeniz, N., Konak, N. 1979. Simav-Emet-Tavşanlı-Dursunbey-Demirci yörelerinin jeolojisi. MTA raporu, No:6547.
- Akgün. F., Akyol, E. 1987. Akhisar (Çıtak) çevresi kömürlerinin palinolojik incelemesi. Türkiye Jeoloji Kurumu Bülteni, 30, 30-45.
- Akinlua, A. And Smith, R.M 2009. High temperature steam extraction for the determination of aliphatic hydrocarbon in petroleum source rock. Chromatographia,69, 1333-1339.
- Akinlua, A., Torto, N. And Ajayi, T.R. 2007. Oils in the NW Niger delta: aromatic hydrocarbons content and infrared spectroscopic characterization. Journal of Petroleum Geology, Vol. 30, No:1, pp, 91-100.
- Altunsoy, M. ve Özçelik O. 1993. Organik fasiyesler. Cumhuriyet Üniv. Müh. Fak. Jeoloji Mühendisliği Dergisi, s. 43, 34-39.
- Arık, F., Temur, S. 2003. Köprüören-Gümüşköy-Yoncalı civarının stratigrafisi. Selçuk Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi, 18/1, 21-36.
- Arslan, R. 1979. Kütahya-Tunçbilek sahasındaki sondaj örneklerinin palinoloji incelemesi. Türkiye Jeoloji Kurumu Bülteni, 22/1, 135-140.
- Arthur, M.A. and Sageman, B.B. 1994. Marine black shales: depositional mechanisms and environments of ancient deposits. Annual Review of Earth and Planetary Sciences, 22, 499–551.
- Aydar, E. 1998. Early Miocene to Quaternary evolution of volcanism and the basin formation in western Anatolia: a review. Journal of Volcanology and Geothermal Research, 85, 69-82.
- Baş, H. 1983. Domaniç-Tavşanlı-Gediz-Kütahya yörelerinin Tersiyer jeolojisi ve volkanitlerinin petrolojisi. MTA rapor No: 7293.
- Baş, H. 1986. Domaniç-Tavşanlı-Gediz-Kütahya yörelerinin Tersiyer jeolojisi. Jeoloji Mühendisliği Dergisi, 27, 11-18.
- Baş, H. 1987. Tavşanlı-Domaniç volkanitlerinin özellikleri ve Batı Anadolu Tersiyer volkanizmasındaki önemi. Türkiye Jeoloji Bülteni, 30, 67-80.
- Benda, L. 1971. Principles of the palynologic subdivision of the Turkish Neogene. Newsletter on stratigraphy, 1, 23-26.
- Beseme, P. 1967. Kabalar senklinalinin (Göynük-Bolu) genel ve uygulamalı jeolojik etüdü: MTA, Rapor No:4629.
- Beseme, P. 1969. Seyitömer (Tavşanlı-Kütahya) ve çevresinin jeolojik incelemesi”, M.T.A. Raporu, No: 4673.
- Bordenave, M.L. 1993. Applied petroleum geochemistry. Éditions Technip, 524 p., Paris.

