

1. GİRİŞ

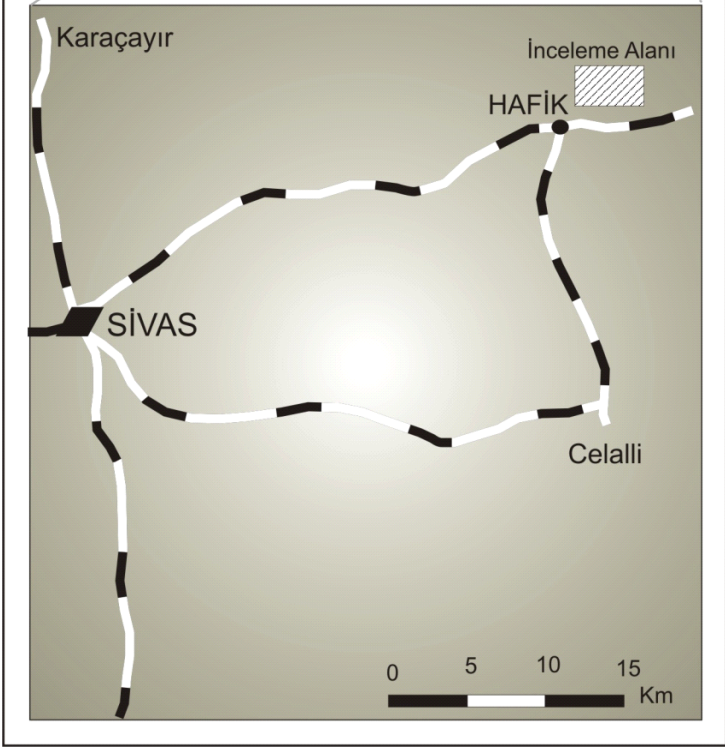
Ülkemiz de ve Dünya’da son zamanlarda artan enerji talebiyle birlikte fosil enerji yakıtlarının bilinen ancak ihmal edilen tükenebilir özelliği dikkat çekici bir boyuta gelmiştir ve tüm çalışmalar enerjinin etkin bir şekilde kullanımı, tasarrufu, daha az rezerve sahip petrol, kömür, doğal gaz gibi fosil enerji kaynaklarının yeniden incelenmesi, değerlendirilmesi ve yeni enerji kaynaklarının belirlenmesine yönelmiştir. Ülkemizde de tükenebilir enerji kaynaklarının rezervinin kısıtlı ve ülke ihtiyacını karşılayamıyor olması bu sıkıntının daha da etkin bir biçimde hissedilmesine neden olmuştur. Bu nedenle gelecekte yaşanacak enerji darboğazında kullanılmak üzere günümüzde yerel ve ekonomik olmayan özelliğe sahip ancak gelecekte ekonomik olarak kullanılabilir kaynakların araştırılması büyük önem taşımaktadır.

1.1. İnceleme Alanının Tanıtımı

İnceleme alanı Sivas iline bağlı Hafik ilçesinin Kuzey doğusunda yer almaktadır (Şekil 1.1). Sivas İ38 –b2 1/25 000 ölçekli paftalarının kesiştiği yaklaşık 60 km²’lik bir alanı kapsar (Ek 1). İnceleme alanında Hafik ilçesine bağlı Koşutdere, Bahçecik, Günyamaç, Özen, Ilıca, Akören, Kuşçu, Bulakbaşı gibi yerleşim yerleri bulunmaktadır.

Çalışılan alanda, Karadağ T. (1543 m), Yelgirmez Tepe (1684 m), Kırmızıbayır Tepe (1640 m), İnağzı Tepe (1483 m), Çaltepe (1873 m), Yanlıztepe (1557 m), Tarlatepe (1480 m), Sivri Tepe (1708 m), Çamtepe (1556 m), Horadun Tepe (1541 m), Hayık Tepe (1553 m), Kırıntıpuru Tepe (1567 m), Alıclı Tepe (1447 m),), Kuştepe (1405 m), Çunartepesi (1640 m), Çatal Tepe (1498 m), Boz Tepe (1462 m), Çoban Tepe (1514 m), Çiftlikpur Tepe (1846 m) ve Sarıkaya Tepe (1340 m) önemli yükseltileri oluşturur.

Ayrıca Karacahisar göleti, Lota gölü ve Kızılırmak da inceleme alanı sınırlarındadır (Ek 1).



Şekil 1.1. İnceleme alanının yerbulduru haritası

1.2. Amaç ve Kapsam

İnceleme alanının da içerisinde bulunduğu Sivas Havzası farklı disiplinlerde pek çok çalışmaya konu olmuştur. Sivas Havzası'nın bu kesiminde organik maddece zengin seviyelerin, özellikle de kalınlık ve yüzlek alanı sınırlı olan Üst Paleosen-Alt Eosen yaşlı kömürlerin organik jeokimyasal, organik petrografik ve kimyasal özelliklerinin incelenmesi ilk kez bu tez çalışması sırasında gerçekleşecektir.

Sivas Havzası'nda Hafik kuzeydoğusu civarında yüzeyleyen Bahçecik Formasyonu taban seviyelerinde bulunan kömürlü seviyelerinin makro ve mikro organik petrografik özellikleri, organik jeokimyasal yöntemlerle kömürün organik madde içeriği, tipi ve olgunlaşması ile hidrokarbon türüm potansiyellerinin belirlenmesi amaçlanmıştır. Tüm bilgiler değerlendirildiğinde bu bölgede gerçekleşen kömür oluşum süreci, çökelim ortam tipi, kömür kalitesi ve katı yakıt olarak kullanılabilirliği, kömürün organik petrografik, organik jeokimyasal özelliği, gazlaştırma, koklaştırma ve sıvılaştırma işlemleri açısından işlenebilirlik özellikleri, petrol ve gaz türüm potansiyelleri belirlenebilecektir. Son yıllarda dünyada özellikle Tersiyer olmak üzere Senozoyik yaşlı ve benzer özellik sunan kömürlerin organik jeokimyasal ve organik petrografik değerlendirmeleri ve hidrokarbon türüm potansiyelleri araştırmacıların ilgisini çekmektedir ve bu konuda önemli çalışmalar yapılmıştır (Jorgen ve diğ., 2001; Bechtel ve diğ., 2005; Korkmaz ve Gülbay, 2006; Avramidis ve Zelilidis, 2007).

1.3. İnceleme Yöntemleri

Tez çalışmasının ilk aşamasında inceleme alanı ve yakın civarında yapılan benzer amaçtaki çalışmaları belirlemek için literatür derlemesi yapılmış ve bu bilgilerden önemli ölçüde yararlanılmıştır.

İnceleme alanında ayrıntılı jeolojik haritalamaya gidilmemiş, Temiz (1994) tarafından hazırlanan 1\25 000 ölçekli harita çalışma amacı doğrultusunda düzenlenerek kullanılmıştır. (Ek 1). Kömürlü seviyelerin olduğu ve işletme yapılan alanın kömür jeoloji haritası bu çalışma sırasında ilk kez yapılmıştır (Ek 2).

Çalışma alanındaki birimleri en iyi şekilde temsil edeceği düşünülen lokasyonlardan 56 adet örnek alınmıştır. Genel mineralojik bileşimlerin belirlenebilmesi için 9 adet petrografik ince kesit yapılmıştır. C.Ü. Jeoloji Mühendisliği Mineraloji Petrografi (MİPJAL) laboratuvarında 34 adet örneğin XRD Tüm kayaç (XRD-TK) değerlendirmesi gerçekleştirilmiş, bu değerlerden kil miktarı fazla olan 13 örnekte XRD-Kil fraksiyonları (XRD-KF) incelenmiştir. 8 adet kömür örneğinden parlatma kalıbı hazırlanarak organik petrografik özellikleri belirlenmiştir. Ayrıca organik maddece zengin olduğu makroskobik gözlemlerle belirlenen 18 adet örnekte Türkiye Petrolleri Anonim Ortaklığı Araştırma Laboratuvar'ında TOC, piroliz analizi yaptırılmış, C.Ü. Jeoloji Mühendisliği Petrol Jeolojisi Laboratuvarında 10 adet örnekten ise kerojen slaytı hazırlanmıştır. 10 adet kömür örneğinin ise kimyasal ve elementer analizleri MTA Maden Analizleri ve Teknolojisi Dairesi Başkanlığı laboratuvarında yaptırılmıştır.

Çizelge 1.1. Çalışmada yapılan analiz türleri ve örnek sayıları

ANALİZ TÜRÜ	ÖRNEK SAYISI (ADET)
-------------	------------------------

Optik Mikroskopi	9
Kerojen slaytlarında organik petrografi değerlendirmesi	10
TOC- Piroiliz Analizi	18
Kömür örneklerinin üstten aydınlatmalı optik mikroskopi değerlendirmesi	8
Kömür örneklerinde kısa ve elementer analiz	10
XRD-TK	34
XRD-KF	13

Bu analiz ve uygulamalara ilişkin ayrıntılı bilgiler aşağıdaki ilgili bölümlerde sunulmaktadır.

1.3.1. X-Işını Kırınımı İncelemeleri

İnceleme alanındaki kömürlerin ve kömür yan kayaçlarının XRD-TK değerlendirmesi ile optik mikroskopi ile incelenemeyecek kadar küçük (submikroskopik) tane boyuna sahip tüm kayaç (XRD-TK) mineralojik bileşimlerinin ve kil boyu bileşenlerinin (XRD-KF) belirlenebilmesi amaçlanmıştır.

İnceleme alanına ait kömürlü düzeyler ve yan kayaçlardan alınan örnekler önce 3-5cm'lik parçalar halinde çekiçle, daha sonra Fritsch marka çeneli kırıcıda 5mm'den küçük taneler halinde kırılmış ve yine aynı marka silikon karbid çanaklı öğütücüde sertlikleri de dikkate alınarak yaklaşık 10-30 dk. süreyle öğütülmüştür.

Bu şekilde elde edilen toz malzeme naylon torbalara konulup etiketlendikten sonra, çözümlenmeye hazır konuma getirilmiştir. XRD çözümlenmeleri Cumhuriyet Üniversitesi Jeoloji Mühendisliği MİPJAL da Rigaku marka DMAX IIIC model X-ışınları difraktometresinde (Anot = Cu ($CuK_{\alpha}=1.541871\text{Å}$), Filtre = Ni, Gerilim = 35 kV, Akım = 15 mA, Gonyometre hızı = 2°/dak., Kağıt hızı = 2cm/dak., Zaman sabiti = 1 sn, Yarıklar = 1° 0.15 mm 1° 0.30 mm, Kağıt aralığı = $2\theta = 5-35^{\circ}$) yapılmıştır (Çizelge 1.2).

Çizelge 1.2. XRD çekimlerinde kullanılan aletsel koşullar

Koşullar	Tüm kayaç	Kil fraksiyonu	Kil fraksiyonu d(060)
Dalga boyu (λ)	CuK $_{\alpha}$ =1.541871Å		
Anot	Cu		
Filtre	Ni		
Gerilim	35 kV		
Akım	15 mA		
Yanklar	DS=1° SS=1° RS=0.15 mm RS _M =0.30 mm		DS=4°, SS=4°, RS=0.30 mm, RS _M =0.60 mm
Gonyometre / Tarama hızı (SS)	5°/dak.	2°/dak.	0.5°/dak
Adım genişliği (SW)	0.04°	0.02°	0.01°
Kağıt hızı	45 mm/dak.	16 mm/dak.	28 mm/dak.
Zaman sabiti	1 sn.	4 sn.	4 sn.
Kağıt aralığı	2 θ = 5-35°	2 θ = 2-30°	2 θ = 59-63°

XRD çözümlenmeleri sonucunda örneklerin tüm kayaç ve kil boyu bileşenleri (< 2 m) tanımlanmış ve yarı nicel yüzdeleri de dış standart yöntemi (Brindley, 1980) esas alınarak hesaplanmıştır. Tüm kayaçta dolomit, kil fraksiyonu için glikollü çekimlerden itibaren kaolinit referans olarak alınmıştır (Yalçın ve Bozkaya, 2002). d-mesafelerinin ölçülmesinde kuvars iç standart olarak kullanılmıştır. Kil minerallerinin tanımlanması çoğunlukla (001) bazal yansımalarına göre yapılmıştır

Fillosilikat/kil içeren kayaçlarda, bu minerallerin diğerlerinden ayrılması işlemleri C.Ü. Jeoloji Mühendisliği Bölümü Kil Ayırma Laboratuvarı'nda gerçekleştirilmiştir. XRD-KF çözümlenmeleri için gerekli kil ayırma işlemi esas itibarıyla kimyasal çözme (kil-dışı fraksiyonun uzaklaştırılması), santrifüjleme – dekantasyon / dinlendirme ve yıkama, süspansiyonlama - sedimentasyon - sifonlama - santrifüjleme ve şişelemeden oluşmaktadır. Santrifüjleme işlemi Heraeus Sepatech marka Varifuge 3.2 S model 5600 devir/dk hıza ve 200 cc kapasiteli metal kodelere sahip santrifüjde yapılmıştır. Ayrılmış her kil çamurundan üzerine sıvama veya kabarıp çatlayanlarda süspansiyon halinde üç adet yönlendirilmiş lam preparat hazırlanmış ve bunlar oda sıcaklığında kurutulmuştur. Kil fraksiyonu difraktogramları normal-N (havada kurutulmuş), glikolleme-EG (60 °C de 16 saat desikatörde etilen glikol buharında bırakma) ve fırınlama-F (490 C de 4 saat fırında ısıtma) işlemlerinden geçirilerek elde edilmiştir. Çekimlerde gonyometre hızı 1°/dak ve kayıt aralığı 2 θ =2-30° (hata miktarı \pm 0.04°) olarak ayarlanmıştır.

1.3.2. Organik Petrografi İncelemeleri

Makroskobik gözlemler veya petrografik ince kesit değerlendirmelerinde organik maddece zengin olduğu belirlenen örneklerde organik yoğunlaştırma yoluyla kerojen slaytları hazırlanmaktadır. Kerojen slaytlarının hazırlanması sırasında örnekler çeşitli analiz aşamalarından geçirilmektedir. Bunlar sırasıyla;

Oksitlenmiş ve altere olan kısımları temizlenmiş örneklerden şeyl için 25-30 g, karbonatlı kayaçlar için 50-60 g kadar kırılır ve birkaç kez dekantasyon işlemine tabii tutulur. Karbonatların yok edilmesi amacıyla % 33'lük hidroklorik (HCl) asit kullanılır (yaklaşık 50 ml). İşlem sonunda örneğin asitten ve tuzdan temizlenmesi amacıyla 3-4 kez dekantasyon işlemi yapılır.

Örnekteki silikatların temizlenmesi için de % 40'luk hidroflorik (HF) asit kullanılır. Plastik behere alınan örnek üzerine 30-40 ml kadar hidroflorik asit ilave edilerek 4 saat kadar beklenir. Reaksiyon tamamlandıktan sonra örnekler 3-4 kez dekantasyonu ile silikat tuzları tamamen atılır.

Karbonat ve silikatlarından temizlenen örnekteki çeşitli ağır minerallerin ve diğer inorganik bileşenlerin atılması için özgül ağırlığı 2.0-2.5 arasında olan çinko klorür ($ZnCl_2$) veya çinkobromür ($ZnBr_2$) kullanılmaktadır. Yukarıda bahsedilen işlemlerden oldukça susuz bir biçimde çıkarılan örnekler cam tüplere alınır ve üstlerine ağır sıvı eklenerek, 3000 devirde 2 dakika santrifüjlenir. Organik maddeler tüpün üst kısımlarında birikirken, inorganik maddeler alt kısımlarda çökelmektedir. Tüpün üst kısmında biriken organik maddeler bir damlalık yardımı ile başka tüplere aktarılır. Organik maddenin ağır sıvıdan arındırılabilmesi için 3-4 kez dekantasyon işlemi yapılır.

Ayrılan organik madde önce alkol sonra da saf su ile yıkanarak temizlenir ve küçük tüplere alınarak slayt yapılabilecek hale getirilir. Hazırlanan bu organik madde slayt yapımı için sulandırılır ve bundan 4 ml kadar alınarak başka bir cam tüpe aktarılır. Slayt yapımı için yeterli homojenlik sağlandıktan sonra bir damlalık yardımıyla bir miktar alınarak lam üzerine yayılır. Kuruduktan sonra üzerine de bir lamel hava kabarcığı kalmayacak biçimde yapıştırılır. Lamın kenarına örnek numaraları yazılarak, alttan aydınlatmalı mikroskopta incelenecek duruma getirilir.

Kerojen slaytlarının alttan aydınlatmalı mikroskoptaki incelemesinde 4 tip organik madde türü ayırtlanır. Bunlar;

Algal-amorf; Algal malzemenin bozulması veya genellikle planktonlar ve diğer basit yapılı organizmalardan bakteri etkinliği sonucu oluşur. Hidrojence zengin olup petrol türetme potansiyelleri ve floresans şiddetleri yüksektir.

Otsu; Denizel alg, spor, polen, fosil rezinlerinden oluşur. Petrol türetme potansiyelleri amorf organik madde grubuna göre az olmakla birlikte vardır. Floresans özellik görülür.

Odunsu; Genellikle karasal kökenli organik maddeden oluşur. Yağlı ve mumsu bileşenleri olmayıp selüloz ve lignin görülür. Gaz türetme potansiyeline sahiptir.

Kömürsü; Farklı kökenlere sahip yüksek okside malzemedan türer. Herhangi bir hidrokarbon türetme potansiyeli yoktur. Floresans özellikleri yoktur.

1.3.3. Kömür Petrografisi İncelemeleri

İnceleme alanındaki kömürlerden alterasyon etkisinin en az olduğu derinliklerden (minimum 30 cm) mekanik kazma yoluyla yaklaşık 1-1,5 kg örnek alınmıştır (Şekil 1.2). Bu örnekler oksidasyon etkisinden korunması ve kimyasal özelliklerini kaybetmemesi için naylon örnek torbalarında örnek numarası verilerek korunmuş daha sonra laboratuvarında gerekli işlemler uygulanmıştır.



Şekil 1.2. Laboratuvar incelemeleri için alınan bir kömür örneği (H-38 nolu örnek)

Örneklerin parlatma blokları (briketleri) haline getirilmesi ve parlatılması M.T.A. Maden Analizleri ve Teknolojisi Dairesi Mineraloji - Petrografi Servisi'nde gerçekleştirilmiştir.

Yaklaşık 1 mm boyutundaki öğütülmüş örnekler havada 1 – 2 gün kurutularak, özel mekanik bölücülerle azaltılmış ve yaklaşık 3 cm çapındaki özel plastik örnek kaplarına, içinde % 96'sı polyester, % 2'si katalizör ve % 2'si de sertleştirici olan bir sıvı ile birlikte konmuş ve sertleşmesi için beklenmiştir (Şekil 1.3). Bu örneklere daha sonra parlatma işlemleri uygulanmıştır. Parlatma işlemi iki ayrı aşamada yapılmıştır;

İlk aşama kaba parlatma olup, bu aşamada, örneğin parlatılacak yüzeyinin, dönen diskler üzerinde, 250, 400, 600 ve 800 mesh boyutundaki farklı büyüklükteki parlatma tozlarının su ile birlikte diskler üzerine dökülmesi ve örneği bu diskler üzerinde kaba taneliden, ince taneliye doğru, diskin dönmemesinin tersi yönünde çevrilerek parlatılması sağlanmıştır. Aşındırıcı korund tozlarının tane boyutunun küçülmesi ile aşındırma özelliği de daha ince ve daha az olmaktadır. Her bir parlatma seviyesinden diğerine geçerken, örnek dikkatlice yıkanmış ve herhangi bir toz tanesinin kalması engellenmeye çalışılmıştır.



Şekil 1.3. Kömür örneklerinin laboratuarda parlatma kalıp hazırlama aşaması (MTA Laboratuvarı)

Örnek hazırlamanın ikinci aşaması parlatmadır. Bu aşamada, solüsyon haline getirilmiş, çok daha ince boyuttaki parlatma tozları, özel bez ile kaplanmış diskler üzerine konarak, ilk aşamadan geçirilmiş ve temizlenmiş örneklerin bu diskler üzerinde, daha önce anlatıldığı şekil ve uygulama yöntemi ile parlatılmıştır (Şekil 1.4). Örnekler için, 1000 mesh büyüklüğünde korund tozu ve 0,05 mikron boyutundaki Al_2O_3 tozu, su ile süspansiyon haline getirilmiş ve örneğin ince parlatılma aşamasında bu süspansiyon veya 0,05 mikronluk elmas tozu spreylere kullanılmıştır. Kil oranı yüksek örnekler için parlatma aşamasında su yerine "etil alkol" kullanılmıştır.

İnceleme alanında bulunan kömürlerin petrografik analizleri kömür petrografisi standart ve prensiplerine uyularak gerçekleştirilmiştir (Stach et al., 1982 ve ASTM, 1983). Örnekler her adımda oksitlenmiş olması ihtimali göz önüne alınarak, çok ince elmas tozu püskürtülmüş, ince parlatma ve temizlenme işlemi uygulanmıştır.

Kömürlerin petrografik olarak incelenmesi üstten aydınlatmalı mikroskopla yapılmıştır. Kömürlerin mikroskopik olarak

incelenebilen bileşenleri; maseralar, maseral grupları, mikrolitotipler ve inorganik maddeler'dir. Parlatılmış örnekler, önce "32x" büyültmeli yağlı objektifle ve 20 bölmeli "10x" büyültmeli okülerle taranmıştır. Örnekler daha sonra "20x" büyültmeli yağlı objektif ve "10x" büyültmeli, 20 özel bölmeli okülerle, mikrolitotip analizi için nokta sayımına tabi tutulmuştur.

Daha sonra örneklerin aynı büyültme ve 546 nm'deki yansıma değerleri (önce Rmax. ve Rmin. değerleri) ayrı ayrı, standartlara da uygun olarak ölçülmüştür (Stach et al.,1982). Yansıma ölçümleri Leitz MPV - SP marka mikroskopla gerçekleştirilmiştir. Yansıma ölçümleri için 32x ve 50x yağlı objektifleri kullanılmış ve standartlara uygun şekilde (Stach et al., 1982) gerçekleştirilmiştir. Örneklerde yansıma ölçümlerinde kırılma indisi (n) 1,518 olan özel yağlar kullanılmış, Yansıma değerleri için de safir (R= % 0,548) ve cam (R= % 1,23) standartları kullanılmıştır.



Şekil 1.4. Kömürlere ait parlatma bloklarının döner diskler ile parlatılma aşaması (MTA Laboratuvarı)

Yansıma ölçümleri için Leitz'in "MPV Geor" ve spektral ölçümleri için "Spectra" software programları kullanılmıştır.

Yansıma ölçümleri için ilk önce ‘‘MPV Geor’’ programının Rmax, Rmean ve Rmin programı kullanılmış, bu ölçümler için iki ayrı kez örnekler taranarak ölçümler gerçekleştirilmiştir. Ölçümlerin çoğu hüminit maseralleri ülminit ve teksto ülminitlerden yapılmıştır.

1.3.4. Kömürlerin Organik Jeokimyasal İncelemeleri

Rock Eval Piroliz Analizi

Piroliz analizi kerojen tipi ile olgunlaşma düzeyinin belirlenmesi için Rock-Eval cihazının kullanıldığı bir analiz tekniğidir. Özellikle petrol ve kömür gibi fosil yakıtların temel bileşimini organik maddeler oluşturur ve kerojende suda çözünmeyen bir organik bileşimdir. Kerojen, herhangi bir organik çözücüde çözünmediğinden, ısıl olarak parçalanır ve bu olaya piroliz denir. Cihazın çalışma prensibine göre, analiz iki kısımda gerçekleşmektedir. İlk kısım piroliz olup, 100 mg öğütülmüş örnek oksijensiz bir ortamda (helyum veya nitrojen gazı) belirli bir sıcaklık programı uygulanarak 550°C'ye kadar ısıtılır. 90°C de S1 piki ile kaya içindeki serbest hidrokarbonlar, 300–550 °C arasında ise S2 piki ile kerojenin parçalanmasında ortaya çıkan hidrokarbonlar oluşur. Oluşan bu hidrokarbonlar Alev iyonlaştırma dedektörü ile ölçülür. S2 pikinin maksimum olduğu noktadaki sıcaklık Tmax olup, kerojenin olgunluk düzeyinin saptanmasında kullanılır. İkinci kısımda ise hava yardımıyla 600°C de yanma sağlanır. Oluşan CO₂ gazı Isı iletken dedektöründe ölçülerek kayacın toplam organik karbon miktarı belirlenir.

Rock Eval analizi sırasında elde edilen bazı parametreler şunlardır;

S1; Piroliz sırasında 300 °C ye kadar çıkan serbest hidrokarbonlar (mg HC/g kaya)

S2; 300 °C den sonra kerojenin ısıl parçalanması ile oluşan hidrokarbonlar (mg HC/g kaya)

S3; 400 °C nin altında oluşan CO₂ (mg CO₂/g kaya)

Tmax; Hidrokarbon oluşumunun maksimum olduğu evredeki sıcaklık; (°C)

Hidrojen İndeksi; HI: S2/TOC *100 (mg HC/g TOC)

Oksijen İndeksi; OI: S3/TOC *100 (mg CO₂/ g TOC)

Üretim İndeksi; PI: (S1/PY) Kayada hazır halde bulunan hidrokarbonlar,

Potansiyel Verim veya Jenetik Potansiyel; S1+S2: PY (mg HC/g kaya). Petrol türüm potansiyeli.

RC: Kalıntı Karbon

PC: Piroliz edilen karbon

HI değerleri kayanın içindeki kerojenin hidrojençe, OI ise oksijençe zenginliğini temsil etmektedir. Genel olarak 200 değerinden büyük HI değerleri petrol türümüne uygun organik maddeyi işaret eder.

Üretim indeksi (PI) kayanın içinde hazır halde bulunan sıvı hidrokarbon oranını gösterir ve kayacın olgunlaşması ile birlikte artar. Tmax ve PI verileri pirolizden elde edilen en yaygın kullanılan olgunluk verileridir ve elde edilebildiği koşullarda özellikle Vitrit Yansıması ölçümleri ile PI değerleri karşılaştırmalı olarak kullanılır.

1.3.5. Kömürlerin Kimyasal Özellikleri

Analizler için araziden alınan kömür örnekleri önce 1 gün süreyle açık havada kurutulmuş ve daha sonra örnek hazırlama laboratuvarında ufalanmış, öğütülmüş ve elenmiştir. Bunun için çeneli kırıcı, merdaneli öğütücü ve 18 meşlik elek kullanılmıştır. Elek üzerinde örnek kalmayınca kadar bu işleme devam edilmiştir. Hazırlanan kömür örnekleri bölücü yardımıyla dörde ayrılmıştır. Ayrılan birinci kısım kimyasal analizler, ikinci kısım petrografik analizler, üçüncü kısım palinolojik yaş tayini için kullanılmaktadır. Dördüncü kısım ise şahit örnek olarak saklanmıştır.

Kimyasal analizler için ayrılan örnekler ikinci kez öğütülmüş ve elenmiştir. Bunun için 60 meşlik elek kullanılmış ve örneklerin tümü bu elekten geçirilmiştir. Elenen bu kömür örneklerinin havada oksitlenmemesi için naylon torbalarda saklanmıştır.

Kimyasal analizler yapılırken kuvars, krom ve platin kroze kaplar kullanılmıştır. Nem analizi için etüv fırınlar, kül tayini için, yüksek sıcaklık fırın, kalori değerlerinin saptanması için, IKA 4000 adyabatik Kalorimetre cihazı ve kükürt ölçümleri için ise Leco kükürt cihazı kullanılmıştır.

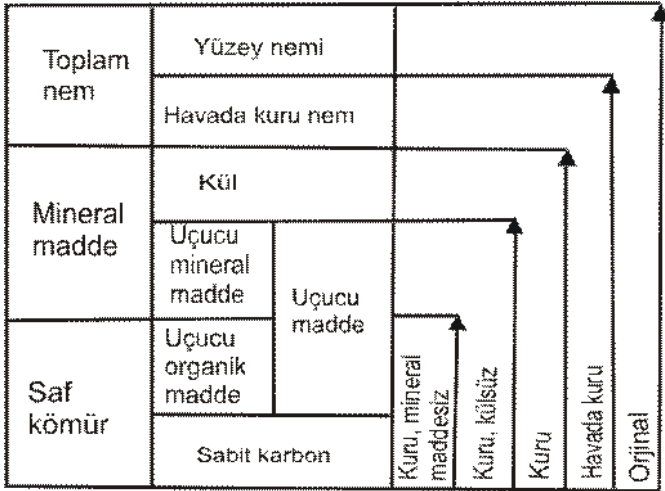
Analiz sonuçlarının değerlendirilmesinde değişik kömür bazları kullanılır (Şekil 1.5). Bunlar kısaca;

Orijinal baz; Örneğin alındığı durumdaki analiz değerleri,

Kuru, Külsüz baz; Kömürün külü ve nemi çıkarıldıktan sonraki analiz değerleri,

Havada kuru baz; havada kurutulmuş kömürün analiz değerleri,

Kuru mineral maddesiz baz; Külden ziyade toplam mineral madde miktarının belirlenmesiyle bulunan değerler şeklinde belirtilebilir.



Şekil 1.5. Kısa analizlerin farklı bazlardaki durumu (Ward, 1984)

Nem Analizi

Kömürlerde nem; kaba nem (kömür örneğinin kırık-çatlak yüzeylerinde oluşan ve havada kurutulmuş/yaklaşık 40 C° de kaybettiği yüzey nemi) ve bünye nemi (minerallerin hidrasyon suyu) olarak iki şekilde bulunur. Havada kurutma herhangi bir kömür analizinin ilk adımını oluşturmaktadır ve kurutma sonucunda kömürde kalan nem havada kuru nem olarak bilinir. Kömürlerin nem içeriği; teknolojik uygulamalarda, yüksek verim ve/veya kaliteli ürün eldesi açısından önemli bir parametredir.

Orjinal nem; kömürün örneklendiği, satın alındığı veya laboratuara getirildiği durumdaki toplam nem miktarını gösterir. Toplam nem, kömürün havada kurutulmasıyla kaybolan nem miktarı (yüzey nemi) ile havada kurutulmuş kömürdeki nem miktarının toplanmasıyla bulunur ve belirli tane büyüklüğündeki kömürün, vakum veya azot atmosferi altında yaklaşık 110 C° de kurutulmasıyla da doğrudan bulunur. Özellikle linyitlerdeki ısı değeri azaltması ve taşınma, zenginleştirme işlemlerinde problem yaratması nedeniyle nem, kömürler içinde istenmeyen bileşendir.

Nem içeriği, kömürleşmenin başlangıç aşamasında oldukça yüksek olup turba-linyit ayrımında nispeten iyi bir diyajenetik parametre olarak kullanılmaktadır. Nem içeriği azaldıkça, orijinal kömür bazında ısı değeri aynı ölçüde artmaktadır. Orijinal bazdaki örneğin nemi toplam nem olup havada kuru baz ve yüzey nemini içerir. Nem içeriğindeki azalma, büyük oranda gözenekliliğin azalışıyla ve daha az oranda fonksiyonel grupların bozunmasıyla ilişkilidir

Nem analizi yapılacak örnekler havada kurutulduktan sonra nem miktarı ölçülür. Suyun miktarı kömürün kömürleşme derecesi ile ilgili olup, kömürleşme derecesi arttıkça sıkışmaya bağlı olarak su miktarında azalma izlenir.

Bu analiz, tartılan yaklaşık 1 g kadar örneğin 2 saat süreyle sıcaklığı 100±5 °C 'de sabit tutulan etüvde kurutulmasıyla yapılmıştır. Analizi yapılan örneğin ağırlıkça nem yüzdesi , aşağıdaki formül yardımıyla hesaplanmaktadır.

$$\text{Nem Yüzdesi(Madb)} = \frac{M_2 - M_3}{M_2 - M_1} \times 100$$

- M1=110 5C'da sabit tartıma getirilmiş boş krozenin gram miktarı,
M2= Kroze + nemli örneğin gram miktarı,
M3= Kroze + kurutulmuş örneğin gram miktarı

Kül Analizi

Bu analizde; tartılan yaklaşık 1 g kadar örnek 750 ±20 °C olan fırında toplam 4 saat süreyle yakılır. Bu işlem yeterli hava sirkülasyonuna sahip soğuk fırınlara içinde örnek olan krozelerin yerleştirilmesi ile gerçekleştirilir. Fırın sıcaklığı birinci saatin sonunda 500 °C 'ye, ikinci saatin sonunda 750 °C'ye ulaşacak şekilde kademeli olarak artırılır. Külleştirme işlemi ise; 750 °C' de 2 saat süreyle yapılır. Bu süre sonunda katı kalıntıda halen tam yanmamış kömür gözlemlendiğinde yakma işlemine devam edilir.

Analizi yapılan örneğin ağırlıkça kül yüzdesi, aşağıdaki formülle hesaplanır.

$$\text{Kül yüzdesi (Aadb): } \frac{M_3 - M_1}{M_2 - M_1} \times 100$$

M1: 750 20 C 'de sabit tartıma getirilmiş boş krozenin gram miktarı

M2: Kroze + örneğin gram miktarı

M3: Kroze + külün gram miktarı

Havada kurutulmuş kömür bazında yukarıdaki formülle bulunan kül yüzdesinin, kuru kömür bazındaki kül yüzdesi ise aşağıdaki formül kullanılarak hesaplanmıştır.

$$\text{Kuru Kömürde \% Kül İçeriği (Aadb)} = \frac{\text{Aadb}}{(100 - \text{Madb})} \times 100$$

Uçucu Madde Analizi

Uçucu madde analizi; kömürün havasız ortamda ısıtılmasıyla oluşan ürünlerini kapsar. Bir kömür örneği ağzı kapalı kuvars kroze içerisinde yaklaşık 1 g örnek 950 ±20 °C de hava almadan 7 dakika fırında ısıtılacak olursa uçucu maddeler gaz veya buhar şeklinde kömürlerden ayrılır. Geriye karbonca zengin katı kalıntı kalır. Bu uçucu maddeler aslında kömür içerisinde gaz halinde bulunmazlar. Isınma esnasında kömürde oluşan ayrışma sonucunda meydana gelirler. Uçucu maddenin miktarı ile geriye kalan katı kalıntının görünüşü kömür cinslerinin ayırt edilmesinde önem taşır. Katı kalıntı linyitte siyah, toz halinde iken, taşkömüründe gri, parça şeklindedir. Analiz sonucunda havada kurutulmuş kömürdeki uçucu madde miktarı aşağıdaki formül yardımıyla hesaplanır.

$$M_2 - M_3$$

Uçucu Madde yüzdesi : (UMadb) [----- x 100] - Nem

$$M_2 - M_1$$

M1: 950 20C'de sabit tartıma getirilmiş boş, kapaklı krozenin gram miktarı

M2: Kroze + örneğin gram miktarı

M3: Kroze + ısıtma sonrası örneğin gram miktarı

Kuru ve kuru-külsüz kömür bazlarındaki uçucu madde yüzdeleri ise aşağıda verilen formüller kullanılarak hesaplanmıştır.

Kuru kömürde

$$\% \text{ Uçucu Madde (UMdb)} = \frac{\text{UMadb}}{[100 - \text{Madb}]} \times 100$$

Kuru-külsüz kömürde

$$\% \text{ Uçucu Madde (UMdaf)} = \frac{\text{UMadb}}{[100 - (\text{Madb} + \text{Aadb})]} \times 100$$

$$\text{Kuru, mineralsiz-maddesiz Kömür sabit karbon} = \frac{\text{SKadb} - 0.15 \times \text{TSadb}}{[100 - (\text{Madb} + 1.08 \times \text{Aadb} + 0.55 \times \text{TSadb})]} \times 100$$

Kuru, mineral-maddesiz kömürde

$$\text{Uçucu madde yüzdesi (UMdmmf)} = 100 - \text{SKdmmf}$$

Sabit Karbon Değeri

Sabit karbon değeri örneklerde doğrudan analiz edilmemekte ve değerler arasındaki farktan hesaplanmakta, örneğin havada kuru bazda, sabit karbon; nem, kül ve uçucu madde yüzde değerleri toplamının yüzden çıkartılmasıyla bulunmaktadır.

$$\% \text{ Sabit Karbon (bk), (hkb)} = 100 - ("a1" + "b1" + "um1")$$

(a1: Nem, b1: Kül, um1: Uçucu madde)

Isı Değeri Analizi (Kalori)

İncelenen örneklerin ısı değerlerinin belirlenebilmesi için kömür örnekleri, bilgisayar kontrollü kalorimetre cihazıyla tayin edilir. Bu analiz için yaklaşık 0.0001 g hassasiyetle tartılan yaklaşık 1 g kömür örneği kalorisi bilinen 10 cm 'lik telle preslenir. Daha sonra kalorimetre bombasına yerleştirilir ve tümüyle kalorimetre bilgisayar kontrolü ile çalıştırılarak yakma işlemi başlatılır. Isı tayini yaklaşık 10-12 dakika sürer. Kalorimetreden elde edilen ısı değeri, havada kurutulmuş kömürdeki üst ısı değeri (GCV) olarak bilinmektedir. Bu ısı değerinden Nakoman 'da (1971) verilen formüller kullanılarak alt ısı değeri (NCV) hesaplanır.

Alt ısı değerinin değişik kömür bazlarındaki değerleri aşağıda verilen formüller kullanılarak hesaplanabilir.

$$\text{Kuru kömürde alt Isı değeri (NCVdb)} = \text{GCVdb} - \frac{H}{100} \times \frac{100 - \text{Adb}}{100} \times 5400$$

$$\text{Kuru kömürde üst ısı Değeri (GCVdb), Kcal/kg} = \frac{\text{GCVadb}}{100 - \text{Madb}} \times 100$$

Ve H: Saf kömürün hidrojen içeriği

$$\text{Kuru-külsüz kömürde alt Isı değeri (NCVdaf)} = \frac{\text{NCVadb} + 6x \text{ Madb}}{100 - (\text{Madb} + \text{Aadb})} \times 100$$

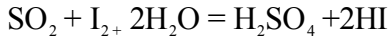
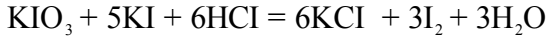
Isıl değerlerin ifadesinde Amerika ve İngiltere 'de Btu/lb (British Coal GJ/ton), Güney Afrika ve Avustralya ' da MJ/kg, diğer ülkelerde ve ülkemizde ise kcal/kg kullanılır. Birimler arasında ise 1 cal/g=1 kcal/kg, 1 kcal/kg=1,8 Btu/lb ilişkileri vardır.

Toplam Kükürt Analizi

Elementer analizde kükürt, sadece toplam kükürt olarak analiz edilmektedir. Piritik ve sülfat kükürtünün miktarları ise kimyasal analizlerle değerlendirilmektedir. Organik kükürt, piritik ve sülfat kükürtünün toplam kükürt içeriğinden çıkartılmasıyla

saptanmaktadır. Kömürdeki azot içeriği gibi kükürt içeriği de hava kirliliği ve korozyona neden olmasından dolayı istenmeyen bileşenlerdir. Örneğin elektrik üretimi için kullanılacak kömürlerde havada kuru bazda kükürt içeriğinin % 0.8-1.0' ı geçmemesi istenir (Kural, 1998). Çimento fabrikalarında, %2 kükürt içeriği kabul edilebilir sınırdır. Ancak, koklaşabilir kömürlerde sıvı ham demir ve çelik kalitesiyle yüksek fırın çalışma koşullarını etkilemesi nedeniyle havada kuru bazda bu miktarın maksimum % 0.8 olması beklenir.

Bu analiz kömür örneğinin yüksek sıcaklıkta otomatik kükürt cihazında yakılmasıyla gerçekleştirilir. Tüp fırında 0.0001 g hassasiyette tartılan yaklaşık 0.5 g kadar örnek, yaklaşık 1350 °C 'de 9 dakika süreyle yakılır. Toplam kükürt miktarının bulunması sırasındaki reaksiyonlar, aşağıda verilen denklemlere göre geliştirilmiştir.



Kömür örneği, yüksek sıcaklıkta oksijen akımında yakıldığında kükürt, SO_2 'ye dönüşür. Oluşan H_2SO_4 miktarından toplam kükürt miktarı bulunur.

Kuru kömürde toplam kükürt yüzdesi aşağıdaki formüle göre hesaplanır.

$$\text{Kükürt yüzdesi (TSdb)} = \frac{\text{TSadb}}{100 - \text{Madb}} \times 100$$

Kömürlerin Karbon (C), Hidrojen (H) ve Azot (N) İçerikleri

Kömür yandığında hidrojen ve karbon elementlerinin CO_2 ve H_2O olarak açığa çıkması nedeniyle (Carpenter, 1988) kömürün içerdiği karbon ve hidrojenin saptanması amacıyla geliştirilmiş olan yöntemlerin tümü, belirli ağırlıktaki kömürün kapalı bir sistemde yüksek sıcaklıkta (örneğin 1200 °C de) yakılarak oluşan karbondioksit ile suyun adsorbsiyonuna dayanır.

1.4. Önceki Çalışmalar

İnceleme alanının yer aldığı Sivas Tersiyer Havzası'nın orta ve doğu kesiminde tektonik, paleontolojik, stratigrafik ve hidrokarbon türüm özelliklerini kapsayan bir çok jeolojik amaçlı çalışma bulunmaktadır.

Yöredeki ilk çalışmalar paleontolojik amaçlı olup Blumenthal (1937) ve Stchepinsky (1939) tarafından yapılmıştır. Araştırmacılar, Sivas ve güneyinde yüzeyleyen denizel Miyosen çökellerindeki makro fosil topluluklarının ilk ayrıntılı tanımlamasını yapmış ve jipsli serilerin yaşını Oligosen olarak belirlemişlerdir.

Blumenthal (1950) tarafından, Orta ve Aşağı Yeşilirmak yörelerinde Paleozoyik, Mesozoyik ve Tersiyer yaşındaki çeşitli birimler ayırtlanıp, bölgenin tektoniği açıklanmaya çalışılmıştır.

Yalçınlar (1955), Sivas-Hafik-Zara-Kangal-Yıldızeli arasında kalan ve genel olarak Kızılırmak Vadisi'nin yukarı kesimine karşılık gelen bölgede 1/100 000 ölçekli jeolojik haritalama gerçekleştirmiştir. Çalışmacı Paleozoyik yaşlı mikasıst,

kuvarslı şistler ile mermerin varlığından söz etmekte ayrıca bu kayaçların, Karaçayır yakınından geçen ve doğrultusu doğu-batı uzanımlı olan, üstü açılmış bir antiklinal oluşturduğunu belirtmektedir.

Arpat (1964), Gürlevik Dağı civarının petrol imkanlarını kapsayan çalışmasında, yöredeki en yaşlı birimin Üst Kretase yaşlı kireçtaşları olduğunu, bu birimin üzerine Söğütlü Karmaşığı ve Bozbel Formasyonu'nun geldiğini, Başyurt Formasyonu'nun Bozbel Formasyonu içerisinde güneye doğru kamalandığını belirtmiştir. Oligosen seviyelerinin üzerinde ise Alt Miyosen yaşlı Celalli Grubu açılı uyumsuzlukla yer almaktadır. Ayrıca Üst Kretase yaşlı Gürlevik Kireçtaşlarının petrol içerebileceği de ileri sürülmüştür.

Sungurlu ve Soytürk (1970), Sivas Havzası ve civarındaki çalışmalarında, Jura-Alt Kretase yaşlı kireçtaşlarının iyi hazne ve anakaya özellikleri olmasına karşın, petrolün yataklanması için gerekli koşulları taşımadıkları ve petrol potansiyeline sahip olmadıklarını savunmuştur

Kurtman (1973), Sivas – Hafik – Zara ve İmranlı bölgesindeki çalışmasında, Sivas Havzası'nın temelinin metamorfiklerden oluştuğunu ve metamorfikler üzerinde görülen en yaşlı sedimentin kalker fasiyesinde gelişmiş Üst Kretase tabakaları olduğunu belirtmiştir. Bu çalışmaya göre, Tersiyer, kalker fasiyesinde gelişmiş, Paleosen tabakaları ile Üst Kretase üzerinde konkordan olarak, Eosen, volkanik ara katkıları içeren filiş fasiyesinde gelişmiştir. Oligosen, jipsli alacalı renkli kumtaşı ve silt taşlarından oluşmuştur. Miyosen ise, jipsli alacalı kumtaşları ile kalker ve mam tabakalarının yanal geçişi şeklinde görülmektedir. Neojen, kaba klastiklerle tatlı su kalker tabakalarından oluşmuştur.

Gökçen (1981), Zara-Hafik Bölgesi'ndeki çalışmasında, Celalli-Karayün civarındaki Oligosen istifinin en üst seviyelerinde ve jipsli serilerin tabanındaki marnlarda bulunan fosillerin Miyosen yaşını gösterdiğini belirtmiştir. Eosen istifinin orta seviyelerinde de arazi gözlemlerine göre yanal devamlılığa sahip "Petrollü Kanal Dolguları" saptanmıştır.

Meşhur ve Aziz (1980) tarafından Sivas Baseni'nin jeolojisi ve hidrokarbon olanaklarının incelendiği çalışmada, Üst Kretase yaşlı Tecer kireçtaşlarının hazne kaya, Eosen yaşlı Bozbel Formasyonu şeyllerinin orta-iyi nitelikli ana kaya olabileceği, Eosen sonrası birimlerin ise petrol oluşumu açısından herhangi bir değer taşımadığı belirtilmektedir.

Gökçen (1982), Zara-Hafik (Sivas) ve Refahiye (Erzincan) bölgesinde yüzeyleyen Eosen yaşlı kayaçların sedimanter petrolojik karşılaştırmasında, Refahiye alt basenine ait kumtaşlarının birinci derecede ultrabazik/ofiyolitik; ikinci derecede ise asit magmatik ve metamorfik kökenli kayaçlardan türediğini, Zara-Hafik yöresinde ise kumtaşlarının birinci derecede asit magmatik, metamorfik; ikinci derecede ise ofiyolitik/ultrabazik kökenden beslendiğini belirtmektedir.