- Bozkurt, E. 2000. Timing of extension on the Büyük Menderes graben, western Turkey, and its tectonic implications. In: Bozkurt E, Winchester JA, Piper JDA (eds) Tectonics and magmatism in Turkey and the surrounding area. Geological Society of London Special Publications, 173, 385-403.
- Bozkurt, E. 2001. Late Alpine evolution of the central Menderes Massif, Western Anatolia, Turkey. *International Journal of Earth Sciences*, 89, 728-744.
- Bozkurt, E. 2003. Origin of NE-trending basins in western Turkey. *Geodinamica Acta*, 16, 61-81.
- Bozkurt, E. 2004. Granitoid rocks of the southern Menderes massif (southwestern Turkey): field for Tertiary magmatism in the extensional shear zone. *International Journal of Earth Sciences*, 93, 52-71.
- Bozkurt, E. Park, R.G. 1994. Southern Menderes Massif: an incipient metamorphic core complex in Western Anatolia. *Journal of the Geological Society London*, 151, 213-216.
- Bozkurt, E., Oberhänsli, R. 2001. Menderes Massif (western Turkey): Structural, metamorphic and magmatic evolution. *International Journal of Earth Sciences, Special Issue*, 89, 679-882.
- Bray, E.E. and Evans, E.D. 1961. Distribution of n-paraffins as a clue to recognition of source beds. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 22, 2±15.
- Büyük, F. 2019. Bozcahöyük (Seyitömer/Kütahya) Bitümlü şeyllerinin organik jeokimyasal değerlendirilmesi ve hidrokarbon potansiyeli. Yüksek lisans tezi (basılmamış). Ankara Üniversitesi, F.B.E, Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı, Ankara.
- Candan, O., Çetinkaplan, M., Oberhänsli, R., Rimmelé, G., Akal, C. 2005. Alpine high-P/low-T metamorphism of the Afyon Zone and implications for the metamorphic evolution of Western Anatolia, Turkey. *Lithos*, 84, 102-124.
- Caplan, M.L. and Bustin, R.M. 1998. Paleooceanographic controls on geochemical characteristics of organic-rich Exshaw mudrocks: role of enhanced primary productivity. *Organic Geochemistry*, 30, 161-188.
- Carvounides, M. 1915. "Anadolu Osmanlı demiryolları müdüriyeti Seyitömer linyiti", M.T.A. Raporu, No: 49.
- Chung, H.M., Rooney, M.A., Toon, M.B. and Claypool, G.E. 1992. Carbon isotopic composition of marine crude oils: AAPG Bulletin, v. 76, pp. 1000- 1007.
- Clementz, D.M. 1979. Effect of oil and bitumen saturation on source-rock pyrolysis: AAPG Bulletin, 63, 2227-2232.
- Committee Office of Mineral Resources in China. 1987. Reference Manual of Mining Industry Demands. Geology Publishing House, Beijing, 312-315 (in Chinese).
- Çelik, Y., Kerey, İ.E. 1999. Domaniç Neojen havzası kömür içerikli çökellerin liyofasiyesleri ve depolanma ortamları. 52. Türkiye Jeoloji Kurultayı Bildiriler kitabı, TMMOB Jeoloji Mühendisleri Odası, 318-325.

- Degens, E.T. 1989. Perspectives on biogeochemistry. Springer, Berlin Heidelberg New York, 423.
- Dewey, J.F. 1988. Extensional collapse of orogens. *Tectonics*, 6, 1123-1139.
- Dewey, J.F., Şengör, A.M.C. 1979. Aegean and surrounding regions: Complex multiplate and continuum tectonics in a convergent zone. *Geological Society America Bulletin* 90. 84-92.
- Didyk, B. M., Simoneit, B.R.T., Brassel, S.C. and Englington, G. 1978. Organic geochemical indicators of paleoenvironmental conditions of sedimentation. *Nature*, 272, 216-222.
- Durand, B. 1980. Kerogen: Insoluble organic matter from sedimentary rocks. Editions Technip, 519 p, Paris.
- Durand, B. and Parette, M. 1983. Oil potential of coals, a geochemical approach, in: *Petroleum Geochemistry and Exploration of Europe* (J. Brooks, ed.), Blackwell Scientific, Oxford, pp. 255-265.
- Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü III. Bölge Müdürlüğü. 1985. Kütahya-Porsuk havzası jeofizik etüd raporu. D.S.İ. III. Bölge Müdürlüğü, 5s.+Ekler, (1985).
- Dyni, J.R. 2003. Geology and resources of some world oil-shale deposits. *Oil Shale*, 20, 3, 193-252.
- Ediger, V.Ş., Soylu, C. 1993. Petrol jeologları için organik jeokimya, TPAO Araştırma Merkezi Grubu Eğitim Yayınları, no. 23, 169 s.
- Enerji Piyasası Düzenleme Kurumu 2018 yılı faaliyet raporu. 103 s.
- Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı 2017 yılı faaliyet raporu. 113 s.
- Éspitalié J., Madec, M., Tissot, J., Menning, J. and Leplat, P. 1977. Source rock characterization method for petroleum exploration. *Proc. 9th Annual Offshore Technology Conf.*, 3: 439-448.
- Espitalié, J., Marquis, F. and Barsony, I. 1984. Geochemical logging. In: *Analytical pyrolysis: techniques and applications*, Voorhees, K.J. (Eds.). London: Butterworth & Guildford, pp. 276-304.
- Espitalié, J., Deroo, G. and Marquis, F. 1985. La pyrolyse rock-eval et ses applications, *Premiere Partie. Rev. Inst. Fr. Pet.* 40, 563-579.
- Éspitalié, J., Deroo, G. and Marquis, F. 1986. La pyrolyse rock-eval et ses applications. *Troisième partie, Rev Inst. Fr. Pét.*, 41: 73-89.
- Ghori, K.A.R. 2000. High-quality oil-prone source rocks within carbonates of the Silurian Dirk Hartog Group, Gascoyne Platform, Western Australia, *Geological Survey of Western Australia*, pp. 58-62.
- Ghori, K.A.K. 2002. Modeling the hydrocarbon generative history of the Officer Basin, Western Australia, *PESA Journal*, No. 29, pp. 29-42.
- Gülbay, R.K. ve Korkmaz, S. 2005. Kuzeybatı Anadolu'daki bitümlü şeyllerin organik jeokimyasal özellikleri ve çökelme ortamları. *Türkiye Jeoloji Bülteni*, Cilt 48, Sayı 2, 21-41.