Gökçen ve Kelling (1985) tarafından, Sivas Havzası'nın orta kesiminde Celalli (Hafik) yöresinde yüzeyleyen Oligosen-Miyosen yaşlı kayaların sedimantolojik özellikleri incelenmiş ve dört farklı litostratigrafik ünite ayırtlanmıştır. Bunlardan ilk ikisinin içerdikleri Ostracoda faunasıyla Orta Oligosen, üçüncü ünitenin Oligosen ve dördüncü ünitenin ise Alt Miyosen yaşında olduğu belirtilmiştir.

Norman (1990), Hafik (Sivas) kuzeyinde yer alan melanaj kuşağının yapısal gelişimini incelediği çalışmada, kuzeyde Akdağ metamorfikleri ile güneyde yer alan Asmadağ metamorfikleri arasında, ofiyolitik melanajın çeşitli birimlerinin (Kampaniyen-Erken Maestrihtiyen) yer aldığını ve melanajın Orta Paleosen, Erken Oligosen ve Geç Pliyosen'de, K-G yönlü kompresif tektonizmalarla hareket ederek, eski birimlerden kopan blokları içerdiğini belirtmektedir.

Gökten ve Kelling (1991), Hafik kuzeyinde Senozoyik istifinin stratigrafisini ve tektoniğini inceleyerek, havzadaki derin

ve sıg kökenli tortularla, karasal oluşukların birbirleriyle geçişli olduğunu, bölgede ofiyolitli melanj üzerinde Paleosen yaşlı Özderesi Formasyonu'nun uyumsuzlukla yer aldığını belirterek, Oligosen yaşlı Hafik Formasyonu, Orta Miyosen yaşlı Günyamaç Formasyonu ve Pliyosen yaşlı Karadağtepe Formasyonları'nı tanımlamışlardır.

Poisson ve diğ., (1992), Hafik (Sivas) kuzeyinde yapmış oldukları çalışmada, jipsli çökellerin Alt Miyosen yaşlı denizel çökellerin tabanında yer aldığını ve bölgenin K-G yönlü kısalmaya ve buna bağlı olarak da Tersiyer çökellerinin önemli oranda tektonik kalınlaşmaya sahip olduklarını belirtmişlerdir.

Temiz (1994), Sivas Tersiyer Havzası'nın tektonostratigrafi, tektonik deformasyon biçimi, kinematiği ile Üst Miyosen'den günümüze gerçekleşen kısalma miktarını inceleyen çalışmasında, havzanın doğu ucunda yer alan Kemah (Erzincan) ve orta kesiminde yer alan Hafik (Sivas) yörelerinin ayrıntılı jeolojik incelemesini gerçekleştirmiştir. Bu çalışmaya göre; Kemah (Erzincan) ve Hafik (Sivas) yöresinde Sivas Tersiyer Havzası'nın tektonik deformasyon biçimi genelde K-G yönlü sıkışma altında gelişen, havza kayalarının kısalmasını sağlayan bindirme sistemiyle belirlenmiştir.

Özçelik ve Altunsoy (1996), Sivas Havzası'nın doğusunda yaptıkları provenans ve organik fasiyes çalışmasında organik madde içeriğinin Tip III kerojen baskın olduğu, illit kristalleşme göstergeleri ve vitrinit yansıma verilerine bağlı olarak organik madde gelişiminin katajenetik evre ile uyumlu olduğu sonucuna varmıştır. Ayrıca, Hafik'in güneyinde Bozbel Formasyonu'ndaki organik maddelerin olgunlaşmış fakat organik madde içeriğinin düşük olması nedeniyle petrol üretmekten çok gaza eğimli olduğu belirtilmiştir.

Altunsoy ve Özçelik (1998), Sivas Havzası'ndaki Eosen (Kozluca ve Bozbel) sedimentlerinin organik madde içeriklerinin zayıf olduğuna işaret etmişlerdir. Baskın organik madde tip III kerojen olması ve olgunlaşma değerlerinin de düşük olması sebebiyle hidrokarbon üretme potansiyeli düşüktür. Karacaören Formasyonu'nun denizel şelfte oluştuğu, Hafik Formasyonu'nun karasal sedimentlerinden daha zengin olduğu belirtilmiştir.

Kangal ve Varol (1999) tarafından yapılan çalışmada ise Sivas Alt Miyosen Havzası'nın kuzey kenarında yer alan çökellerin büyük bölümünün karasal (akarsu-göl) ve sıg denizel karakterli olduğu ve silisiklastik, karbonat ve evaporit gibi oldukça farklı litolojik birimlerle temsil edildiğini, karbonat çökellerinin resifal ağırlıklı olduğu vurgulanmıştır.

Özçelik (2000) tarafından Sivas Havzası'nın organik jeokimyasal özelliklerinin değerlendirildiği çalışmada, Eosen Kozluca ve Bozbel Formasyonları'nın TOC oranlarının zayıf-çok zengin aralıkta değiştiği, Tip III kerojenlerin egemen olduğu, Oligosen yaşlı Selimiye Formasyonu örneklerinin düşük TOC bileşimi, düşük hidrojen indeksi ve düşük olgunlaşma değeri ile karakteristik olduğu belirlenmiştir. Bu sonuçlar Eosen çökellerinin sıvı hidrokarbon için kaynak olamayacağını ancak yeterli olgunlaşma düzeyinde gaz türetebileceğini göstermektedir. Oligosen ve Miyosen sedimanları ise yeterince olgunlaşmamıştır ve hidrokarbon türetme potansiyelleri bulunmamaktadır.

Bu tez çalışması kapsamında değerlendirilen Hafik kuzeydoğusundaki kömürler ile ilgili herhangi bir çalışma bulunmamaktadır ve ilk kez bu çalışmada organik jeokimyasal, organik petrografik, kömür jeokimyası çalışmaları ile bu kömürlerin yataklanma ve makro-mikro özellikleri incelenmiştir.

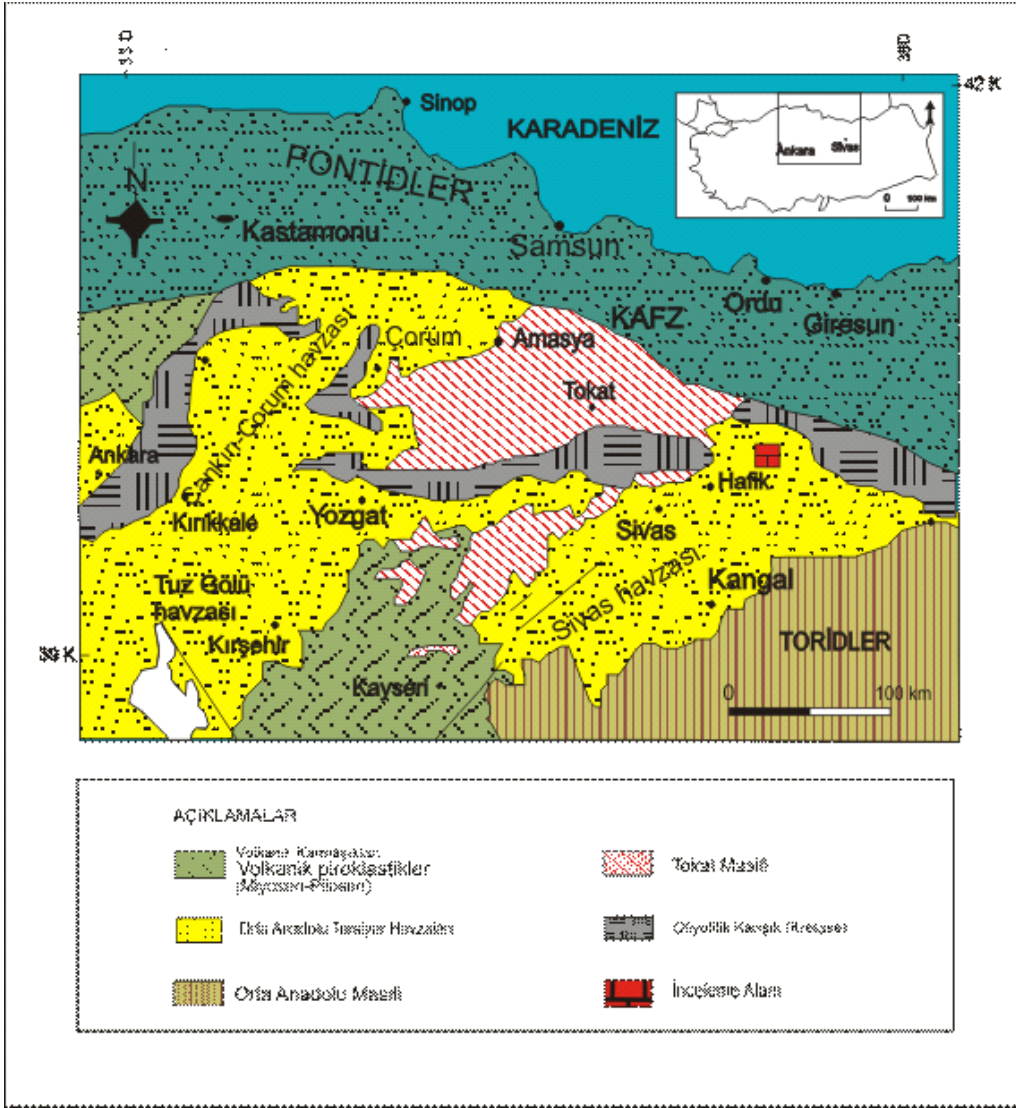
1.5. Bölgesel Jeoloji

Çalışma alanının içerisinde bulunduğu Sivas Tersiyer Havzası Ketin'in (1966) Anadolu'nun tektonik birlikleri

sınıflamasında Anatolid'lerin doğu ucuna karşılık gelmektedir. KD-GB yönünde uzanan ve doğuya doğru daralarak kapanan havza kuzeyde Pontid kuşağı, güneyde ise Torid kuşağı ve batıda Kırşehir masifiyle sınırlanmıştır (Şekil 1.6). Havzanın gelişimindeki başlıca olay diğer Orta Anadolu havzaları'nda olduğu gibi Erken Tersiyer'den itibaren Neotetis'in kuzey kolunun kapanmaya başlamasıdır.

Bir kenet kuşağı üzerinde gelişmesine bağlı olarak Sivas Havzası'nın temelini farklı kayaç toplulukları oluşturur.

Kretase-Eosen zaman aralığında Neotetis'in kuzey kolunun kapanmasıyla Sakarya Kıtası ve Kırşehir Bloku olmak üzere iki kıtasal birim arasında (Şengör ve Yılmaz, 1981), Sivas Baseni'ni de kapsayan Orta Anadolu Basenleri (Koçyiğit, 1991) oluşmuştur. Sivas Havzası çarpışma ile ilgili tipik bir ön ülke havzası olup (peripheral foreland: Görür ve diğ., 1998), Üst Paleosen'de (Kavak, 1998; Poisson ve diğ., 1996) oluşmaya başlamış ve Orta Miyosen'de Anadolu ve Arap levhalarının çarpışarak Neotetis'in kapanmasıyla evrimini tamamlamıştır (Görür ve diğ., 1998).



Şekil 1.6. Sivas Tersiyer Havzası ve inceleme alanının konumu (1\500 000 ölçekli Türkiye Jeoloji haritası).

Şarkışla-Celalli havzası Yukarı Kızılırmak fayı, Deliler-Tecer fay zonu ve güneydeki Tecer bindirmesiyle sınırlanır.

Havzanın temelini Pre-Maestrihtiyen yaşlı platform tip karbonatlar ve ofiyolitik kayalar oluşturur. Bu temelin üzerinde sırasıyla Maestrihtiyen(?) -Paleosen yaşlı hemipelajik kireçtaşları, Paleosen yaşlı bazaltik lavlar ve Eosen kırıntılı kayaları bulunmaktadır. Havzanın doğusunda Alt Miyosen kırıntılı kayaları ve neritik karbonatlar yerel bir uyumsuzlukla daha yaşlı kayaları üzerler ve yukarıya doğru playaya jipslerine geçer. Batıda Orta Miyosen karasal çökellerinin içinde bazalt ara düzeyleri gözlenir. Pliyo-Kuvaterner akarsu çökelleri ve Kuvaterner alüvyonları Miyosen yaşlı kayaları uyumsuzlukla örter (Yılmaz ve Yılmaz, 2006).

Hafik yöresinin tektonik deformasyonu, Sivas Tersiyer Havzası ve temel kayalarını içeren bindirme sistemleri ile kontrol edilmektedir. Hafik yöresi'nin stratigrafisi, birbirinden ana bindirme faylarıyla ayrılan dört tektonik ünite içerisinde incelenmiştir (Temiz, 1994). Bunlar, kuzeyden güneye, Ünite I (Bahçecik Ünitesi), Ünite II (Hafik Ünitesi), Ünite III (Acıpınar Ünitesi) ve Ünite IV (Celalli Ünitesi) olarak ayırtlanmıştır.

Ünite I (Bahçecik Ünitesi), inceleme alanını temsil etmektedir ve Sivas Tersiyer havzasının kuzey kenarında yüzeyleyen temel kayaları içerir. Üniteye ayırtlanan kaya birimleri, temelde Üst Kretase yaşlı Tekelidağ Karışığı ile temsil edilmektedir. Bu temel üzerine, yörede Sivas Tersiyer havzasının ilk çökellerini yansıtan, Üst Paleosen-Alt Eosen yaşlı Bahçecik Konglomerası uyumsuzlukla gelir. Bu iki birim yörede gelişen kısalmayla ilişkili olarak, bir açık imbrike fan sistemi içerisinde yer alır. Tabanda yüzeyleyen bu birimleri, Alt Miyosen yaşlı Karacaören Formasyonu taban kesimlerine karşılık gelen ve bu yörede formasyon düzeyinde ayırtlanmayan kireçtaşları açılı uyumsuzlukla üstler. Ünite I içerisinde yaygın olarak yüzeyleyen akarsu çökelleri ile temsil edilen Pliyosen yaşlı İncesu ve Kuvaterner yaşlı Karacahisar formasyonları, diğer birimler üzerinde açılı uyumsuzlukla yer alır (Temiz, 1994).

İnceleme alanının orta kesiminde Günyamaç senklineali en dikkat çekici yapısal unsurlardan biridir (Ek 1).

Tezde litolojik adlama olarak en yaygın kabul gören formasyon adlamaları kullanılacak olup Şekil 1.7'de havzanın orta ve doğu kesimi için farklı araştırmacılar tarafından önerilen adlamalar birlikte sunulmuştur.

ZAMAN STRATİGRAFİ		YER VE ÇALIŞMACI	Sivas-Hafik Zara-İmranlı Kurtman 1973	Sivas-Zara Beypınarı Artan ve Sestini 1971	Hafik-Sivas Gökten ve Kelling 1991	Hafik Kuzeyi Norman 1991	Hafik-Sivas Poisson ve Diğ. 1992	Temiz 1994 den düzenlenen	
SENOZOYİK	KUVATERNER	Alüvyon	Alüvyon	Alüvyon	Konglomera Traverten	Alüvyon	Alüvyon	Alüvyon	
	PLİYOSEN	Konglomera		Karadağtepe Formasyonu	Konglomera	Konglomera	Konglomera	Konglomera	
		USTA	Hafik F.			Jips			
	MİYOSEN	ORTA	Karacaören F.		Günyamaç Formasyonu	Şeyl	Karacaören Formasyonu	Karacaören Formasyonu	
			Selimiye F.	Celaffi Grubu	Hafik Formasyonu	Konglomera	Hafik Formasyonu	Hafik Formasyonu	
	OLİGOSEN				Kireçtaşı				
EOSEN		Bozbel/ Kösedag/ Kozluca/Bahç. Gürlevik Kalkeri	Ofiyolitik Kompleksi Filiş	Özderesi Formasyonu	Tüf Kireçtaşı Konglomerası	Bahçalık Konglomeraları	Bahçalık Konglomeraları		
PALEOSEN			Gürlevik Kalkeri	Ofiyolitik Melanj	Filiş	Ofiyolitik Melanj			
MESOZOYİK	KRETASE	USTA	Tecar Kalkeri						
		AİT							
	JURA	M				Ofiyolitik Melanj			
		D							
TRİYAS									
PALEOZOYİK		Metamorfik Seri			Tokat Metamorfiti				
					Akdağ Metamorfiti		Takelidağ Kanşığı		

Şekil 1.7. İnceleme alanı ve yakın civarında yapılan bazı öncel çalışmalara göre stratigrafik dizilim özellikleri

2. İNCELEME ALANININ JEOLJİK VE LİTOLOJİK ÖZELLİKLERİ

İnceleme alanı Sivas'ın Hafik ilçesi'nin kuzey doğusunda yer almakta olup (Şekil 1.1) bu alanın genel jeolojik özellikleri aşağıda kısaca belirtilmeye çalışılmıştır;

2.1. Stratigrafik Birimler

İnceleme alanında gözlenen birimler taban seviyelerden itibaren litolojik, petrografik, yapısal ve yayılım özellikleri dikkate alınarak aşağıda değerlendirilmiştir.

2.1.1. Tekelidağ Karışığı (Kt)

Tanım: Sivas Tersiyer Havzası'nın temelini oluşturan ofiyolitik kayalar, Yılmaz (1980) tarafından Tekelidağ Karışığı olarak tanımlanmıştır. Bu çalışmada da aynı adlama benimsenmiştir.

Yayılım Konum: Tekelidağı Karışığı, inceleme alanının kuzeybatısında yaygın olarak yüzeyler (Ek 1) ve bu yörede Üst Paleosen-Alt Eosen yaşlı Bahçecik Konglomerası ile yer yer normal, yer yer tektonik dokanak ilişkisi sunar (Şekil 2.1).

Aynı yörede, Karadağtepe kuzeyinde yüzeyleyen Pliyosen yaşlı İncesu Formasyonu, bu dokanak ilişkisini ve her iki birimi de uyumsuzlukla üstler. Bahçecik köyü doğusunda iki birim normal dokanak ilişkisi sunarken, inceleme alanının kuzeydoğusunda Tekelidağ Karışığı yer yer Bahçecik Konglomerası üzerinde tektonik dokanaklarla yer alır (Temiz, 1994) (Şekil 2.2 ve Şekil 2.3).

Koşutdere Köyü güneydoğusunda Üst Kretase yaşlı Tekelidağ Karışığı'nı, Sivas bindirmesi boyunca Oligosen (?) yaşlı Hafik Formasyonu tektonik dokanakla üzerler. Aynı yörede birim üzerinde Pliyosen yaşlı İncesu Formasyonu uyumsuzlukla yer alır.

Tekelidağ Karışığı'nın inceleme alanındaki yayılımı yaklaşık 2 km² civarındadır. Özen Köyü'nden Ilıca Köyü'ne kadar olan kısmın hemen hemen tamamını Tekelidağı karışığı oluşturmaktadır (Ek 1).

SENZOZOYİK										AÇIKLAMALAR					
ÜST SİSTEM	KUVATERNER									LİTOLOJİ	FOSİL İÇERİĞİ				
SİSTEM	TERSİYER			Miyosen			Pliyosen			KAYA TÜRÜ					
SERİ	Paleosen		Eosen	Oligosen	Alt	Orta	Miyosen		Pliyosen						
KAT	Alt		Üst	Herfik			Karacören			İncasu	Karacaören	Alivyon	Yenigöller		
FORMASYON	Bahçeçik Konglomeraları			250m			200m			20-100m	20-100m	20-100m	20-100m		
KALINLIK															
MESZOZOYİK										<p>Serpantinleşmiş ultra bazik kayalar, yarık yapıli kuzatlar ve değişikliğe ve boyuta sahip kireçtaşı blokları</p> <p>→ Tektonik Dokuşak</p> <p>Kömür</p> <p>→ Tektonik Dokuşak</p> <p>Kalın katenanli, çapraz tabakalı çakıltaşları,</p> <p>Beyaz, gri renkli, genellikle masif, yer yer katmanlanmamı, jipsler</p> <p>Kumtaşı-mırmı-kireçtaşı aralanması</p> <p>Sarımsı-bej renkli kalın katenanli mara-kil taşı-kumtaşı</p> <p>Gri-bej renkli inos-ortakatenanli mara-kil taşı aralanması</p> <p>Çakıtaşı, yer yer kumtaşı silttaşı ara seviyeleri</p>	<p>Gastropod ve peccan kavkılan</p> <p>Ostracae unclifera Leymeris, Batifloris bururigel Dancbeuk, Batifloris aff, Praesabazula Dancbeuk</p> <p>Gastropod</p>				
KRETASE	Teteşdağ Karışığı														
Üst	Alt		Üst	Herfik			Karacören			İncasu	Karacaören	Alivyon	Yenigöller		

Şekil 2.1. İnceleme alanının genelleştirilmiş stratigrafik dikme kesiti (ölçeksiz)
(Temiz, 1994)



Şekil 2.2. Çömleklî Tepe Güneyinde Tekelidağ Karışığı'nın görünümü (Güneyden Kuzeye bakış)



Şekil 2.3. İnağzı Tepe civarında Tekelidağ Karışığı ve Bahçecik Formasyonu'nun görünümü (Güneybatıdan Kuzeydoğuya bakış)

Kaya Türü: Tekelidağ Karışığının başlıca bileşenlerini, çoğunlukla serpantinleşmiş ultramafik kayaçlar, yastık yapılı bazaltlar ve değişik yaş ve boyuta sahip kireçtaşı blokları oluşturur (Şekil 2.1).

İnceleme alanın kuzeyindeki Koşutdere Köyü kuzeyinde, Tekelidağı Karışığı içerisinde, serpantinleşmiş ultramafik kayaçlar yaygın olarak yüzeyler. Bu kayaçlar oldukça çatlaklı ve çatlakları ikincil mineraller tarafından doldurulmuş olarak izlenirler. Aynı yörede ve daha doğuda yer alan Çerkez Tepe güney yamaçlarında yastık yapılı bazalt yüzeylemeleri gözlenir.

Tekelidağı Karışığı içerisinde oldukça değişken boyutlara sahip kireçtaşı blokları bulunmaktadır. Bahçecik Köyü batısında, Öz deresi vadisinin kuzey yamaçlarında, beyaz, gri renkli, çoğunlukla masif, yer yer rekristalize Üst Jura-Alt Kretase yaşlı kireçtaşı blokları yüzeyler. Ayrıca, Öz deresi vadisinin batı kesiminde, karışık içerisinde, pembe renkli, ince-orta katmanlı kireçtaşı blokları da yüzeylenmektedir. Bu blokların yaşı, önceki çalışmalarda, Üst Kretase olarak verilmiştir (Yılmaz, 1980; Norman, 1991).

Fosil içeriği ve Yaşı: Koçyiğit (1991), Erzincan kenedi kayalarını Anadolu Kompleksi olarak tanımlamış ve karışığın içerisindeki en genç blokların Senomaniyen-Santoniyen yaşlı olduğunu, Orta Kampaniyen aralığında, Neo-Tetis'in aktif kıta kenarında oluştuğunu ve daha sonra (Maestrihtiyen-Geç Pliyosen) bugünkü konumuna yerleştiğini belirtmiştir.

Ortamsal yorum: Tekelidağı Karışığı'nın litolojik özelliklerine göre serpantinleşmiş ultrabazik kayaçlar, yastık yapılı bazaltların olması derin denizel ortamını göstermektedir. Bölgede değişken boyutlara sahip kireçtaşı bloklarının gözlenmesi ortamın sığ denizel ortama geçtiğini gösterir (Temiz, 1994).

2.1.2. Bahçecik Konglomeraları (Tb)

Genel Tanım: İlk kez Kurtman (1973) tarafından Bahçecik Konglomerası olarak tanımlanan birim için bu çalışmada da aynı adlama kullanılmıştır. Gökten ve Kelling (1991) tarafından ise birim Özderesi Formasyonu olarak adlandırılmıştır.

Yayılm ve Konum: Bahçecik Konglomerası, inceleme alanında Bahçecik Köyü dolayında yaygın olarak yüzeyler (Ek 1). Bu yörede, Üst Kretase yaşlı Tekelidağı Karışığı ile yer yer tektonik dokanak ilişkisi sunar. Alt Miyosen yaşlı Karacaören Formasyonu, Bahçecik Köyü kuzeyinde birimi açılı uyumsuzlukla üstler. Bahçecik Köyü güneyinde, Pliyosen yaşlı İncesu Formasyonu tarafından açılı uyumsuzlukla üstlenen birim, Sivas bindirmesi boyunca yer alan Oligosen yaşlı Hafik Formasyonu tarafından tektonik dokanakla üzerlenir.

İnceleme alanın kuzeydoğusunda Bahçecik Konglomerası, Tekelidağı Karışığı üzerinde genel olarak uyumsuzlukla yer alır (Şekil 2.1). Yörede, Pliyosen yaşlı İncesu Formasyonu, birimi açılı uyumsuzlukla üzerler. Kuşçu Köyü güneyinde birim

üzerine Pliyosen yaşlı İncesu Formasyonu uyumsuzlukla gelir ve her iki birimi de Oligosen (?) yaşlı Hafik Formasyonu tektonik dokanakla üzerler (Ek 1).

İnceleme alanında, kuzeydoğusunda yer alan Akören-İlica civarında yaklaşık 300 m², Özen köyünde civarında 200 m² olmak üzere yaklaşık 500–550 m² toplam yayılıma sahiptir (Ek 1).

Kaya türü: Formasyonun egemen kaya türünü konglomeralar oluşturur (Şekil 2.1). Konglomeralar, genel olarak kalın katmanlı (yer yer 3 metreye değin ulaşan), sıkça çapraz tabakalanma ve tanelerde yönlenme göstermekte olup, kanal dolguları yaygındır. Çok tür bileşenli olan konglomeraların kaynağını, genelde ofiyolitli karışık oluşturur. Çakılların boyutları değişken olup, bazı kesimlerde 40–50 cm çapında bloklar içerir(Şekil 2.4 ve 2.5) .



Şekil 2.4. Tozluburun civarında Tekelidağ Karışığı ve Bahçecik Formasyonu dokanak ilişkisi



Şekil 2.5. Bahçecik Formasyonu içindeki değişik boyutlarda çakıllar ve kireçtaşları

Bahçecik Köyü batısı, İnağzı Tepe güneyi ve Tozluburun kuzeybatısında Bahçecik Kongloması tabanda kalınlığı yaklaşık 80 cm dolayında olan kömür seviyesi içerir (Şekil 2.6 ve 2.7).



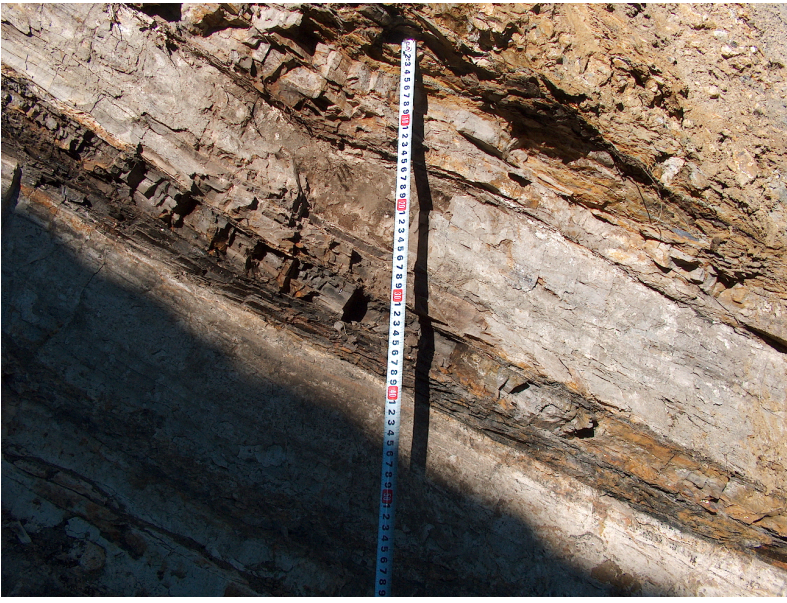
Şekil 2.6. Bahçecik Köyü civarında gözlenen Bahçecik Kongloması ve kömür damarı (GB dan KD ya bakış)



Şekil 2.7. Bahçecik Konglomerası tabanında gözlenen kömür katmanı (Bahçecik Köyü güneyi)

Kömür seviyesi taban ve tavanında ince katmanlı kiltası ve ince taneli kumtaşları yer alır. Kömür seviyesi içerisinde seyrek Gastropod kavkaları gözlenmektedir.

İstif üste doğru, kalınlığı 2 m'yi bulan, genelde oval şekilli bileşenlerden oluşan konglomeralarla devam eder. Bu seviyeyi, 25 m kalınlığında sarı renkli, ince-orta katmanlı (10-30 cm), ince taneli, seyrek oval şekilli çakıllar içeren, bitki kırıntılı kumtaşları izler (Şekil 2.8). Bu düzeyin üzerinde, gri renkli, kalın katmanlı (3 m), yer yer 50 cm çapına değin ulaşan kireçtaşı blokları içeren, kanal dolguları şeklinde konglomeralar yer alır. Çakılların çoğunluğu kireçtaşlarından türemiş olup, daha az oranda ofiyolitik ve metamorfik kayalardan türemiş olanlarda izlenir. Kesitin en üst kesimlerinde konglomeralar yaygın olarak yer alır ve kalınlığı 30 cm dolayında olan ince taneli kumtaşlarıyla ardalanır (Şekil 2.9).



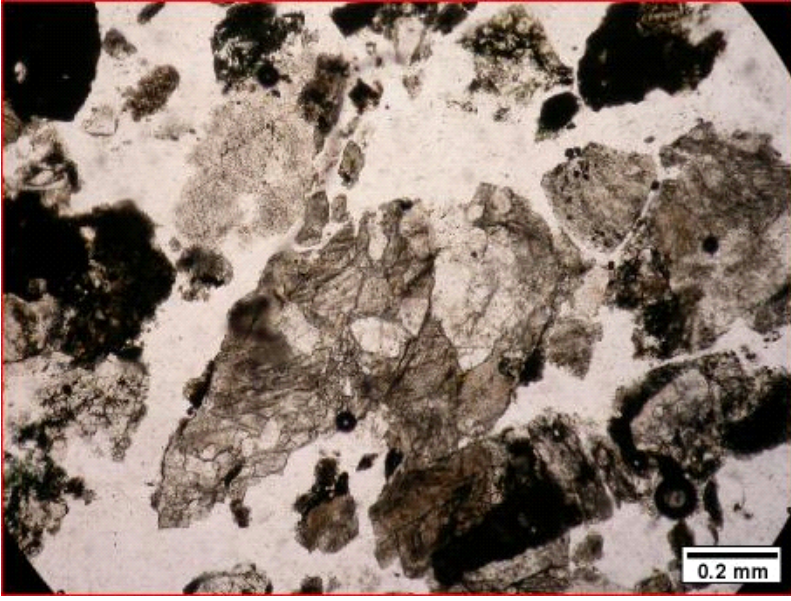
Şekil 2.8. Kömür katmanının üst seviyesindeki kiltası, kumtaşı ve kireçtaşları (Bahçecik Köyü kuzeyi)

Formasyonun kaya türü özelliklerinde, Bahçecik Köyü doğusunda bazı yanal değişimler izlenmektedir. Bu yörede, formasyonun egemen kaya türünü oluşturan konglomeralar, gri renkli, ince-orta katmanlı silttaşı, marn ardalanmasına geçer. Bu seviyeler özellikle Bahçecik Köyü güneyinde bol Nummulites içerir. Bahçecik Köyü hemen doğusunda, bu ince kırıntılı kayalar üste doğru, kırmızı renkli konglomeralarla düşey geçişli olarak izlenir.

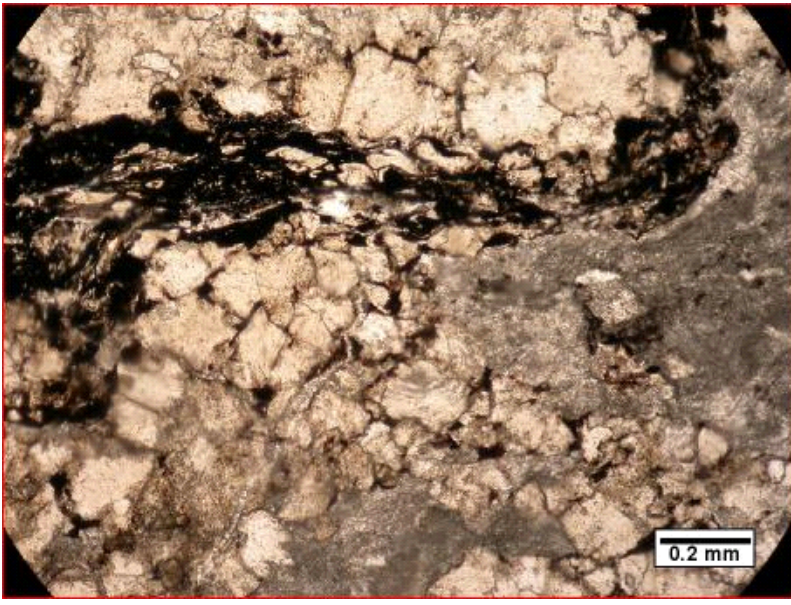


Şekil 2.9. Bahçecik Formasyonu'nu oluşturan konglomera ve kumtaşları (Desandre yanı kömür damarı)

Akören Köyü kuzeyinde, birim içerisinde yer yer sarı renkli, ince-orta katmanlı, yoğun makaslama düzlemleri içeren kumtaşları, konglomeralarla ardalanmalı olarak yüzeyler. Kumtaşlarının petrografik değerlendirmelerinde bunların litarenit özellikte olduğu belirlenmiştir (Şekil 2.10). Kireçtaşı bloklarında ise mikroskobik değerlendirmelerde özellikle organik maddece zengin seviyeler izlenmiştir (Şekil 2.11). Kireçtaşlarının petrografik değerlendirmelerinde biyosparitler ve biyomikritler belirlenmiştir (Folk, 1962, Pettijohn vd., 1987). (Şekil 2.12 ve 2.13)



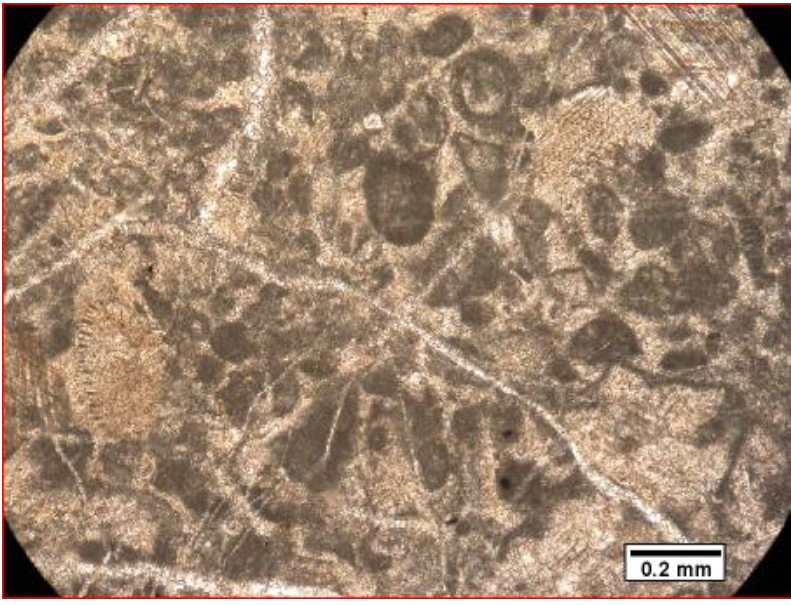
Şekil 2.10. Bahçecik Konglomeraları içinde bulunan litarenit (K-1 nolu örnek)



Şekil 2.11. Bahçecik Konglomeraları içindeki kireçtaşı bloklarında gözlenen organik madde sıvamaları (K-3 nolu örnek)



Şekil 2.12. Bahçecik Konglomeraları içindeki kireçtaşı bloklarında gözlenen fosil izleri (K-3 nolu örnek)



Şekil 2.13. Bahçecik Konglomeraları içindeki kireçtaşı bloklarında gözlenen biyosparitler (K- 5 nolu örnek)

Kalınlık: Tekelidağı Karışığı ile birimin tektonik özelliği ve yanal fasiyes değişimlerinden dolayı kalınlık net olarak belirlenememiştir. Yörede daha önce yapılan çalışmalarda belirtilen kalınlık ölçümlerinde büyük farklılıklar vardır. Kurtman (1973), birimin kalınlığını 1500 m, Gökten ve Kelling (1991) ise 450 m olarak ölçmüştür.

Fosil içeriği ve Yaşı: Bahçecik Köyü batısından alınan formasyona ait kireçtaşı bloklarının petrografik değerlendirmelerinde gastropod fosilleri ve bazı kavkı izleri (Şekil 2.13) belirlenmiştir. İnceleme alanında Gökten ve Kelling (1991) tarafından taban kesimlerinde yer alan kömürler ve bunun yanal devamı olan kesimlerinde *Ostrea uncifera* Leymerie, *Batillaria fauvergel* Doncieux, *Batillaria aff. Praesubacuta* Doncieux fosilleri saptanarak birime Sparnasiyen (Üst Paleosen) yaşı verilmiştir.

Formasyonun Bahçecik Köyü güney ve doğusundaki yüzeylemelerinde, konglomeralarla yanal geçişli olarak izlenen ince kırıntılar içerisindeki *Nummulites* sp. fosillerine dayanarak Kurtman (1973), bu seviyelerin Alt Eosen yaşında olabileceğini belirtmektedir. Bu çalışmada birimin yaşı Üst Paleosen-Alt Eosen olarak kabul edilmiştir.

Ortamsal Yorum: Bahçecik Konglomerası'nın yukarıda verilen litolojik ve paleontolojik özellikleri, formasyonun taban seviyelerindeki kömür ve bitki kırıntılı kumtaşlarıyla temsil edilen kesimlerin lagüner, üst seviyelerinde yer alan iri bloklu konglomeralardan oluşan kesimlerin ise alüvyon yelpazesi ortam koşullarını yansıttığı belirlenmiştir (Temiz, 1994). Ayrıca, bu seviyelerle *Nummulites* sp. içeren ince taneli kırıntılıların yanal geçişli olması, ortam koşullarının sığ denizel özellik gösterdiği ve fan delta ortam koşullarına geçtiğini de göstermektedir.

Gökten ve Kelling (1991), formasyonun yelpaze deltası (fan delta) sedimasyonunu işaret ettiğini ve tektonik kontrollü havza kenarı koşullarını yansıttığını belirtmektedir.

2.1. 3. Hafik Formasyonu (Th)

Genel Tanım: İnceleme alanında geniş yüzleklere sahip olan ve genel olarak masif jipslerle temsil edilen birim, ilk kez Kurtman (1973) tarafından Hafik Formasyonu olarak tanımlanmıştır.

Yayılm ve Konum: Hafik Formasyonu, inceleme alanının orta ve güney kesimlerinde yaygın olarak yüzeyler (Şekil 2.14), tabanında yer alan Sivas bindirmesi boyunca, Pliyosen yaşlı İncesu Formasyonu, Üst Paleosen-Alt Eosen yaşlı Bahçecik Konglomerası ve Üst Kretase yaşlı Tekelidağı Karışığı üzerinde tektonik dokanakla gelir (Şekil 2.1) (Ek 1). Bu yörede birim, Günyamaç senklinalinin çekirdeğinde yaklaşık 2–2.5 km² lik yayılım alanı gösterir ve birim Alt Miyosen yaşlı Karacaören Formasyonu tarafından açılı uyumsuzlukla üzerlenir.

Kaya Türü: Hafik Formasyonu'nun egemen kaya türünü, beyaz, gri renkli, genellikle masif, yer yer katmanlı, sıkça kıvrımlanmış ve makaslama düzlemleri ile kesilmiş, özellikle taban kesimlerinde yapraklanma gösteren jipsler oluşturur (Şekil 2.1). Kuşçu Köyü güneyindeki yüzeylemelerinde, kalın katmanlı (1m) jipslerle, gri renkli, ince katmanlı (5-10 cm) marn ve kiltası ardalanması izlenir (Şekil 2.15).

Hafik Formasyonu içerisinde ve özellikle alt kesimlerinde kırıntılı kayalar yüzeyler. Günyamaç Köyü batısında, beyaz, gri renkli, masif jipslerle beraber, sarı renkli, ince katmanlı, iyi pekişmemiş, ince taneli, çapraz katmanlanma ve dalga izli kumtaşı, siltaşı seviyeleri yüzeyler.

Kalınlık: Hafik Formasyonu'nun yaygın kıvrım ve faylanma etkilerinden dolayı kalınlık saptanması güçtür. Birimin masif kesimlerinin maksimum görünür kalınlığı 250 m dolayındadır.



Şekil 2.14. Hafik Formasyonu jipslerinin Çoban Tepe güneyindeki görüntümü



Şekil 2.15. Hafik Formasyonu içindeki katmanlanma ve yer yer karstlaşma gösteren jipslerin görünümü (Günyamaç Köyü Batısı)

Fosil İçeriği ve Yaşı: Hafik Formasyonu'na yaş verecek fosil topluluğu belirlenememiş olup stratigrafik ilişkilere göre yaşı Oligosen (?) dir.

Ortamsal Yorum: Hafik Formasyonu içerisinde, jipslerle ardalanmalı olarak izlenen kumtaşlarında çapraz katmanlanma ve dalga izlerinin gözlenmesi, formasyonun sığ sulu bir ortamda depolandığını göstermektedir (Temiz, 1994).

2.1.4. Karacaören Formasyonu (Tka)

Genel Tanım: Genel litolojisi, alttan üste doğru daha çok kumtaşlarının egemen olduğu kumtaşı-marn-kireçtaşı ardalanmasından oluşan birim ilk kez Erüenal-Erentöz (1956) tarafından adlandırılmıştır.

Yayılm ve Konum: Birim, inceleme alanının kuzeyinde Çaltepe mevkiinde 100–150 m² lik bir alanda, Hayık Tepesinde ise 125 m² lik bir alanda yüzeylemektedir (Ek 1).

Kaya Türü: Genellikle sarı-grimsi-açık yeşil renkli, bitki kırıntılı, yaklaşık 40–50 m. kalınlığında bol makrofosilli (gastropod ve pecten) seviyeleri içeren, orta-kalın katmanlı (50 cm-4 m) kumtaşı-kiltaşı-marn ardalanmasıyla başlayan formasyon, orta seviyelere doğru; sarımsı-bej renkli kalın katmanlı (2-3 m) bol makrofosil kavkuları içeren, yer yer çapraz tabakalanmalar gösteren kumtaşı seviyeleriyle temsil edilir. Üst seviyelerde daha çok gri-bej renkli yer yer gastropod ve pecten kavkuları içeren ince-orta katmanlı marn-kiltaşı ardalanması gözlenir ve kiltaşı-marn seviyeleriyle son bulur (Şekil 2.1).

Kalınlık: İnceleme alanında birimin kalınlığı 300 m olarak belirlenmiştir.

Fosil İçeriği ve Yaşı: Bu formasyonun yaşı Kurtman (1973) ve Temiz (1994) tarafından Alt-Orta Miyosen, Çubuk ve İnan (1998) bu formasyona karşılık gelen Sarıhacı Formasyonu'nun yaşını Alt-Orta Miyosen, Kavak ve İnan (2001) ise Alt Miyosen olarak belirlemişlerdir. Birimin yaşı bu çalışmada Alt-Orta Miyosen olarak kabul edilmiştir.

Ortamsal Yorum: Kurtman (1973), formasyonun kaya türü özellikleri, içerdiği fosil topluluğu ve kireçtaşlarının egemen olduğu seviyelerin resifal bir ortamda çökeldiğini belirtmektedirler.

2.1.5. İncesu Formasyonu (Ti)

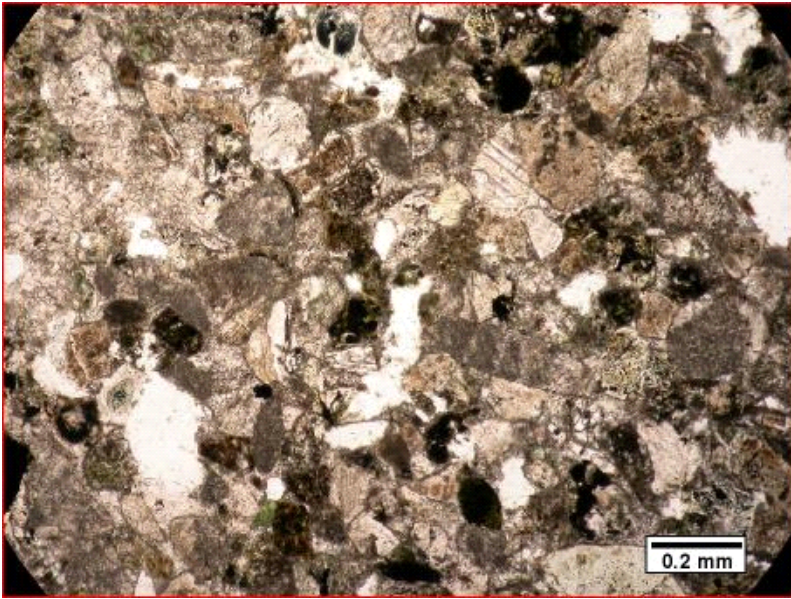
Genel Tanım: Bahçecik Köyü batısı ve kuzeybatısında yüzeyleyen akarsu çökelleri, Sivas yöresinde Yılmaz (1980) tarafından İncesu Formasyonu olarak tanımlanmış ve iki üyeye ayrılarak incelenmiştir. Birim inceleme alanında üye ayırdımı yapılmaksızın İncesu Formasyonu olarak değerlendirilmiştir.

Yayılm ve Konum: İnceleme alanının kuzeybatısında, Özen Köyü güneyinde, Karadağ Tepe dolayında yüzeyleyen birim, Üst

Kretase yaşı Tekelidağı Karışığı, Üst Paleosen-Alt Eosen yaşı Bahçecik Konglomerası ve Karacaören Formasyonu'nu uyumsuzlukla üzerler. Ayrıca Sivas bindirmesi boyunca Oligosen (?) yaşı Hafik Formasyonu tarafından tektonik dokanaklarla üzerlenir (Ek 1).