- Helvacı, C., İnci, U., Yağmurlu, F., Yılmaz, H., 1987. Batı Anadolu'nun Neojen stratigrafisi ve ekonomik potansiyeli. Akdeniz Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi, Jeoloji, Sayı 3, 31-45.
- Hou, X. L. 1984. Shale Oil Industry of China. Petroleum Industry Press, Beijing, 1–28 (in Chinese).
- Hutton, A.C. 1991. Classification, organic petrography and geochemistry of oil shale. Eastern Oil Shale Symp. Univ. Kentucky, Institute for Mining and Minerals Research, Lexington, pp. 163-172.
- Hunt, J. M. 1995. Petroleum geochemistry and geology. W.H.Freeman and Company, New York. 743 p.
- Hunt, J. M. 1996. Petroleum geochemistry and geology (second edition), W.H.Freeman and Company, New York, 743p.
- Jackson, J., McKenzie, D. 1988. The relationship between plate motions and seismic moment tensors, and the rates of active deformation in the Mediterranean and Middle East. Journal of the Geophysical Journal, 93, 45-73.
- Jackson, K.S, Hawkins, P.L. and Bennet, A.J.R. 1985. Regional facies and geochemical evaluation of southern Denison Trough. APEA Jour., 20, 143-158.
- Jarvie, D.M. 1991. Factors affecting rock-eval derived kinetic parameters: Chemical Geology, 93, 79-99.
- Jarvie, D. M. and Lundell, L.L. 2001. In C. M. Isaacs, & J. Rullkotter (Eds.), Amount, type, and kinetics of thermal transformation of organic matter in the Miocene Monterey Formation (pp. 268–295). The Monterey Formation: From rocks to molecules, New York: Columbia University Press.
- Johannes, J., Kruusement, K., Palu, V., Veski, R. and Bojesen, J.A. 2006. Evaluation of oil potential of Estonian shales and biomass samples using rock-eval analyzer. Oil Shale, Vol. 23, No. 2, pp. 110-118.
- Jones, R.W. 1984. Comparison of carbonate and shale source rocks. In: Palacas, J. (Ed.), Petroleum Geochemistry and Source Potential of Carbonate Rocks: AAPG Stud. Geol., p. 18.
- Jones, R.W. 1987. Organic facies, In: Advances in petroleum geochemistry. Brooks, J. And Welte, D. (eds), Academic Press, 2, pp. 1-91, London.
- Jones, R.W. and Demaison, G.J. 1982. In "Proceedings of the second ASCOPE conference and exhibition, Manila": (Saldivar-Sali, A, Ed.), 51-68.
- Jones, B. and Manning, D.A.C. 1994. Comparison of geological indices used for the interpretation of palaeoredox conditions in ancient mudstones. Chemical Geology 111, 111-129.
- Kaya, T. 1993. Türkiye'de (Seyitömer - Kütahya) ilk kez bulunan Moropus Elatus (Chalicotheriidae - Perissodactyla), Doğa - Türk yerbilimleri dergisi, 2, 189-194.
- Kapan - Yeşilyurt, S., Taner, G. 2001. Neogene stratigraphy and molluscan fauna of Domaniç-Tunçbilek region (Kütahya-Western Anatolia), International Fourth

Geology Symposium Work in Progress on the Geology of Turkey and its Surroundings, (ITGS IV), Abstracts, 24-28 September, Adana, 35.