Kaya Türü: İncesu Formasyonu'nun egemen kaya türünü çakıltaşları oluşturur. Bunlarla birlikte iyi çimentolanmamış kumtaşı ve yer yer siltaşı ara seviyeleri de izlenir (Şekil 2.1).

Formasyonun inceleme alanının kuzeybatısındaki yüzeylemeleri, yatay konumlu, sarı, gri renkli, orta-kalın katmanlı, zayıf çimentolu, çakıltaşı, kumtaşı (Şekil 2.16) ve çakıllı kumtaşı ardalanmasıyla temsil edilir. Çakılların çoğunluğu ofiyolitik melanjdan türemiştir.



Şekil 2.16. İncesu formasyonu içinde tanımlanan litarenit

İncesu Formasyonu'nun, Akören Köyü civarındaki yüzeylemeleri, diğer kesimlere oranla bazı farklılıklar içerir. Bu yörede, kuzeye 10°-15° eğimli olarak izlenen birim, tabanda iri bloklar içeren (20-30 cm çaplı) iyi çimentolanmış çakıltaşları ile başlar. Çakıltaşlarının bileşenlerinin çoğunluğu, birimin tabanında yer alan Bahçecik Konglomerası'ndan yeniden aktarılmış çakıllar oluşturur ve oldukça iyi yuvarlaklaşmış olarak izlenirler. Formasyonun üst kesimlerine doğru tane boyu incelik ve gevşek çimentolu çakıllı kumtaşlarına geçer.

Kalınlık: İncesu Formasyonu'nun kalınlığı, oldukça farklılıklar sunar. Birimin kalınlığı 20-100 m arasında değişir (Şekil 2.1).

Fosil içeriği ve Yaşı: İncesu Formasyonu'na yaş verebilecek fosil topluluğu inceleme alanında saptanamamıştır. Yalçınlar (1955) tarafından, formasyonun alt kesimlerindeki konglomera ve kumtaşları içerisinde, *Hipparion gracile* (KAUP), *Sus erymanthus* (GAUDRYZITTEL), *Mastrodon* sp., *Cervus* sp., *Rhinoceros* sp., *Griffa* sp., ve *Gazella* sp., omurgalı faunası saptanarak birime Alt Pliyosen yaşı verilmiştir. Ayrıca, formasyonun Kuşçu Köyü dolayındaki yüzeylemelerinde, Alt Miyosen yaşlı Karacaören Formasyonu'na ait kireçtaşı çakıllarını da içermesi, birimin yaşının Pliyosen olduğunu göstermektedir.

Ortamsal Yorum: İncesu Formasyonu'nun genel özellikleri akarsu ortamında depolandığını göstermektedir. Gökten ve Kelling (1991), formasyonun örgülü akarsu sistemini işaret ettiğini, malzemenin kuzey kesimdeki kaynaklardan türediğini ve birimin içerisinde yer yer izlenen kireçtaşı düzeylerinin de küçük gölleri yansıttığını, bununda yöre yükselmesinin yavaşladığı veya tektonik etkinliğin azaldığı zamanları belirttiğini kaydetmektedir.

2.1.6. Karacahisar Formasyonu (Qk)

Genel Tanım: İnceleme alanındaki genç akarsu çökelleri, ilk kez Temiz (1994) tarafından Karacahisar Köyü dolayında yaygın yüzeylemeler sunması nedeniyle Karacahisar formasyonu olarak tanımlanmıştır. Bu çalışma sırasında da aynı adlama kullanılmıştır.

Yayılm ve Konum: Karacahisar formasyonu, inceleme alanında Karacahisar Köyü civarında yaygın olarak yüzeyler, yayılımı yaklaşık 400 m² dir (Ek 1). Bu yörede birim, Üst Paleosen-Alt Eosen yaşlı Bahçecik konglomerası ve Oligosen (?) yaşlı Hafik Formasyonu üzerinde açık uyumsuzlukla yer alır.

Kaya Türü: Karacahisar formasyonu'nun egemen kaya türünü, gri, siyah renkli, çoğunlukla iyi tutturulmamış, çok tür bileşenli çakıltaşları ve yer yer bunlarla ardalanan 20–30 cm kalınlığında, sarı renkli, iyi pekişmemiş silttaşı seviyeleri oluşturur (Şekil 2.1).

Birim içerisindeki çakıltaşlarının bileşenlerinin çoğunluğu, tabanda yer alan Bahçecik konglomasından yeniden aktarılmıştır. Yüzeylemeleri genellikle yatay konumlu olup, eski akarsu taraçalarını yansıtır.

Kalınlık: Karacahisar formasyonu, inceleme alanındaki yüzeylemelerinde 20–50 m arasında değişen kalınlıklara sahiptir.

Yaş: Karacahisar formasyonunun yaşı, inceleme alanı ve yakın dolayında genellikle büyük akarsu yataklarının çevresinde, değişik kodlarda, yatay konumlu olarak eski taraçaları yansıtan çökellerle temsil edilmesinden dolayı, Kuvaterner olarak kabul edilmiştir (Temiz, 1994).

Ortamsal Yorum: Formasyonun, yukarıda değinilen genel özellikleri, akarsu ortamında depolandığını belirtmektedir.

2.1.7. Alüvyon (Qal)

Alüvyonlar, genellikle ince-orta malzemeli çökeller şeklinde bulunmaktadır. Özderesi ve Kızılırmak kolunun geçtiği dere kenarlarında izlenmektedir (Ek 1) ve yukarıda anlatılan tüm bu birimlerin üzerine uyumsuzlukla gelir.

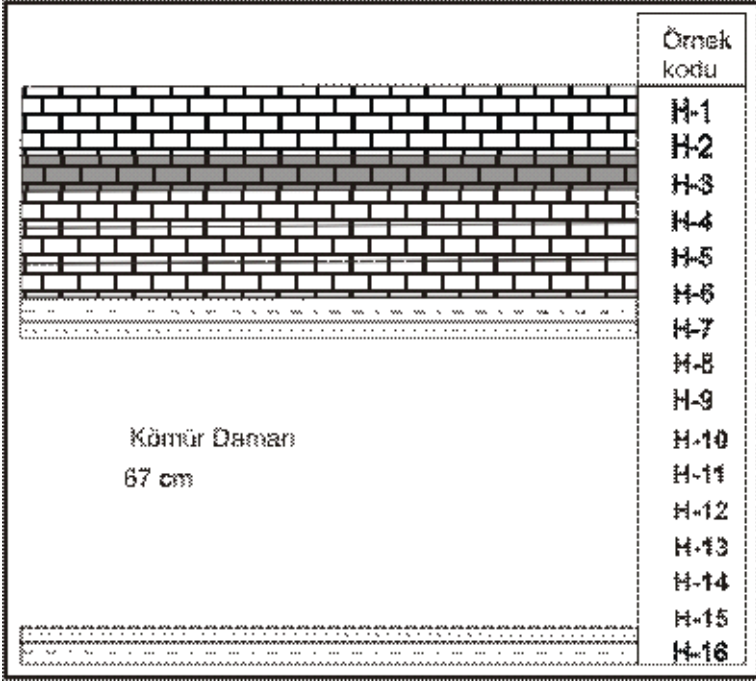
2.2. Kömür Jeolojisi Değerlendirmeleri

İnceleme alanında değerlendirilen kömürler Bahçecik köyü civarında yer almaktadır ve damar kalınlığı 67-80 cm arasında değişen 2 farklı damardan oluşmaktadır (Ek 1 ve Ek 2). Sahada geçmiş yıllarda bazı özel şirketler tarafından çeşitli zamanlarda işletme yapılmaya çalışılmış, bir galeri açılmış ve kısa süreli üretimler yapılmıştır. Ancak çeşitli nedenlerden dolayı bu işletme terkedilmiştir (Şekil 2.17).

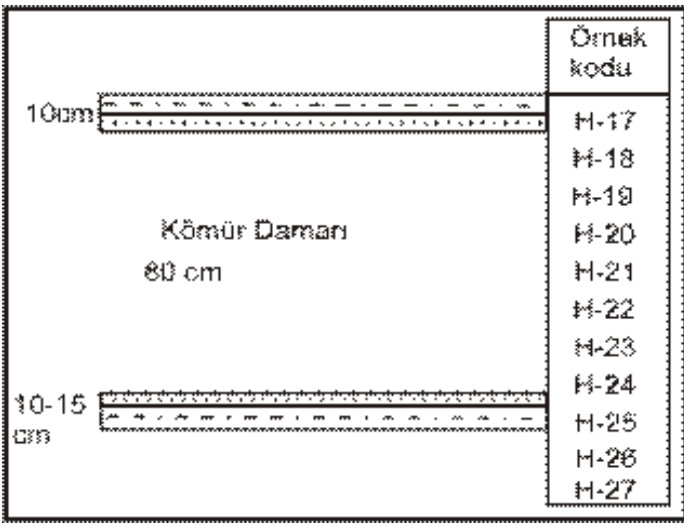


Şekil 2.17. İnceleme alanında terkedilen eski galerinin görünümü





İnceleme alanında Tozluburun civarında açılmış olan birbirine yaklaşık 30 m mesafede iki desandre bulunmaktadır (Ek 1 ve 2). Bunun yanı sıra desandrelerin yüzlek veren kömür damarında da Desandre Yanı olarak adlandırdığımız kısımda inceleme yapılmış ve kömür özellikleri değerlendirilmiştir (Şekil 2.18). Desandre 1 ve Desandre 2 de kömür kalınlığı 80 cm, Desandre yanındaki yüzlekte ise 67 cm olarak ölçülmüştür (Şekil 2.19 ve 2.20). Aralık 2007 tarihinde yeni bir şirket tarafından yaklaşık 20 m lik bir galeri daha açılmıştır. Bu yeni galeri eski desandre 2' nin hemen alt düzeyindedir ve kömürlü birimleri kesecek şekilde planlanmıştır (Şekil 2.21, 2.22). Kömür katmanının yankayaçları gri- siyah renkli killi ve karbonatlı kısımlarda olup bunlar kömür oluşumuyla eş zamanlı gelişen çökelimlerdir ve galeri açılırken ve üretim aşamasında pasa olarak galeri yakınına yığılmışlardır (Şekil 2.23 ve 2.24).



Şekil 2.18. Desandre yanında kömürlü birimlerin kesiti (ölçeksiz)



Şekil 2.19. Desandre 1 de kömürlü birimlerin kesiti (ölçeksiz)

	Örnek Kodu
	H-28
	H-29
	H-30
	H-31
Kömür Damarı 80 cm	H-32
	H-33
	H-34
	H-35
	H-36
	H-37
	H-38
	H-39

Şekil 2.20. Desandre -2 de kömürlü birimlerin kesiti (ölçeksiz)



Şekil 2.21. Eski Desandre 2 alt seviyesinden açılan yeni galeri



Şekil 2.22. Açılan yeni galerinin girişi ve tahkimat, basit ışıklandırma sistemi



Şekil 2.23. Açılan yeni galerinin girişinde çıkan pasanın yığıldığı kesim



Şekil 2.24. Eski desandrenin alt düzeyindeki yeni galeri girişi ve çıkan pasalar

3. X-IŞINI KIRINIMI İNCELEMELERİ

Kömür içerisinde görülen mineraller, kömür sınıflaması, test ve kullanım, damar korelasyonu ile kömür oluşum ortamlarının yorumlanması açısından büyük öneme sahiptir. Mineralleri tanımlamak için, optik mikroskopik yöntemlerin dışında X-ışınları difraksiyonu, elektron mikroskobu, ısı analiz, infrared spektrometri gibi yöntemler de kullanılmaktadır. İnceleme alanındaki kömürlerin XRD-TK değerlendirmesi ile optik mikroskopi ile incelenemeyecek kadar küçük (submikroskopik) tane boyuna sahip tüm kayaç (XRD-TK) mineralojik bileşimlerinin ve kil boyu bileşenlerinin (XRD-KF) belirlenebilmesi amaçlanmıştır

İnceleme alanına ait kömürlü düzeyler ve yan kayaçlardan alınan 34 örnek XRD-TK ve XRD-KF ile değerlendirilmiştir.

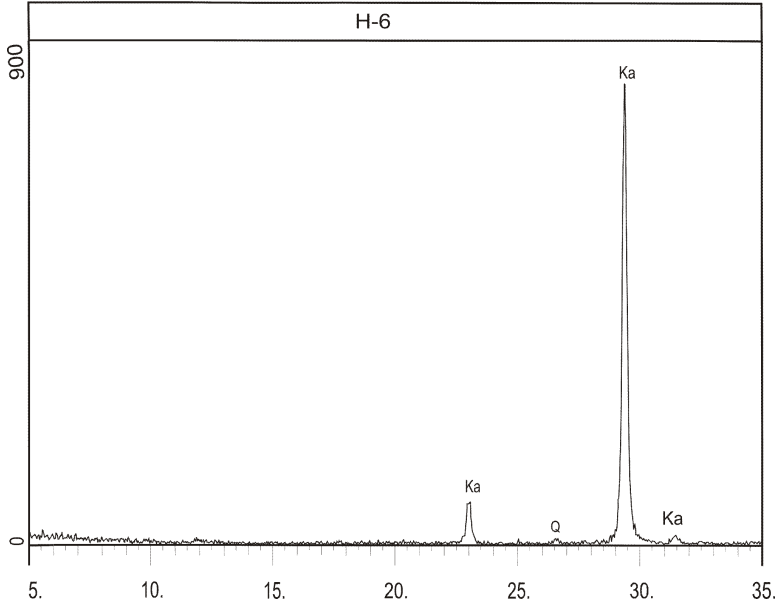
İncelenen 24 örneğin bileşiminde; Kalsit % 5-100 (ortalama % 47), Dolomit % 8 (tek bir örnekte), Kuvars % 2-43 (ortalama % 9), Feldispat % 10-49 (ortalama % 9), Kil mineralleri % 13-84 (ortalama % 29), Hornblend tek bir örnekte % 8 ve Pirit % 5-18 (% 5) oranlarında belirlenmiştir (Çizelge 3.1) (Şekil 3.1, 3.2, 3.3, 3.4, 3.5, 3.6).

Çizelge 3.1. Hafik bölgesine ait incelenen örneklerin XRD-TK değerlendirme sonuçları ve örneklerin mineralojik bileşimleri

Örnek No	Kalsit %	Dolomit %	Kuvars %	Feldispat %	Kil %	Hornblend %	Pirit %
K-1	5	-	11	49	35	-	-
K-2	21	-	20	20	31	-	8
K-3	90	8	2	-	-	-	-
K-4	12	-	43	17	28	-	-
K-5	100	-	-	-	-	-	-
K-6	24	-	15	13	30	-	18
K-7	27	-	29	25	13	-	6
K-8	36	-	16	10	38	-	-
K-9	20	-	-	12	56	-	12
K-10	32	-	2	11	42	-	13
K-11	63	-	-	-	29	8	-
K-12	34	-	5	19	34	-	8
H-1	97	-	3	-	-	-	-
H-2	96	-	4	-	-	-	-
H-4	98	-	2	-	-	-	-
H-5	65	-	5	-	30	-	-
H-6	98	-	2	-	-	-	-
H-7	55	-	4	-	32	-	9
H-14	10	-	3	-	70	-	17
H-24	52	-	2	-	31	-	15
H-26	24	-	12	-	53	-	11
H-27	6	-	5	-	84	-	5
H-28	32	-	21	13	27	-	7
H-30	37	-	13	27	23	-	-

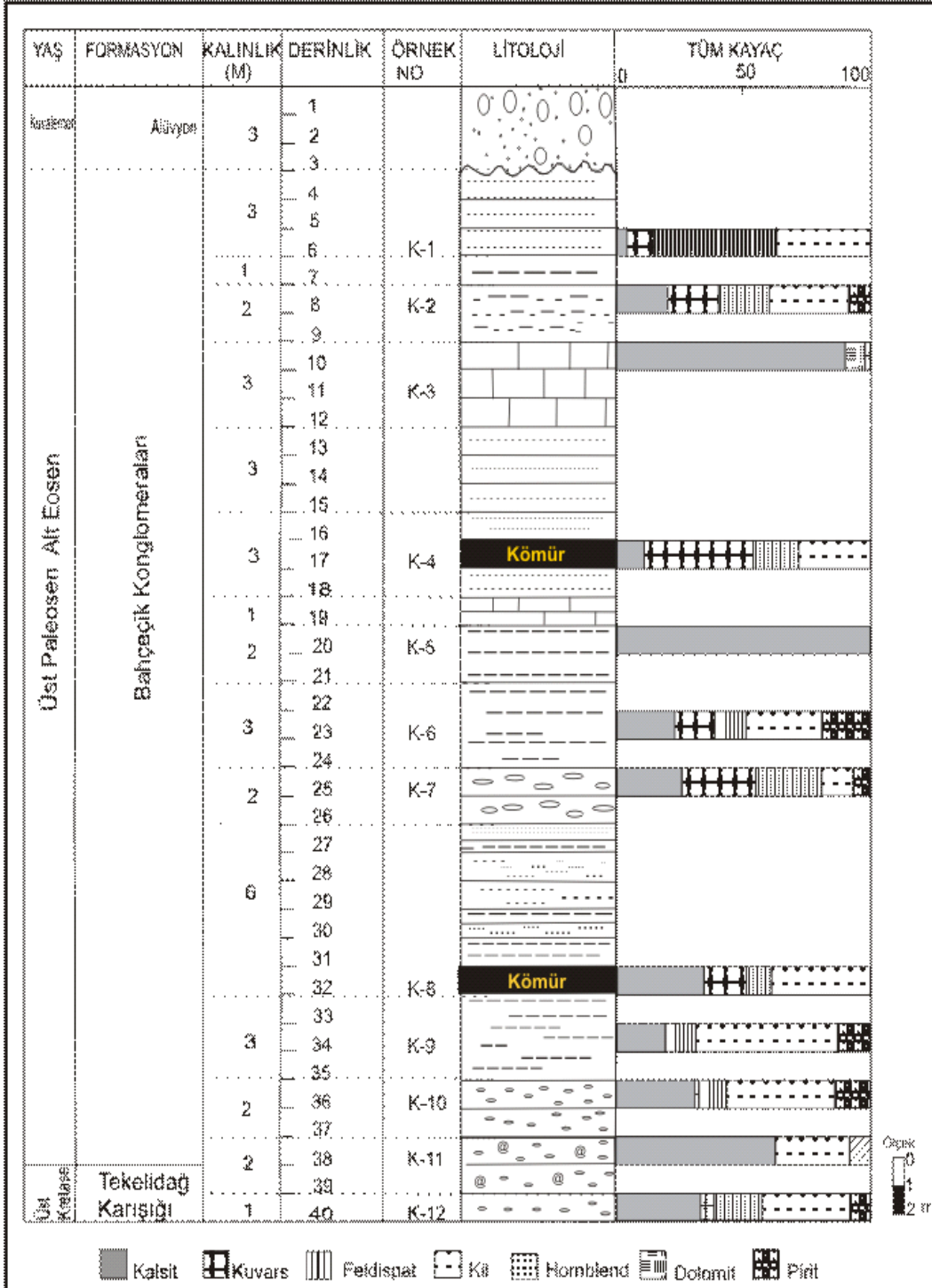
Z02878.RAW

H-6

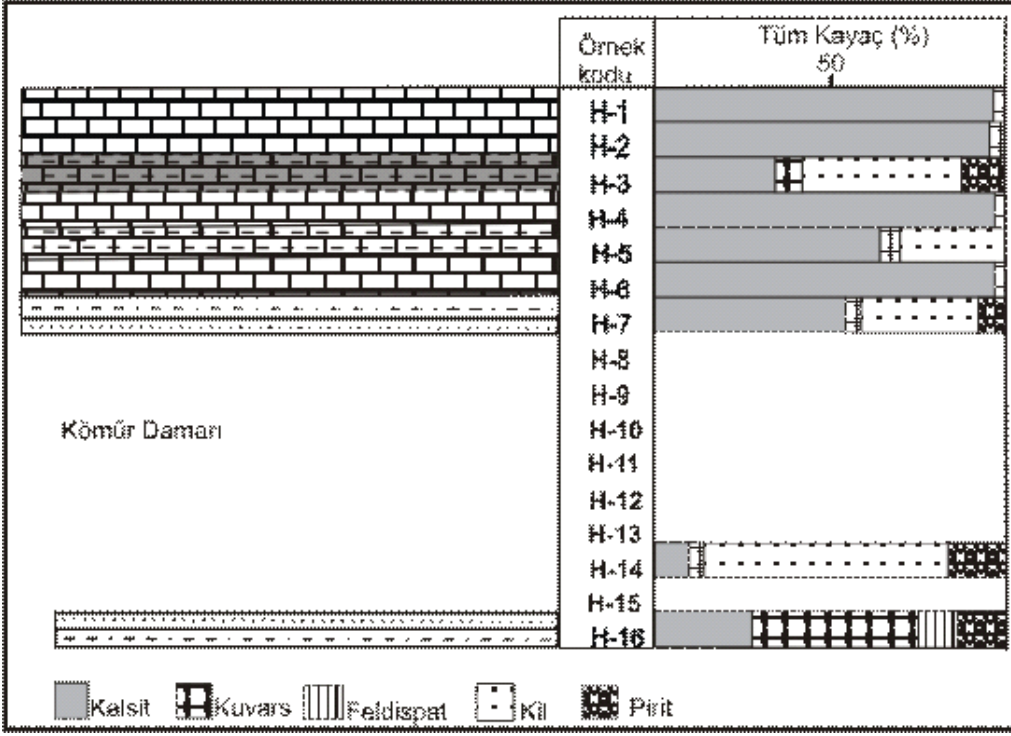


3.1. H-6 örneğine ait XRD-TK değerlendirmesi (Ka: Kalsit, Q: Kuvars)

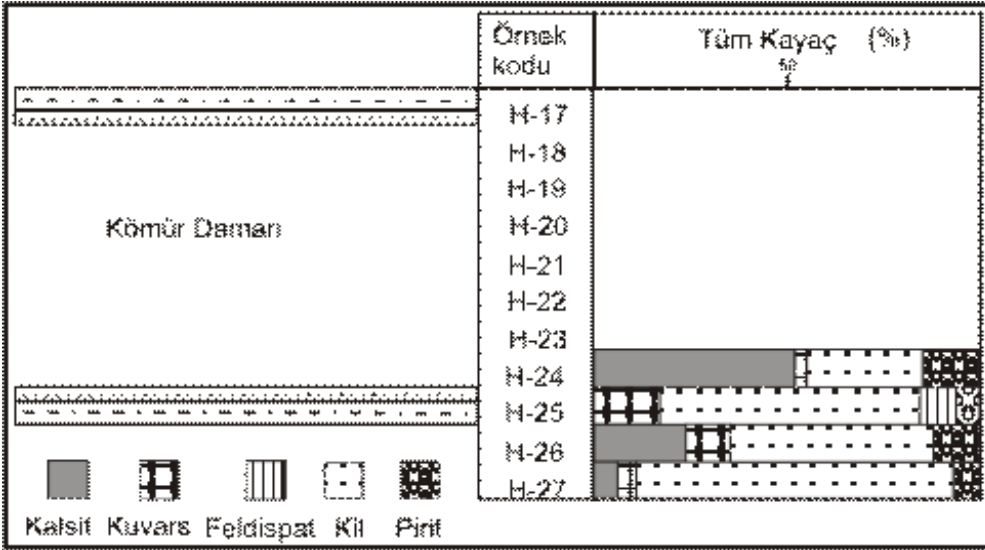
Şekil3.2. K-6 nolu örneğin XRD-TK değerlendirmesi (Ka: Kalsit, Q: Kuvars, K:Kil Mineralleri, F: Feldispat, Py: Pirit)



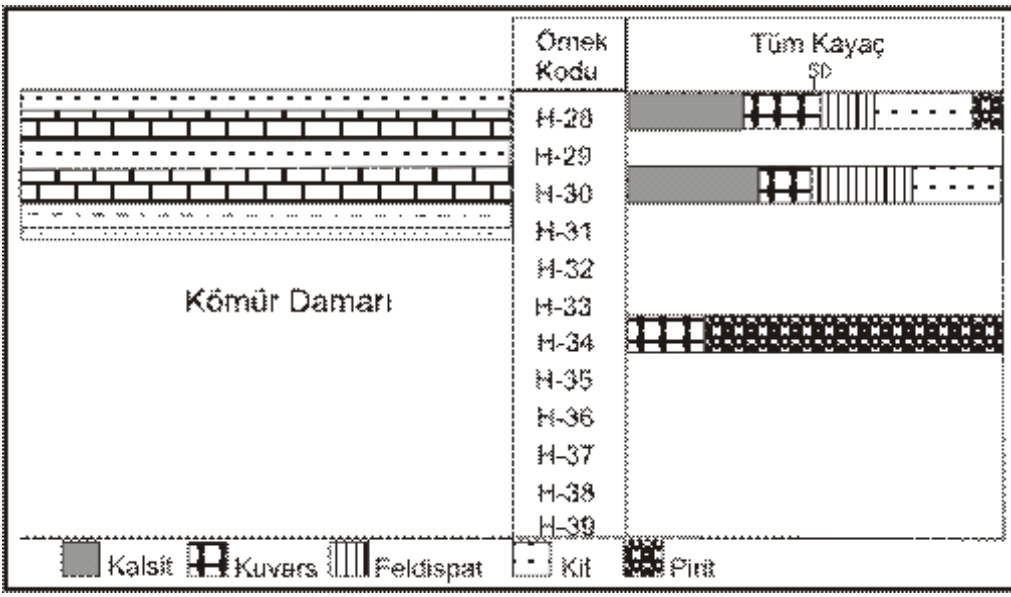
Şekil 3.3. İncelenen sondaj örneklerinin XRD-Tüm Kaya değerlendirmesi ve



Şekil 3.4. Desandre yanı kömür kesitinde XRD-Tüm Kaya değerlendirme (ölçeksiz)



Şekil 3.5. Desandre 1 kesitinde XRD-Tüm Kaya değerlendirme (ölçeksiz)



Şekil 3.6. Desandre 2 kesitinde XRD-Tüm Kaya değerlendirmesi (ölçeksiz)

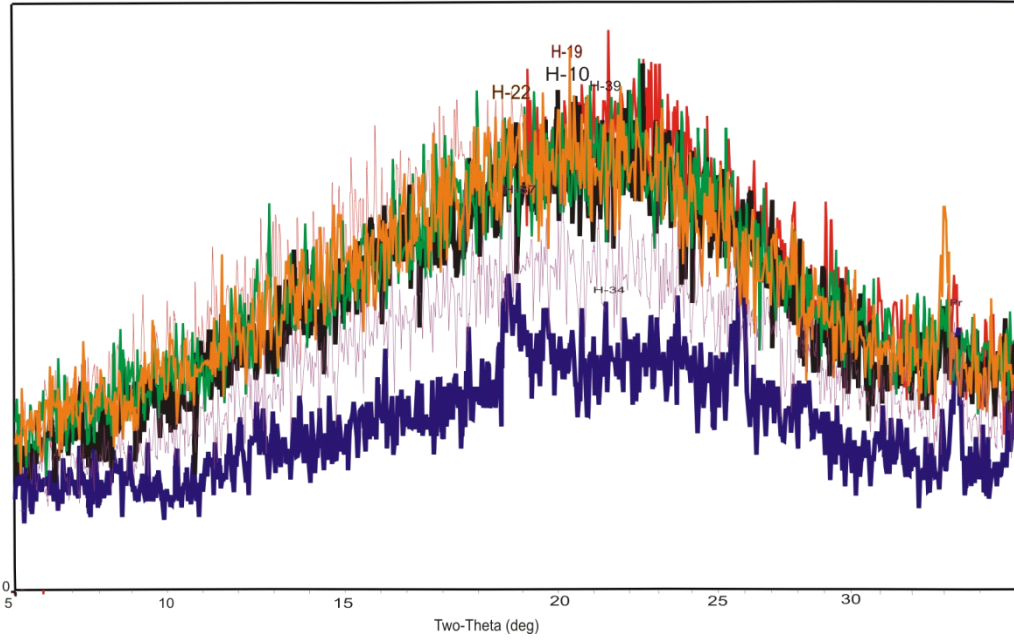
İnceleme alanındaki 10 adet kömürlü örneğin XRD-TK değerlendirmelerinde organik maddeye özgü geniş pik yükselimi veya kamburlar (hump) belirlenmiştir (Şekil 3.7). Genel anlamda farklı kömürleşme derecesine sahip kömür örneklerindeki hümit maddeye ait pik kamburları alginite ait kambura göre farklılık göstermektedir. Yüksek ranklı kömürler düşük ranklı olanlara göre daha geniş bir kambur ve daha yüksek şiddete sahiptir. Örneğin alginitler daha dar bir kambur alanı sergilemektedir. Bazı XRD çalışmalarında farklı organik madde tipleri ve kristalinite değerleri de difraktogramlara yansımaktadır (Khorsani, 1984; Nakamura ve diğ., 1989).

İncelenen kömür örneklerinin olgunlaşma değerlerinin birbirine çok yakın olması nedeniyle (Çizelge 3.2) kamburlar arasında yayılım ve şiddet açısından belirgin bir farklılık belirlenememiş olmakla beraber, organik madde miktarına göre kambur alanı ile yüksekliğinde bir miktar değişiklikten söz etmek mümkündür (Çizelge 3.2 ve Şekil 3.7). organik madde miktarındaki artışa paralel olarak kambur alanı ve yükselimi artmaktadır. (Şekil 3.8).

Çizelge 3.2. XRD-TK değerlendirmesi yapılan kömür örneklerinin mineralojik bileşim, R_{max} ve TOC içeriklerinin karşılaştırması

Örnek No	Mineralojik Bileşim					TOC (%)	R _{MAX} (%)	Kambur Alanı cm ²
	Kalsit %	Kuvars%	Kil %	Feldispat %	Pirit%			
H-3	33	7	47	-	13	26.31	-	
H-9	-	22	-	-	78	10.26	0.474	

H-10						43.59	0.479	10.63
H-16	28	46	-	12	14	0.75	-	
H-19						40.58	0.488	9.35
H-22						70.49	0.489	11.23
H-25	-	18	68	8	6	60.57	0.450	
H-34						63.76	0.458	10.78
H-37						57.25	0.484	9.87
H-39						72.45	0.487	11.35



Şekil 3.7. İncelenen 6 kömür örneğinin XRD-TK değerlendirme sonuçları ve organik kambur ilişkisi (H-19, H-10, H-34, H-37, H-22, H-39)

Şekil 3.8. İncelenen 6 kömür örneğinin XRD-TK, TOC değerlendirme sonuçları ve organik kambur ilişkisi

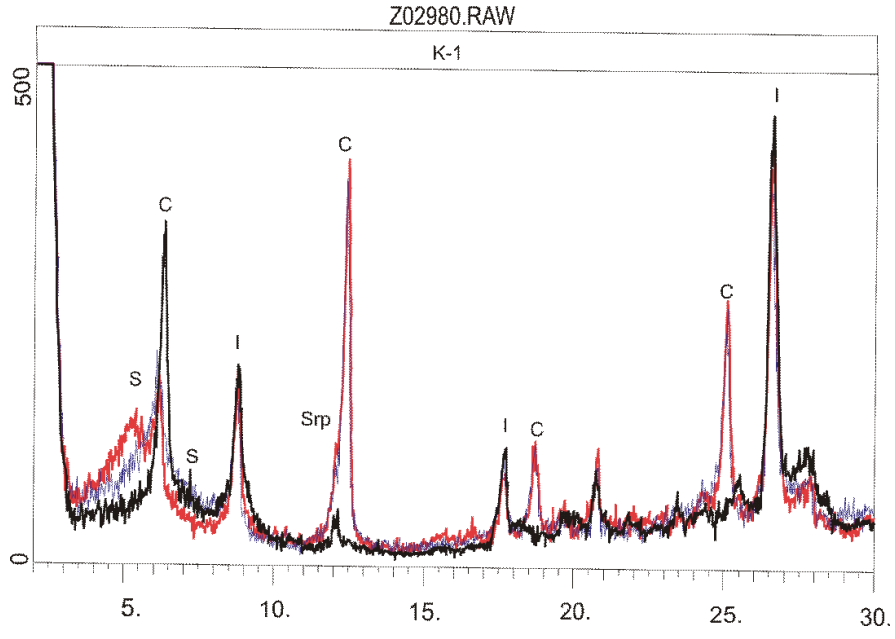
İnceleme alanı örneklerinden toplam 16 örnekte XRD-KF incelemesi yapılmıştır (Çizelge 3.3). İncelenen örneklerinin kil fraksiyonu; illit (% 15-31 ortalama: % 16), smektit (% 24-67 ortalama: % 20), klorit (% 15-72 ortalama: % 39), paligorskit (tek bir örnekte % 19 oranında), serpantin (% 9-51 ortalama % 20) ve sepiyolitlerden (tek bir örnekte % 49) oluşmaktadır (Çizelge 3.3) (Şekil 3.9).

Çizelge 3.3. İncelenen örneklerin XRD-KF değerlendirme sonuçları

Örnek No	İllit %	Smektit %	Klorit %	Serpantin %	Poligorskit %	Sepiyolit %
K-1	36	24	28	12	-	-
K-2	51	-	49	-	-	-
K-4	27	-	46	27	-	-
K-6	15	42	15	9	19	-
K-8	31	-	69	-	-	-
K-9	-	39	38	23	-	-
K-10	-	56	20	24	-	-
K-12	-	67	33	-	-	-
H-14	28	-	72	-	-	-
H-24	-	-	59	41	-	-
H-26	-	-	-	51	-	49
H-27	-	-	53	47	-	-
H-28	17	37	26	20	-	-

Smektit; birimin egemen kil minerallerinden biridir. Hemen hemen saf bileşimlerdir. Bazen tek başına kil fraksiyonu oluşturduğu gibi, diğer kil mineralleri ile birlikte de gözlenmektedir. Paligorskit; saf fraksiyonların yanı sıra, diğer kil mineralleri ile de bulunabilmektedir.

İncelenen örneklerin alt düzeyinde yer alan ofiyolitik birimler yaygın serpantin getirimine ve dolayısıyla paligorskit ve sepiyolit gelişmesine olanak sağlamıştır.



Şekil 3.9. K-1 nolu örneğin XRD-KF değerlendirmesi (S: Smektit, C: Klorit, I: İllit, Srp: Serpantin)

4. ORGANİK PETROGRAFİ İNCELEMELERİ

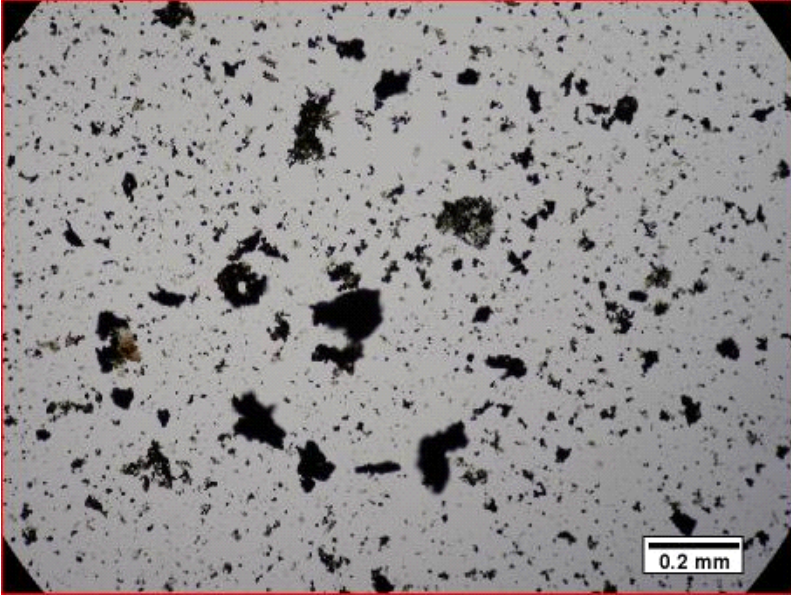
İnceleme alanındaki kömürlü düzeyler ve yan kayalardan alınan örneklerdeki organik madde türleri ve olgunlaşma değerlerinin mikroskobik olarak belirlenebilmesi için 10 adet örnekte standart palinolojik yöntemlerle ile kerojen slaytları hazırlanmış ve bunların alttan aydınlatmalı ve floresans mikroskopta incelenmesi ile organik madde türlerinin yaklaşık % oranları ile kerojenlerin alterasyon renklerinden yararlanılarak olgunlaşma değerleri belirlenmiştir (Çizelge 4.1).

İncelenen örneklerin içinde egemen organik maddeyi kömürsü organik maddeler oluşturmaktadır (% 75-95 aralığında ve ortalama % 83). Bunun yanı sıra % 5-15 odunsu (ortalama % 9), % 5 otsu ve % 5-10 da amorf (ortalama % 5) organik madde de gözlenmiştir (Çizelge 4.1) (Şekil 4.1, 4.2, 4.3, 4.4).

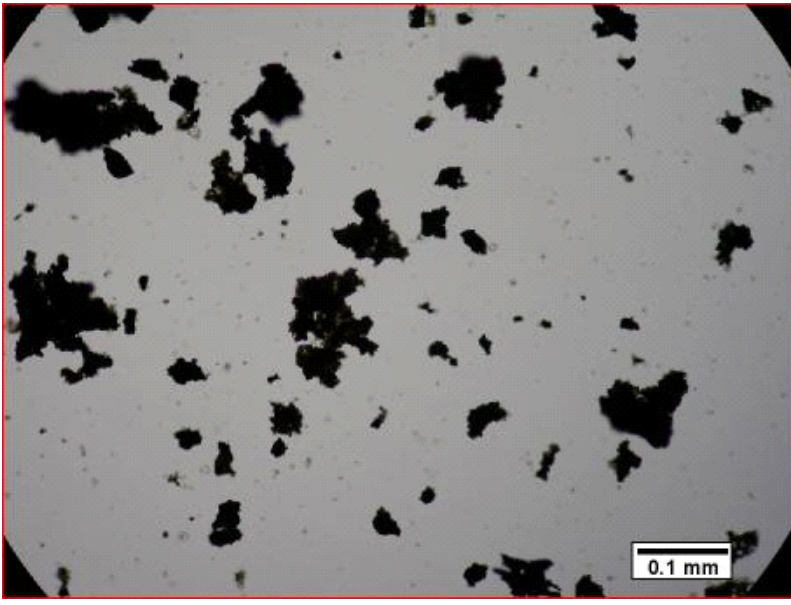
İncelenen örneklerin kerojen renkleri genellikle açık sarı, açık kahverengi olup olgunlaşmamış organik maddeyi temsil eder. İçerisinde spor belirlenebilen örnekler olmakla birlikte bunlar da açık sarı-renksizdir ve olgunlaşmamış aşamayı belirtir.

Çizelge 4.1. İncelenen örneklerin kerojen slaytlarındaki organik madde dağılımları

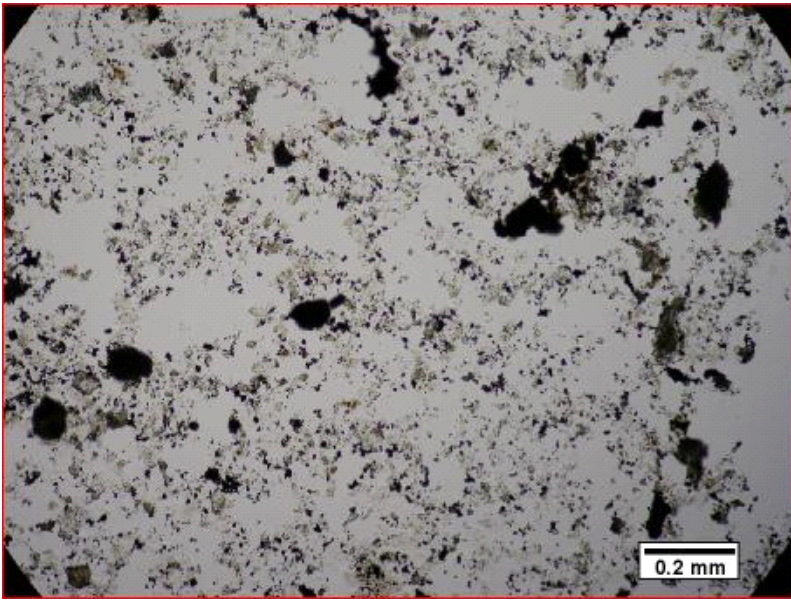
Örnek No	Amorf (%)	Otsu (%)	Odunsu (%)	Kömürsü (%)
H-1	5	5	10	80
H-2	-	5	5	90
H-4	10	5	5	80
H-6	5	5	10	80
H-28	10	5	5	80
H-29	10	5	5	80
K-7	-	-	5	95
K-9	-	-	10	90
K-10	-	5	15	80
K-11	5	5	15	75



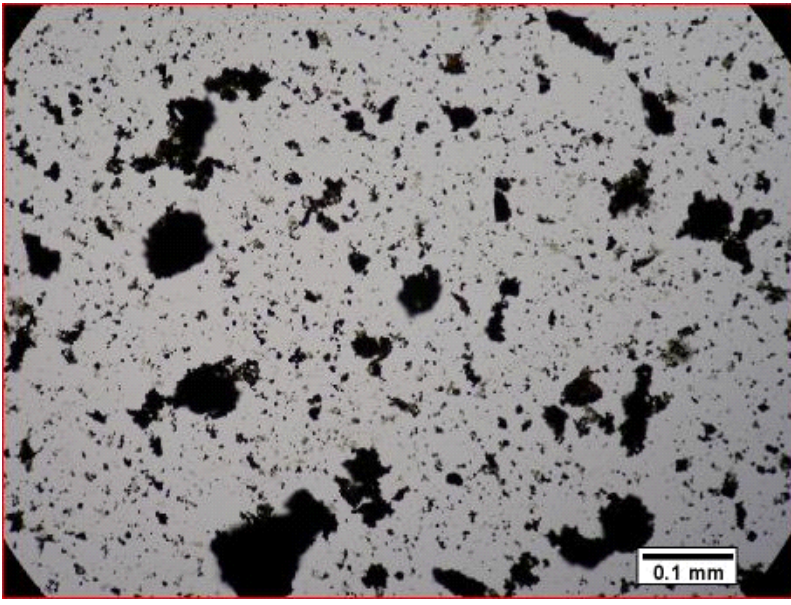
Şekil 4.1. H-1 nolu örnekte kömürsü ve odunsu organik bileşenler ve saçılmış amorf organik maddeler



Şekil 4.2. H-2 nolu örnekte taşınma etkisiyle yuvarlaklaşmış kömürsü organik bileşenler



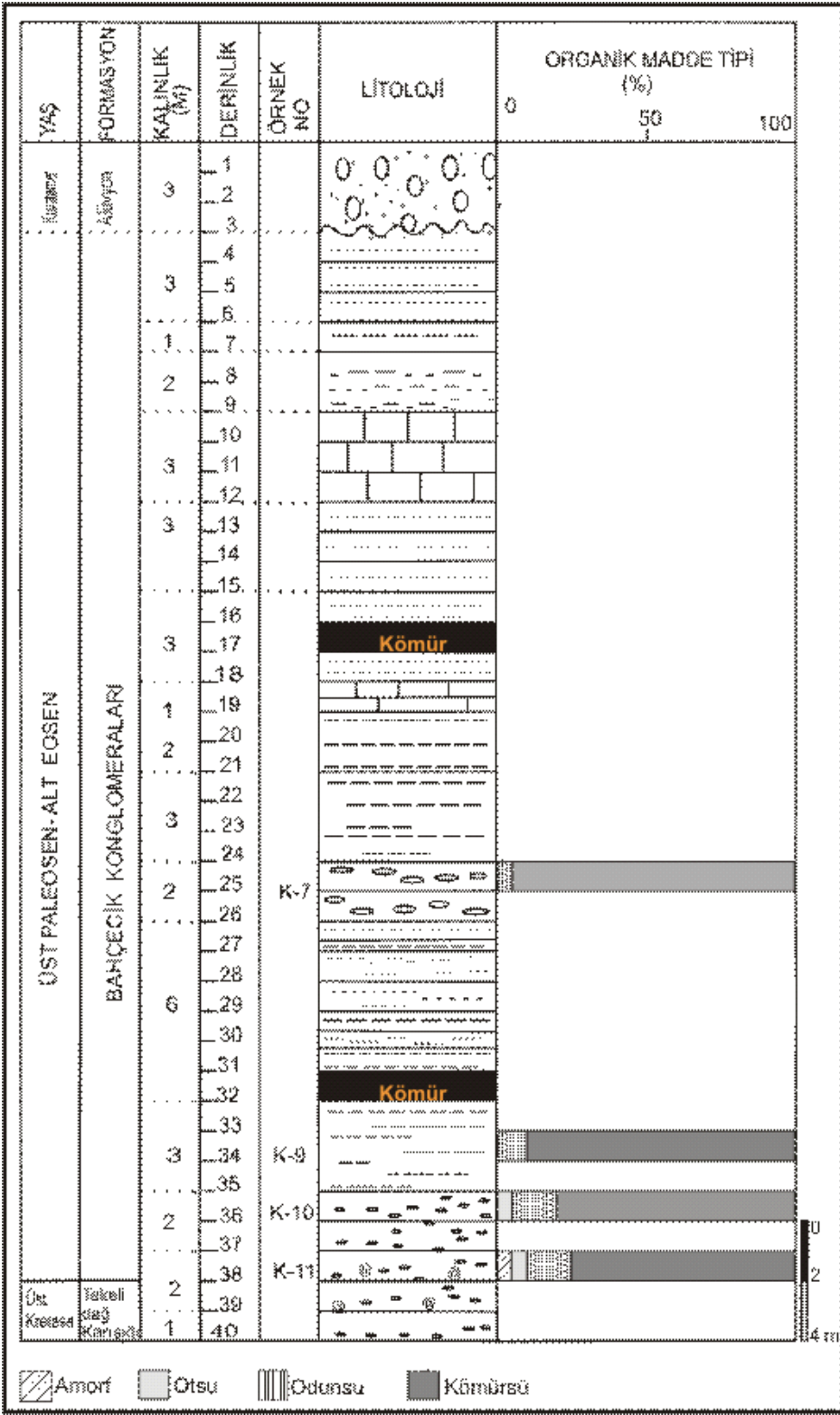
Şekil 4.3. H-28 nolu örnekteki karasal özellikli saçılmış amorf organik maddeler



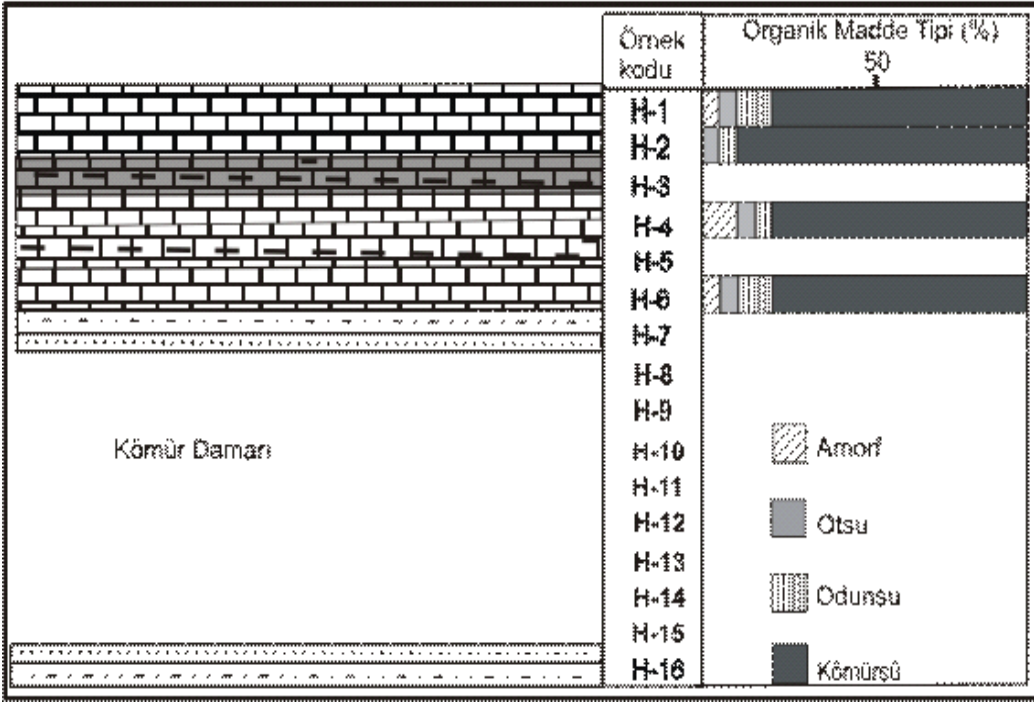
Şekil 4.4. K-9 nolu örnekte parçalanmış, dağılmış karasal özellikli organik bileşimler

Kerojen slaytlarının alttan aydınlatmalı mikroskopta incelenmesi ile organik madde bileşimlerinin egemen olarak odunsu ve kömürsü bileşenlerden oluştuğu görülmektedir (Şekil 4.5). Amorf organik bileşenler çoğunlukla karasal kökenli malzemelerin taşınma sırasında geçirdiği alterasyon etkileri sonucunda kırılıp parçalanması ile amorf özelliğini kazanmıştır. Sondaj örneklerinin organik madde tipi dağılımları (Şekil 4.6) ve desandre yanı ve desandre 2 örneklerinin organik madde tip özellikleri Şekil 4.7 ve 4.8 de sunulmuştur.