- Kholodov, V.N. and Nedumov, R.I. 1991. Geochemical criteria of the hydrogen sulfide contamination in waters of ancient basins. *International Geology Review*, 33, 1136-1144.
- Koca, D. 2011. Nallıhan (Ankara, Türkiye) civarı bitümlü şeyllerinde organik madde ve iz element zenginleşmeleri. Ankara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı, Doktora Tezi (Basılmamış), Ankara.
- Koçyiğit, A. Kaymakçı, N., Rojay, B., Özcan, E., Dirik, K., Özçelik, Y. 1991. İnegöl-Bilecik-Bözüyük Arasında Kalan Alanın Jeolojik Etüdü. O.D.T.Ü.-T.P.A.O. Projesi, No: 90-03-09-01-05, (Yayınlanmamış), 139s.
- Koons, C.B., Jamieson, G.W. and Ciereszko, L.S. 1965. Normal alkane distributions in marine organisms: possible significance to petroleum origin. *Bull. Am. Assoc. Petrol. Geol.*, 49:301-316.
- Langford, F.F. and Blanc-Valleron 1990. Interpreting rock-eval pyrolysis data using graphs of pyrolyzable hydrocarbons vs. total organic carbon. *AAPG Bulletin*, 74, 799-804.
- Le Pichon, X., Angelier, J. 1979. The Hellenic arc and trench system: A key to the neotectonic evolution of the eastern Mediterranean area. *Tectonophysics*, 60, 1-42.
- Le Pichon, X., Angelier, J. The Aegean Sea. *Philosophical transactions of the Royal Society of London, Series B*, A300, 357-372.
- Le Pichon, X., Chamot-Rooke, C., Lallemand, S., Noomen, R., Veis, G. 1995. Geodetic determination of the kinematics of Central Greece with respect to Europe: implications for Eastern Mediterranean tectonics. *Journal of Geophysical Research*, 100, 12675-12690.
- Liu, Z. J., Dong, Q. S., Ye, S. Q., Zhu, J. W., Guo, W., Li, D. C., Liu, R., Zhang, H. L., Du, J. F. 2006. The situation of oil shale resources in China. *Journal of Jilin University: Earth Science Edition*, 36(6), 869–876 (in Chinese with English abstract).
- Liu, R., Liu, Z., Guo, W., Chen, H. 2015. Characteristics and comprehensive utilization potential of oil shale of the Yin'e basin, Inner Mongolia, China, Vol: 32, No:4, pp 293-312.
- McKenzie, D. 1978a. Active tectonics of the Alpine-Himalayan belt: the Aegean Sea and surrounding regions. *Geophysical Journal of the Royal Astronomical Society*, 55,217-252.
- McKenzie, D. 1978b. Some remarks on the development of sedimentary basins. *Earth and Planetary Science Letters*, 40, 25-32.
- Merrill, R.K. 1991. Source and migration processes and evaluation techniques (R.K. Merrill, ed.), Oklahoma.
- Moldowan, J.M., Seifert, W.K. and Gallegos, E.J. 1985. Relationship between petroleum composition and depositional environment of petroleum source