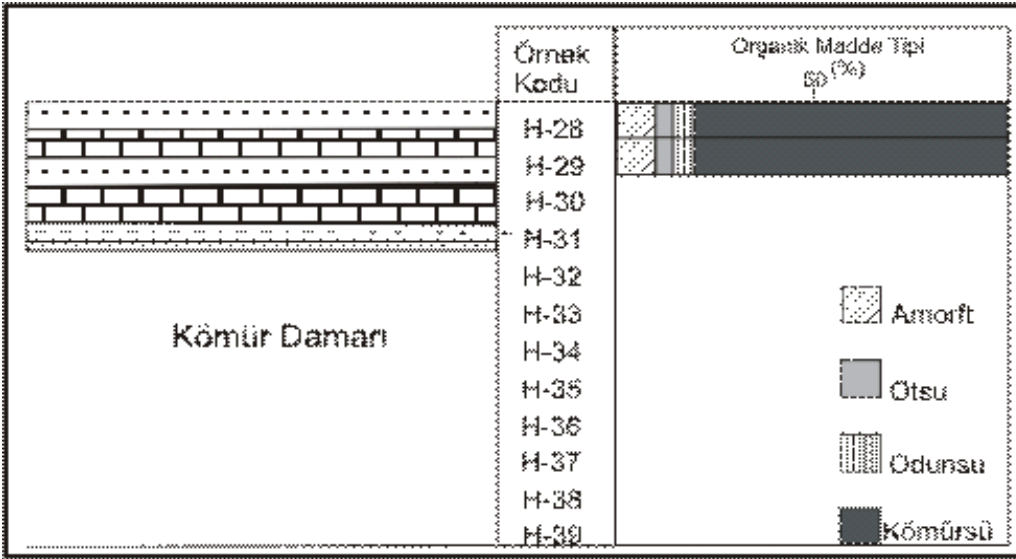
Şekil 4.5. İncelenen örneklerin organik madde tiplerinin üçgen diyagram üzerinde dağılımı



Şekil 4.6. İnceleme alanına ait sondaj örneklerinde organik madde tipi dağılımları



Şekil 4.7. Desandre yanındaki kömür kesiti örneklerinin organik madde tipi değerlendirmesi



Şekil 4.8. Desandre 2 örneklerinin organik madde tipi değerlendirmesi

5. KÖMÜR PETROGRAFİSİ İNCELEMELERİ

Kömürlü birimlerin petrografik incelemesi arazi gözlemleri ve laboratuvar değerlendirmeleri olarak iki şekilde yapılmaktadır.

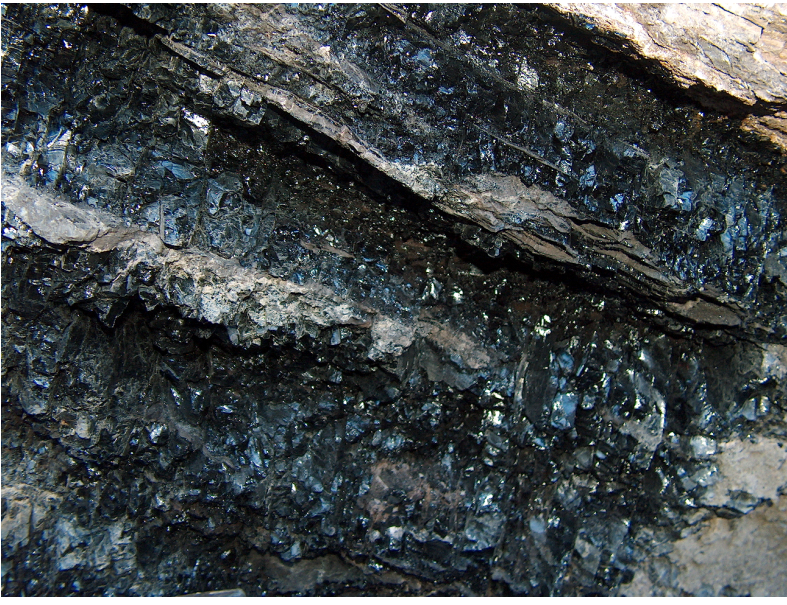
Makroskobik değerlendirmeler kömürün sahadaki renk, kırılma özelliği, parçalanma karakteri, tabakalanma nitelikleri gibi özellikleri dikkate alınarak litotip düzeyinde yapılmaktadır. Mikroskobik özellikleri ise kömür örneklerinden hazırlanan parlatma bloklarının üstten aydınlatmalı özel mikroskop düzeneğinde maseral, maseral grubu ve mikrolitotip karakterlerinin belirlenmesini kapsar.

5.1. Makroskobik Değerlendirmeler

Bir kömür parçasının makroskobik değerlendirmesi ile renk, parlaklık, eli boyama ve parçalanma karakteri bakımından farklı yüzeylere ve görünümlere sahip olduğu görülür. Taşkömürlerinde olduğu gibi bazı kömürler kübik bölünmeler şeklinde ufalanırken, antrasitler midye kabuğuna benzer şekilde konkoidal kırılırlar. Turbalarda bitki parçaları izlenirken, bazı kömürlerde kalın, ince parlak ve mat bantlaşmalar bulunur.

Özellikle taşkömürü seviyesinde kömürler bantlı görünümündedir ve makroskobik incelemelerde bantlı, mat, parlak veya elde is bırakan nitelikli bileşenleri “Litotip” olarak adlandırılır. Farklı dört litotip mevcuttur. Bunlar vitren, klaren, düren ve füzen’dir (Stopes, 1935).

Hafik kömürlerinin makroskobik gözlemlerinde siyah renkli, parlak ve killerden oluşan mat ve gri-koyu gri ve kahverenkli kısımlar araldanmalı olarak bulunur (Şekil 5.1). Kırılmaları prizmatik ve kolaylıkla dağılabilen özelliktedir. Kömür bant kalınlıklarının 2-10 mm civarında olduğu, bazı karbonatlı ve killi düzeyleri sıkça araldanma şeklinde içerdiği gözlenmiştir (Şekil 5.2). Kömür litotip özelliği olarak incelenen kömürlerin vitren, klaren ve düren araldanmasından oluştuğu belirlenmiştir (Şekil 5.3). **Vitren**, kömürlerde makroskobik olarak tanınabilen, ince, siyah camsı homojen bant olup, kalınlığı 3-10 mm’den daha fazladır. Bu litotip, eli boyamamaktadır ve genellikle çok kırılğan olup, tabakalanmaya dik yöndeki çatlaklarıyla karakteristiktir. **Klaren**, diğer litotiplerin (vitren, düren ve/veya füzenin) ince bantlarının araldanmasından oluşur. Bant kalınlığı 3-10 mm’den azdır. Parlak, çizgisel, bazen merceksi, çok küçük, ince taneli, ipek parlaklığındaki litotiptir.



Şekil 5.1. Hafik kömürlerinin makroskobik görünümü (Desandre yanı)



Şekil 5.2. İncelenen kömürlerle birlikte bulunan ince kil bantları, kireçtaşı seviyesi ve çakıllı düzeyler (Desandre yanı)



Şekil 5.3. İncelenen kömürleri oluşturan litotiplerin görünümü (Desandre yanı)

Düren ise, sert, mat, eli boyamayan, kompakt kömür bandıdır. Bu özelliğiyle, çoğunlukla karbonlu şeyl veya saf olmayan kömürle karıştırılabilir. Ancak, daha düşük yoğunluk ve kül içerikleriyle bunlardan kolayca ayrılabilir. Bant kalınlığı, vitren gibi, 3-10 mm'den daha fazladır.

Kömür litotiplerinden bir olan ve diğerlerinden farklı olarak eli boyama özelliği olan füzenler inceleme alanındaki kömürlerde belirlenememiştir.

5.2. Laboratuvar Değerlendirmeleri

Kömürlerin daha iyi anlaşılabilmesini, tanınabilmesini sağlayan en önemli yöntemlerden birisi şüphesiz kömürün petrografik olarak değerlendirilmesidir. Kömürlerin petrografik olarak incelenmesi, makroskobik gözlemler yanısıra mikroskop altında orijinal halleriyle incelenmelerini ve gözlemlenmelerini de içermektedir

Kömür petrografisi incelemelerinde maseraller farklı morfolojik yapı, farklı fiziksel ve kimyasal özelliklerinden dolayı gruplandırılır. Bunlar vitrinit (linyit ve alt bitümlü kömürlerde hüminit), liptinit (ekzinit) ve inertinit'tir. Çizelge 5.1 de bu maserallerin üstten aydınlatmalı mikroskopta tanımlanma özellikleri belirtilmiştir.

Maseral Grubu	Maseral	Yansıyan Işıktaki Görünümleri
Vitrinit	Telinit	Hücre yapısı gösterir, griden sarımsı beyaza kadar renk gösterir, kolinit ile birlikte belirgin bantlaşmalar gösterir.
	Kolinit	Diğer maseraller için arka plan durumundadır; telinit'in hücre dolgusu olup belirli bir yapısı yoktur; griden sarımsı beyaza kadar renk gösterir.
Liptinit	Sporinit	Elips şekilli uzunca cisimler; koyu griden açık griye renkler gösterir
	Kütinit	İnce, uzun şeritler şeklinde koyu gri-açık gri renkler gösterir.
	Alginit	Alglerden türemiş olup beraberindeki vitrinit ve sporinit'ten daha az ışık yansıtırlar; koyu gri renktedirler.
	Rezinit	Belirgin küçük yapılar; yuvarlak oval ve çubuk şekillidirler; siyah, gri renktedirler.
Inertinit	Makrinit	Belirgin olmayan şekillerdedir (≥ 10 mikron); inceden kalına granüler özellikli; beyaz, çok açık renktedirler.
	Füzinit	Belirgin merceksi, bantlı, hücre dokusu kırıkları veya hücre dokusu şekillerdedir. Sarımsı-beyaz renktedirler.
	Mikrinit	Çok küçük (<10 ama yaklaşık 1 mikron boyutunda) taneciklerdir. Beyazdırlar.
	Semifüzinit	Vitrinit ve füzinit arasında bir renkte olup, hücre yapıları füzinit gibi belirgin değildir. Açık gri-beyaz renktedirler
	Sklerotinit	Yuvarlak veya oval şekilli veya ara bağlantılı lifsi dokular gösteren kütlelerdir; açık griden sarımsı beyaza kadar değişik renkler gösterirler.

Çizelge 5.1. Maserallerin yansıyan ışıktaki tanımlama kriterleri ve bazı özellikleri (ICCP, 1963)

İnceleme alanındaki kömürlü düzeylerden alınan 8 örnekte parlatma kalıpları hazırlanmış ve örneklerin petrografik değerlendirmesi MTA MAT Dairesi laboratuvarlarında yapılmıştır. Bu örneklerdeki egemen maseral grubu vitrinitlerdir (hüminit) (%65-85, ortalama % 79). Bunun yanı sıra liptinit % 4-12 (ortalama % 6) ve % 2-13 oranında (ortalama % 5) da inertinitler bulunmaktadır (Çizelge 5.2) (Şekil 5.4).

Çizelge 5.2. İnceleme alanındaki kömürlü seviyelerin organik petrografik değerlendirmesi

Örnek No	Vitrinit\ Hüminit (%)	Liptinit (%)	İnertinit (%)	İnorganik Madde (%)	Pirit (%)
H-9	81	6	4	7	2
H-10	82	5	3	8-7	2
H-19	85	4	2-3	7-8	1
H-22	83	4	2	6-7	4
H-25	78	4	2	14	2
H-34	65	12	13	6-7	3
H-37	80	6	3-4	8	2
H-39	81	5	7	6	2

Çalışma alanında bulunan kömürlerin en önemli bileşeni olan hüminit (vitrinit) maseral grubunun en baskın türü homojen ve geniş yüzeylere sahip dokusuz görünümüyle karakteristik maserali ‘gelinit’ lerdir. Liptinit grubu içinde sporinit ve kütinit’ler en yaygın maserallerdir. İncelenen kömürlü örneklerin maseral gruplarının üçgen diyagramdaki dağılımları Şekil 5.4 de verilmiştir. Hüminit grubu maseraller yoğun bir şekilde görülmektedir.

İnertinit grubunda ise en yaygın maseraller; füzinit ve mikrinitlerdir (Şekil 5.5, 5.6). Vitrinit maseralleri ile birlikte diğer maseraller ve inorganik bileşenler aralanma şeklinde de gözlenmiştir (Şekil 5.7, 5.8). Kömürlerde gelinitler her zaman tek başına bulunmaz, genellikle sporinitler ve mikrinitler eşlik eder (Şekil 5.9, 5.10, 5.11). Ayrıca gelinit oluşumları ile pirit oluşumları da belirlenmiştir (Şekil 5.11).

Liptinitlerde sporlar (H-9, H-10, H-22 ve H-37 nolu örneklerde) ve füzinitler (H-39 nolu örnek) normal mikroskop şartlarından daha net olarak floresan ışıkta izlenebilmiştir (Şekil 5.13).

İncelenen kömürlerdeki füzinitler kökensele açıdan önemli bilgiler sunmaktadır. Linyitlerde fasiyes belirleyici maseral ve maseral gruplarından hüminit (vitrinit), sporinit ve kütinitler kömürleri oluşturan bitkilerin kökenleri hakkında bilgi verirken, füzinit maseralleri turbanın depolanması sırasındaki su seviyesi hakkında bilgi vermektedir. (Hagemann and Wolf, 1989; Kalkreuth et al.,1991).

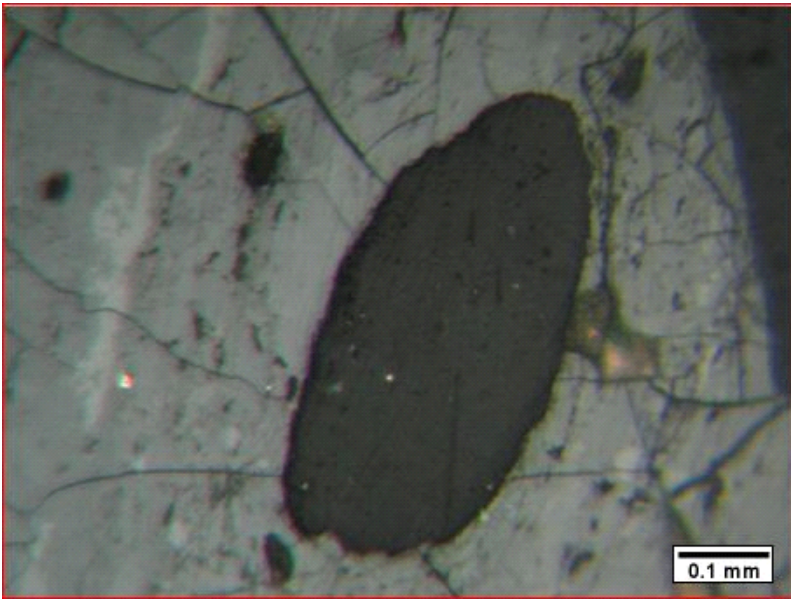
Şekil 5.4. İncelenen kömür örneklerindeki maseral dağılımları

İncelenen örneklerde inorganik madde oranı oldukça yüksektir. Bu oran % 6-14 arasında değişmekte olup ortalama % 8 dir (Çizelge 5.2). İnorganik bileşenlerden oranca en fazla olanı killer, daha sonra karbonat (kalsit), sülfatlı (jips) ve demirli (pirit) olan mineraller gelmektedir. Kömür bileşiminde önemli bir yere sahip olan piritler %1-4 arasında olup ortalama % 2 oranında bileşime katılmıştır (Çizelge 5.2).

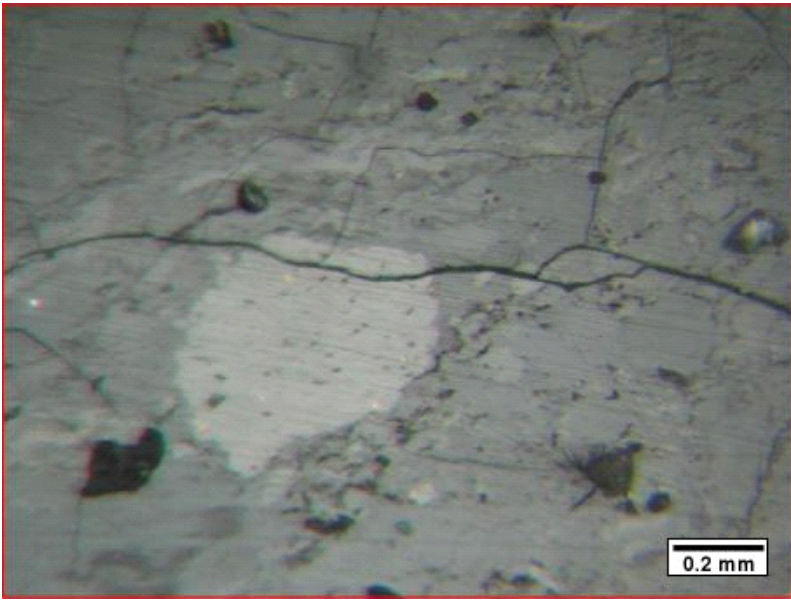
Kömürler, pirit açısından, hayli yüksek oranlara sahip kömürler olarak değerlendirilmiştir. Bunlarda en yaygın pirit şekli framboidal pirit (H-25) oluşuklarıdır (Şekil 5.14, 15). Bu özellik oransal ve oluşum ortamı bakımından özellikle Amynteo Baseni'ndeki (Yunanistan Kuzey Batısı) Apofysis Madenindeki Pliyosen linyitleri ile benzeşmektedir (Iordanidis ve Georgakopoulos, 2003).

Bunun dışında piritler, çatlak ve boşluk dolgusu şeklinde ve kömürler içerisinde dağılmış halde bulunan taneler şeklinde gözlenmiştir. Bunların dışında kil oluşumları da kömür dokuları içerisinde, kömürlerle mikroskobik ölçekte tabakalanma ve ardalanma gösterecek şekilde veya kömür içerisinde dağınık halde izlenmiştir.

Bahsedilen bu petrografik bileşimler yanı sıra inertinit, vitrinit, rezinit, kütinit maseralleri de belirlenmiş bazı kesitlerde çeşitli maseral gruplarını temsil eden maseral birliktelikleri izlenmiştir (Şekil 5.16, 5.17, 5.18).