- rocks. *Bulletin of the American Association of Petroleum Geologists*, 69, 1255-1268.
- Mukhopadhyay, P.K., Wade, J.A. and Kruger, M.A. 1995. Organic facies and maturation of Jurassic/Cretaceous rocks, and possible oil-source rock correlation based on pyrolysis of asphaltenes, Scotian basin, Canada, *Organic Geochemistry*, 22(1), 85-104.
- Nadkarni, R.A. 1983. Characterization of oil shales, analytical techniques, In: *Geochemistry and Chemistry of oil shales*. Miknis, F.P. and McKay, J.F. (eds), ACS Symposium Series 230, American Chemical Society, pp. 477-492, USA.
- Nakoman, E. 1968. Contribution a l'etude de la microflore Tertiaire des lignites de Seyitömer (Turquie). *Polen et Spores*, 10, 521-556.
- Nakoman, E. 1979. Radyoaktif hammaddeler jeolojisi”, M.T.A. Eğitim serisi, No: 20, 575s.
- Nebert, K. 1960. Tavşanlı batı ve kuzeyindeki linyit ihtiva eden Neojen sahasını mukayeseli stratigrafisi ve tektoniği. *M.T.A. Dergisi*, 54, 7-35.
- Okay, A.I. 1981. Kuzeybatı Anadolu'daki ofiyolitlerin jeolojisi ve mavişist metamorfizması (Tavşanlı-Kütahya)”, *Türkiye Jeoloji Kurumu Bülteni*, 2485-95.
- Okay, A.I. 1984. Kuzeybatı Anadolu'da yer alan metamorfik kuşaklar: Türkiye Jeoloji Kurultayı, Ketin Sempozyumu, 83-93.
- Othman, R.S. 2003. Petroleum geology of Gunnedah-Bowen-Surat basins, Northern New Wales (Stratigraphy, Organic Petrology and Organic Geochemistry), PhD Thesis(unpublished), University of New South Wales, 312p.
- Pedersen, T.F. and Calvert, S.E. 1990. Anoxia vs. productivity: what controls the formation of organic-carbon-rich sediments and sedimentary rocks? *American Association of Petroleum Geologists Bulletin* 74, 454-466.
- Peters, K.E. 1986. Guidelines for evaluating petroleum source rock using programmed pyrolysis. *The American Association of Petroleum Geologists Bulletin*, V.70, No: 3, pp. 318-329.
- Peters, K.E. and Cassa, M.R. 1994. Applied source rock geochemistry, in L.B. Magoon and W.G. Dow, eds., *The petroleum system -- from source to trap: AAPG Memoir* 60, p. 93-120.
- Peters, K.E. and Moldowan, J.M. 1993. *The biomarker guide: Interpreting molecular fossils in petroleum and ancient sediments*. Englewood Cliffs, N.J.:Prentice-Hall.
- Petersen, H.I., Andersen, C., Anh, P.H., Bojesen-Koefoed, J.A., Nielsen, L.H., Nytoft, H.P., Rosenberg, P. and Thanh, L. 2001. Petroleum potential of Oligocene lacustrine mudstones and coals at Dong Ho, Vietnam—an outcrop analogue to terrestrial source rocks in the greater Song Hong Basin. *Journal of Asian Earth Sciences* 19:135-154.
- Pitman, J.K., Franczyk, K.J. and Anders, D.E. 1987. Marine and Non marine Gas-Bearing Rocks in Upper Cretaceous Blackhawk and Nelsen Formations, Estern

- Unita Basin, Utah: Sedimentology, Diagenesis, and Source Rock Potential, AAPG Bulletin, Vol. 71, No. 1, pp. 76-94.
- Potter, P. E., Maynard J.B. and Depetris, P.J. 2005. Mud and Mudstones, Springer-Verlag, Berlin. 297 p.
- Purvis, M., Robertson, A.H.F. 2005a. Miocene sedimentary evolution of the NESW - trending Selendi and Gördes Basins, Western Turkey: implications for extensional processes. *Sedimentary Geology*, 174, 31-62.
- Purvis, M., Robertson, A.H.F. 2005b. Miocene sedimentary evolution of the NE-Swtrending Selendi and Gördes Basins, Western Turkey: implications for extensional processes. *Sedimentary Geology*, 174, 31-62.
- Rimmer, S.M. 2004. Geochemical paleoredox indicators in the Devonian Mississippian black shales, Central Appalachian Basin (USA). *Chemical Geology*, 206, 373-391.
- Ross, D.J.K. 2004. Sedimentology, geochemistry and gas shale potential of the early Jurassic Nordegg member, northeastern British Columbia. MsC Thesis, University of British Columbia.
- Saner, S. 1978. Orta Sakarya'daki Üst Kretase-Paleosen-Eosen çökeltme ilişkileri ve Anadolu'da petrol aramalarındaki önemi. *Türkiye 4. Petrol Kongresi*, 95-115.
- Sarı, A. 1999. Himmetoğlu formasyonu (Göynük-Bolu) bitümlü şeylllerinin organik jeokimyasal incelemesi. 1. Batı Anadolu Hammadde Kaynakları Sempozyumu, s. 143-149, İzmir.
- Sarı, A. and Aliyev, S.A. 2005. Source rock evaluation of the lacustrine oil shale bearing deposits: Göynük/Bolu, Turkey. *Energy Sources*, 27, pp. 279-298.
- Sarı, A. and Aliyev, S.A. 2006. Organic geochemical characteristics of the Paleocene-Eocene Oil Shales in the Nallıhan Region, Ankara, Turkey. *Journal of Petroleum Science and Engineering*, Vol.53, pp.123-134.
- Sarı, A. ve Sonel, N. 2000. Gölsel bitümlü kayaçların organik jeokimyasal özellikleri ve ekonomik kullanım olanakları. *Yerbilimleri/Geosound Dergisi*, 37, 55-72.
- Snape, C. 1995. Composition,geochemistry,and convention of oil shales. *Nato ASI Series, Series C:Mathematical and Physical Sciences-vol.455.p.501.*
- Sarıyıldız, M. 1990. Seyitömer (Kütahya) KB'sindeki kömürlü Neojen kayalarının jeolojisi", *Dokuz Eylül Üniversitesi Araştırma Raporları*, No: FBE/JEO-89-AR- 104, 28s.
- Sarıyıldız, M. 1992. Seyitömer (Kütahya) Kuzey Batı kömür yataklarının jeolojisi ve kömür potansiyeli. *Türkiye 8. Kömür kongresi bildiriler kitabı*, 391-406.
- Seyitoğlu, G., Scott, B.C. 1991. Late Cenozoic Crustal and Basin Formation in West Turkey. *Geological Magazine*, 128, 155-166.
- Seyitoğlu, G., Scott, B.C. 1992a. The age of the Büyük Menderes Graben (west Turkey) and its tectonic implications. *Geological Magazine*, 129, 239-242.
- Seyitoğlu, G., Scott, B.C. 1992b. Late Cenozoic volcanic evolution of the NE Aegean region. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 54, 157-176.

- Seyitoğlu, G., Scott, B.C. 1996. The cause of N-S extensional tectonics in western Turkey: Tectonic escape vs. Back-arc spreading vs. Orogenic collapse. *Journal of Geodynamics*, 22, 145-153.
- Stow, D.A.V., Huc, A.Y. and Bertrand, P. 2001. Depositional processes of black shales in deep water. *Marine and Petroleum Geology*, 18, 491-498.
- Şengör, A.M.C. 1979. The North Anatolian Transform Fault its age, offset and tectonic significance. *Journal of the Geological Society London*, 136, 269-282.
- Şengör, A.M.C., Yılmaz, Y., Ketin, I. 1980. Remnants of a pre-late Jurassic ocean in northern Turkey: fragments of Permo-Triassic Paleo-Tethys?. *Geological Society of America Bulletin*, 91(Part I), 599-609.
- Şengör, A.M.C., Yılmaz, Y. 1981. Tethyan evolution of Turkey: a plate tectonic approach. *Tectonophysics*, 75, 181-241.
- Şengör, A.M.C., Görür, N., Şaroğlu, F. 1985. Strike-slip faulting and related basin formation in zones of tectonic escape: Turkey as a case study, In: *Strike-slip Deformation, Basin Formation and Sedimentation* (Editors: K. Biddle, N. Christie- Blick), *Society of Economic Paleontologist and Mineralogist, Special Publication*, 37, 227-264.
- Şengör, A.M.C. 1987. Tectonics of the Tethysides: orogenic collage development in a collisional setting. *Annual Review Earth Planetary Science*, 15, 213-244.
- Şengüler, İ. 1982. Seyitömer (Kütahya) bitümlü marn sahasının jeolojisi ve ekonomik olanakları. MTA raporu, No:7324.
- Şengüler, İ. 1994. Bitümlü şeyl. *Türkiye Enerji Bülteni*, 1/1, 21/26.
- Şengüler, İ., Sonel, N. 1999. Seyitömer (Kütahya) bitümlü marnlarının stratigrafik özellikleri ve ekonomik önemi. *Türkiye Jeoloji Kurultayı*, 350-357.
- Şengün, M. 1993. Geologic evolution of the Anatolian segment of the Tethyan Belt, *Türkiye jeoloji bülteni*, 36/2, 81-98.
- Sun, P., Liu, Z., Gratzner, R., Xu, Y., Liu R., Li, B., Meng, Q., Xu, J. 2013. Oil yield and bulk geochemical parameters of oil shale from Songliao and Huadian basins, China a grade classification approach. *Vol: 30, No: 3*, pp 402-418.
- Tao, S., Tang, D. Z., Li, J. J., Xu, H., Li, S., Chen, X. Z. 2010. Indexes in evaluating the grade of Bogda Mountain oil shale in China. *Oil Shale*, 27(2), 179– 189.
- Tao, S., Tang, D.Z., Xu, H., Cai, J.L., Gou, M.F., Chen, Z.L. 2011. Retorting properties of oil shale found at the northern foot of Bogda Mountain, China. *Vol: 28, No:1*, pp 19-28.
- Tissot, B.P. and Éspitalié, J. 1975. L'évolution thermique de la matière organique des sédiments: Applications d'une simulation mathématique, *Rev. Inst. Fr. Pét.*, 30:743-777.
- Tissot, B. P. and Welte, D.H. 1978. *Petroleum formation and occurrence*, Springer – Verlag, Berlin.
- Tissot, B.P. and Welte, D.H. 1984. *Petroleum formation and occurrence*. Springer-Verlag, Berlin, 699 p.



- Türkiye Petrollerin Anonim Ortaklığı 2017 yılı ham petrol ve doğal gaz sektör raporu. Mayıs 2018, 17-36.
- Tran, K.L. and Philippe, B. 1993. Oil and rock extract analysis, in: Applied petroleum geochemistry (M.L., Bordenave, eds.), Paris.
- Tribovillard, N., Algeo, T.J., Lyons, T. and Riboulleau, A. 2006. Trace metals as paleoredox and paleoproductivity proxies: An update. *Chemical Geology*, 232, 12-32.
- Özburan M., Gürer. Ö.F. 2012. Late Cenozoic polyphase deformation and basin development, Kütahya region, western Turkey, *International Geology Review*, 54:12, 1401-1418.
- Varandas da Silva, L.S., Piovano, E.L., de Almedia Azevedo, D. and de Aquino Neto, F.R. 2008. Quantitative evaluation of sedimentary organic matter from laguna Mar Chiquita, Argentina. *Organic Geochemistry* 39, 450-464.
- Volkman, J.K. and Maxwell, J.R. 1986. Acyclic isoprenoids as biological markers. In: biological markers in the sedimentary record (R.B. Johns, ed.). Elsevier, New York, 1-42.
- Waples, D.W. 1985. Geochemistry in petroleum exploration, International Human Resources Development Corp., Boston.
- Wehner, H. 1989. Organic-geochemical studies in the Visayan basin, Philippines. *Gol. Jb.*, 70, pp. 317-348.
- Westaway, R. Pringle, M., Yurtmen, S., Demir, T., Bridgland, D., Rowbotham, G., Maddy, D. 2004. Pliocene and Quaternary regional uplift in western Turkey: the Gediz River terrace staircase and the volcanism at Kula. *Tectonophysics*, 391, 121-169.
- Yavuz, N., Ediger, V.Ş., Erler, A. 1995. Palynology, organic petrography and geochemistry of the Lower-Middle Miocene coals of the Tavşanlı basin (Kütahya), *Yerbilimleri*, 17, 87-100.
- Yavuz-Işık, N. 2007. Pollen analysis of coal-bearing Miocene sedimentary rocks from the Seyitömer basin (Kütahya), Western Anatolia. *Geobios*, 40, 701-708.
- Yeşiladalı-Bulkan, Ö., Yalçın, M. N. ve Mann, Ulrich. 2005. Himmetoğlu havzasındaki (Göynük-Bolu) kömür-bitümlü şeyl birlikteliğinin paleo-ortam koşulları. *İstanbul Üniv. Müh. Fak. Yerbilimleri Dergisi*, 18 (1), 81-97.
- Yıldırım, T., Burçak, M. 1997. Kütahya Harlek ılıcası jeotermal etüt raporu, MTA raporu, No:97-15A.
- Yılmaz, Y., Genç, Ş.C., Gürer, Ö.F., Bozcu, M., Yılmaz, K., Karacık, Z., Altunkaynak, Ş., Elmas, A. 2000. When did the Western Anatolian grabens begin to develop In: *Tectonics and magmatism in Turkey and the surrounding area. Journal of the Geological Society London, Special Publication* (Editors: Bozkurt E., Winchester, J.A., Piper J.D.A), 173, 353-384.
- Ziegler, K.G.J. 1939. Hırka (Beypazarı) ve Karaköy (Nallıhan) havalisindeki bitümlü şistler, MTA, Rapor No: 984.

## ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Uğur Zeki KIRAT  
Doğum Yeri : Şanlıurfa  
Doğum Tarihi : 15.07.1989  
Medeni Hali : Evli  
Yabancı Dil : İngilizce

### Eğitim Durumu (Kurum ve Yıl)

Lise : Şanlıurfa ÇEAŞ Anadolu Lisesi (2007)  
Lisans : Ankara Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Jeoloji Mühendisliği  
Bölümü (2014)  
Yüksek Lisans : Ankara Üniversitesi Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı

### Çalıştığı Kurum

Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü (2015)