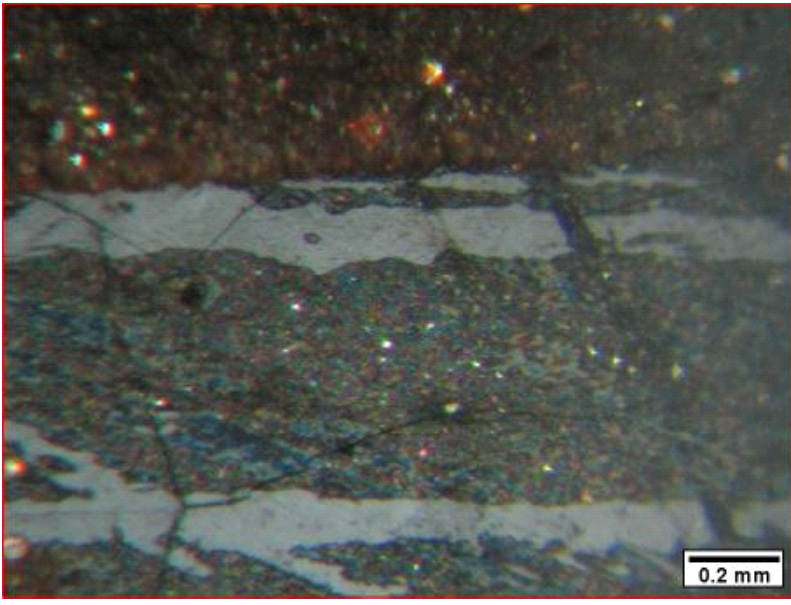
Şekil 5.5. H-9 nolu örnekte belirlenen sporinit ve mikrinit maseralleri



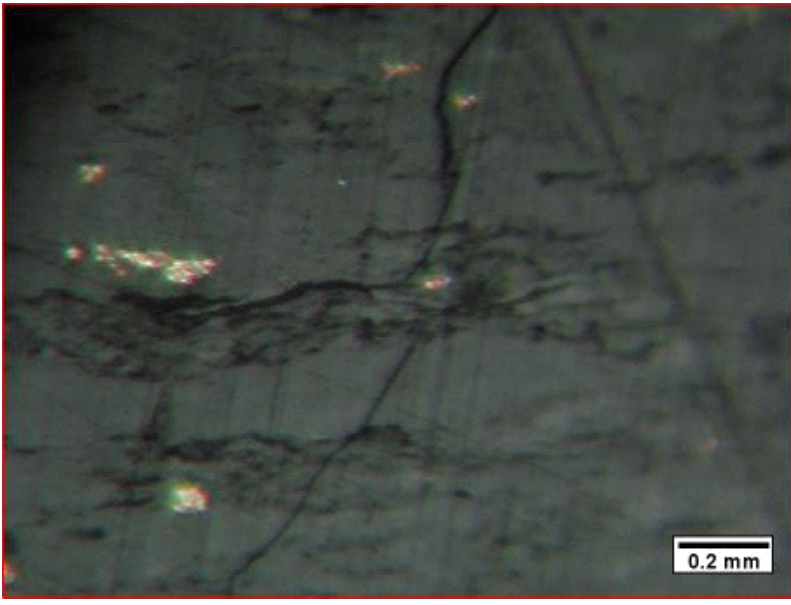
Şekil 5.6. H-9 nolu örnekte belirlenen sporinit ve mikrinit maseralleri



Şekil 5.7. H-10 nolu örnekte belirlenen sporinit ve mikrinit maseralleri ve inorganik madde



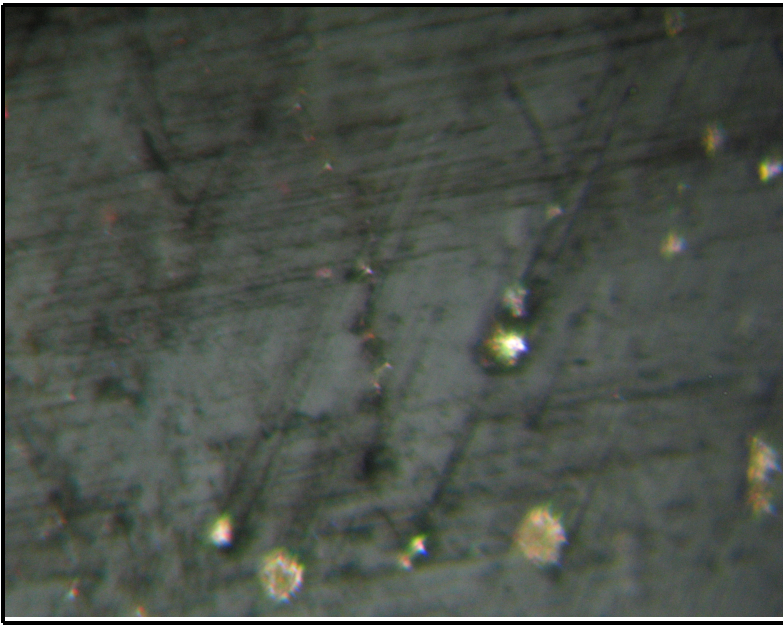
Şekil 5.8. H-19 nolu örnekte belirlenen vitrinit ve inorganik madde birlikteliği



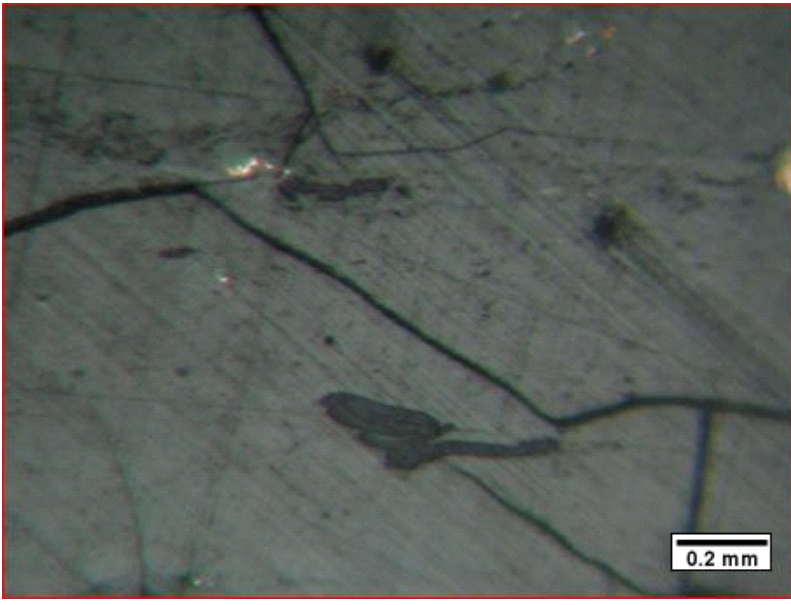
Şekil 5.9. H-19 nolu örnekte belirlenen gelinit maserali



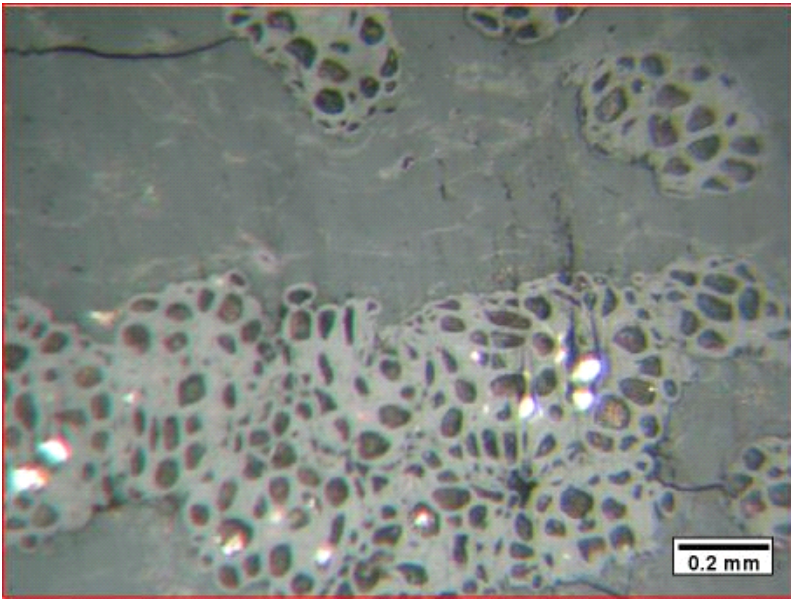
Şekil 5.10. H-22 nolu örnekte belirlenen gelinit maseralı



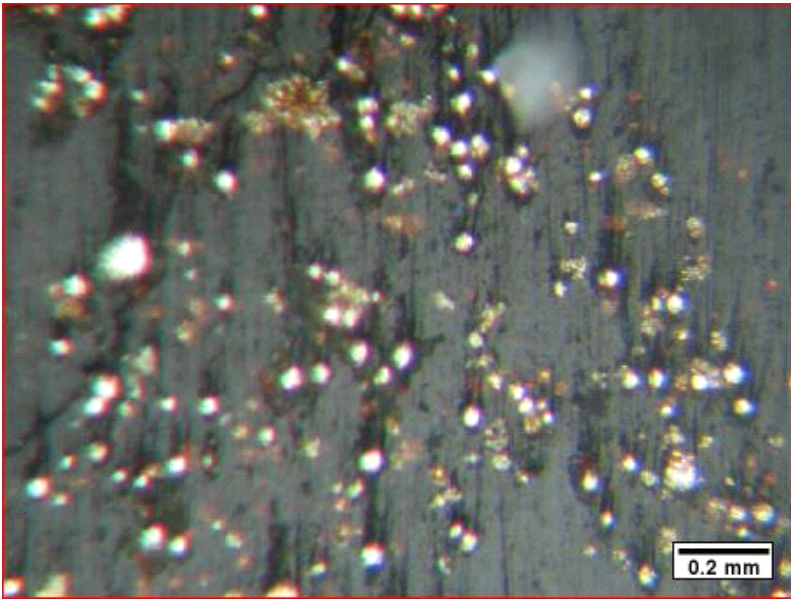
Şekil 5.11. H-22 Nolu örnekte belirlenen gelinit maserali ve framboidal piritler



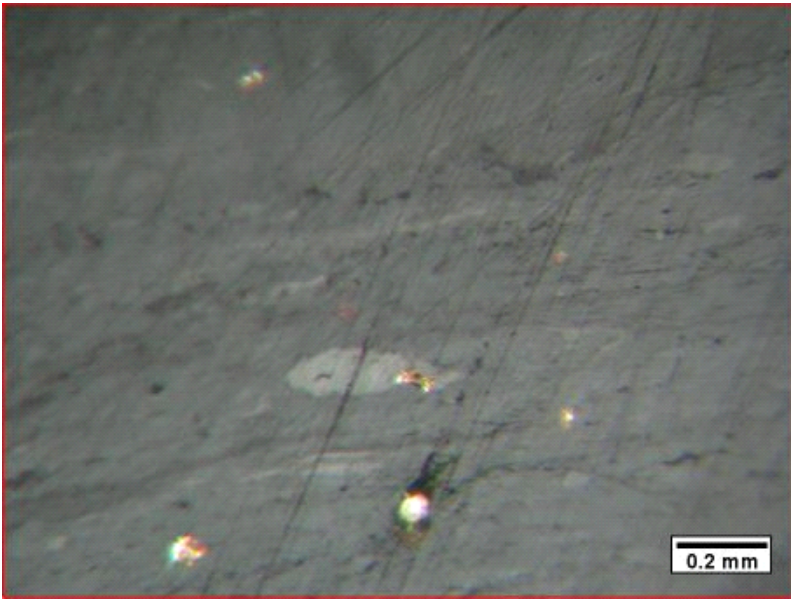
Şekil 5.12. H-22 nolu örnekte belirlenen gelinit maserali ve sporinit



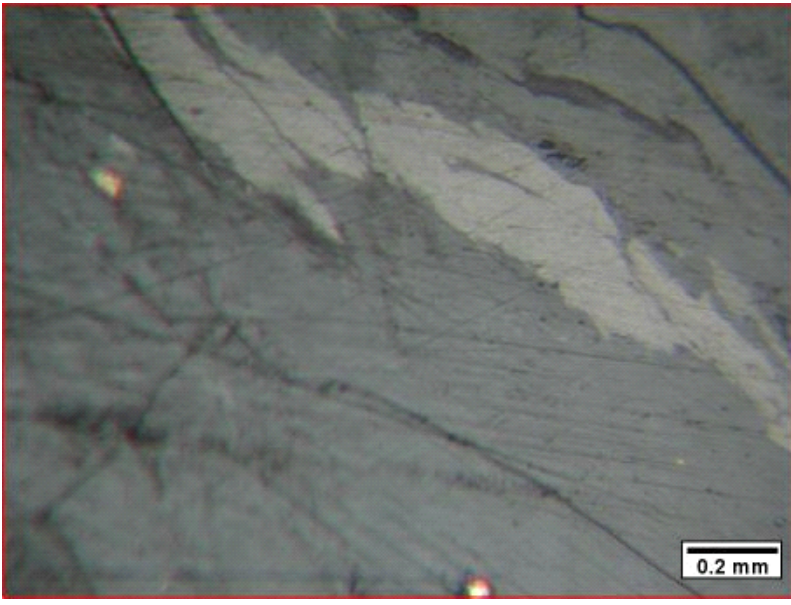
Şekil 5.13. H-34 nolu örnekte belirlenen fuzinit ve mikrinit maseralleri



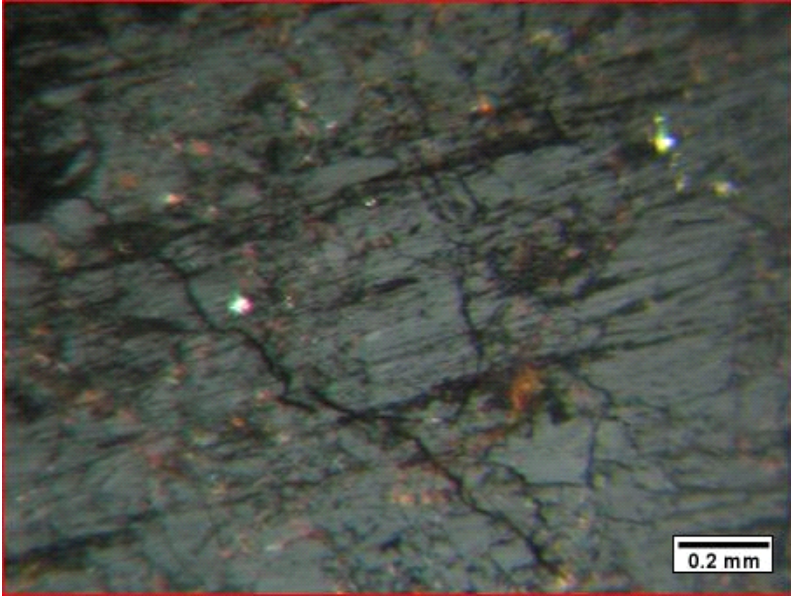
Şekil 5.14. H-25 nolu örnekte belirlenen romboidal pirit oluşumları



Şekil 5.15 . H-37 nolu örnekte belirlenen mikrinit, gelinit maseralleri ve piritler



Şekil 5.16 . H-37 nolu örnekte belirlenen inertinit ve vitrinitler



Şekil 5.17 . H-39 Nolu örnekte belirlenen vitrinit ve pirit oluşumları



Şekil 5.18. H-39 Nolu örnekte kütinit ve rezinitler

5.3. Vitrit Yansıması Ölçümleri

İncelenen örneklerin parlatma kalıplarından MTA Maden Analizleri ve Teknolojisi Dairesi laboratuvarında hüminitlerde (vitrit) minimum, maksimum yansıma değerleri belirlenmiş olup bunlara ait ortalama değerler de Çizelge 5.3 de sunulmuştur.

8 adet örneğin Rmax değerleri % 0.45-0.49 aralığında (ortalama % 0.48), minimum değerleri % 0.35-0.40 olup ortalama % 0.38 dir. Bu değerler incelenen kömür örneklerinin henüz olgunlaşmadığı ve diyajenez aşamasında olduğunu gösterir. Bu değerlendirme Rock Eval pirolizi ile belirlenen Tmax ve PI değerleri ile uyumludur.

Çizelge 5.3. İnceleme alanına ait örneklerin Vitrit yansıması (% Ro) değerleri

Örnek No	Rmax (%)	Rmin (%)	Rort (%)
H-9	0.474	0.360	0.417
H-10	0.479	0.399	0.439
H-19	0.488	0.398	0.443
H-22	0.489	0.363	0.426
H-25	0.450	0.352	0.401
H-34	0.458	0.393	0.426
H-37	0.484	0.392	0.438
H-39	0.487	0.383	0.435

İnceleme alanındaki kömürlü ve yan kayaçlara ait örneklerin Rock-Eval piroliz yöntemi ve kimyasal analiz sonuçlarına göre olgunlaşma değerlerine Bölüm 6'da değinilmiştir.

6. KÖMÜRLERİN ORGANİK JEOKİMYASAL İNCELEMELERİ

Bilindiği üzere kömür homojen olmayan, kompakt, çoğunlukla lignoselülozik bitki parçalarından meydana gelen, tabakalaşma gösteren, içerisinde çoğunlukla C, az miktarlarda H – O - S ve N elementlerinin bulunduğu ama inorganik (kil, silt, iz elementleri gibi) maddelerin de olabildiği, bataklıklarda oluşan, kahverengi ve siyah renkli, yanabilen, katı fosil organik kütlelerdir. Kömürler yakıt hammaddesi oldukları gibi, kok yapımı, kimyasal madde üretimi gibi değişik amaçlarda da kullanılabilirlerdir.

Kömürlerden özellikle doğal yollarla veya laboratuvar işlemleriyle gaz ve sıvılaştırma süreçleri ile de petrol ve petrol türevi (metan, etan vb) malzemeler elde etmek mümkündür. Son yüzyılda bu tip yeni enerji kaynaklarının elde edilmesi doğrultusunda önemli araştırmalar yapılmaktadır. Özellikle kömür jeokimyası çalışmaları ile kömürün petrol veya gaz türetme potansiyeli hakkında bilgi edinilebilmektedir. Bu çalışma ile de ilk kez Hafik civarında bulunan kömürlerin petrol ve gaz türüm potansiyelleri belirlenmeye çalışılacaktır.

Bu işlem sırasında yaygın olarak Rock-Eval piroliz analizi kullanılmaktadır. Bu çalışma sırasında araziden alınan örneklerin alterasyon etkilerinin gözlenmediği seviyeleri temsil etmesine dikkat edilmiş örneklerde TPAO Araştırma Merkezi Laboratuvarında (Ankara) Rock Eval Piroliz aleti ile analiz gerçekleştirilmiştir.

6.1. Rock Eval Piroliz Analizi

İnceleme alanına ait 18 örneğin TOC ve Rock Eval analiz sonuçları Çizelge 6.1 de sunulmuştur.

Çizelge 6.1. İncelenen örneklerin TOC ve Rock Eval analiz sonuçları

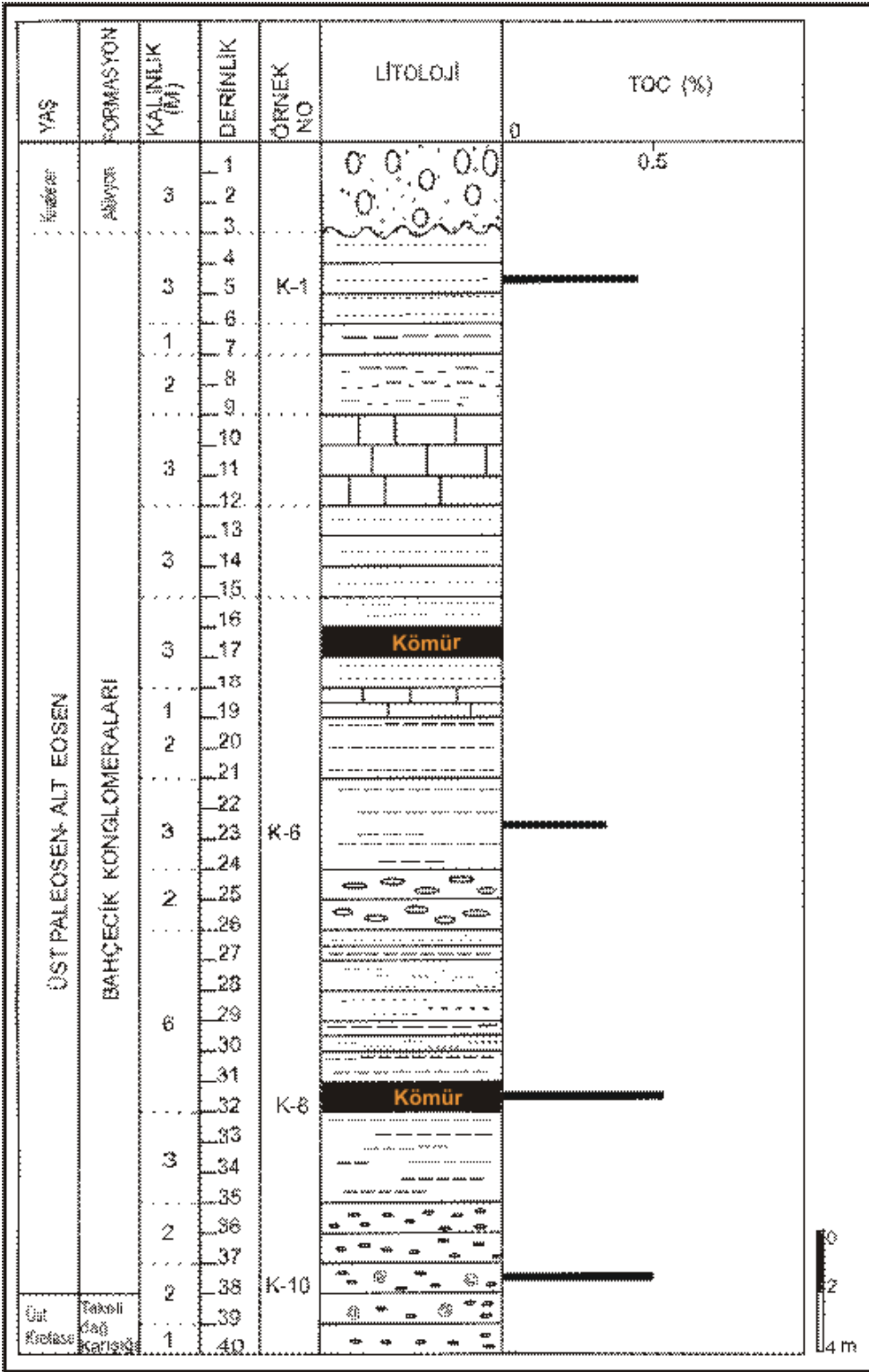
Örnek No	TOC	S1	S2	S3	S2/S3	Tmax	HI	OI	PI	RC	PC
H-1	16.11	0.32	46.97	10	4.7	430	292	62	0.01	11.64	4.47
H-3	26.31	0.56	68.2	14.68	4.65	430	259	56	0.01	19.76	6.55
H-5	8.03	0.2	30.98	3.96	7.83	431	386	49	0.01	5.2	2.83
H-9	10.26	0.77	10.67	2.7	3.95	423	104	26	0.07	9.08	1.18
H-10	43.59	1.13	50.54	8.91	5.68	417	116	20	0.02	38.42	5.17
H-16	0.75	0.03	0.75	0.65	1.15	426	100	87	0.04	0.65	0.1
H-19	40.58	0.93	54.68	8.02	6.82	418	135	20	0.02	35.2	5.38
H-22	70.49	1.07	108.54	12.26	8.85	412	154	17	0.01	60.26	10.23
H-25	60.57	1.45	78.3	14.29	5.48	418	129	24	0.02	52.64	7.93
H-29	23.75	1.18	95.49	4.88	19.5	426	402	21	0.01	15.34	8.41
H-31	14.18	0.54	62.73	3.44	18.24	429	442	24	0.01	8.67	5.51
H-34	63.76	0.81	69.25	14.75	4.7	424	109	23	0.01	56.72	7.04
H-37	57.25	1.2	97.66	11.67	8.3	419	171	20	0.01	48.03	9.22
H-39	72.45	1.15	125.85	11.9	10.5	417	174	16	0.01	60.7	11.75
K-1	0.41	0.02	0.09	0.86	0.1	418	22	210	0.02	0.36	0.05
K-6	0.32	0.01	0.07	0.55	0.13	418	22	172	0.15	0.29	0.03
K-8	0.51	0.02	0.21	0.44	0.48	426	41	86	0.08	0.47	0.04
K-10	0.48	0.03	0.08	0.73	0.109	416	17	152	0.31	0.44	0.04

6.2. Organik Madde Miktarı

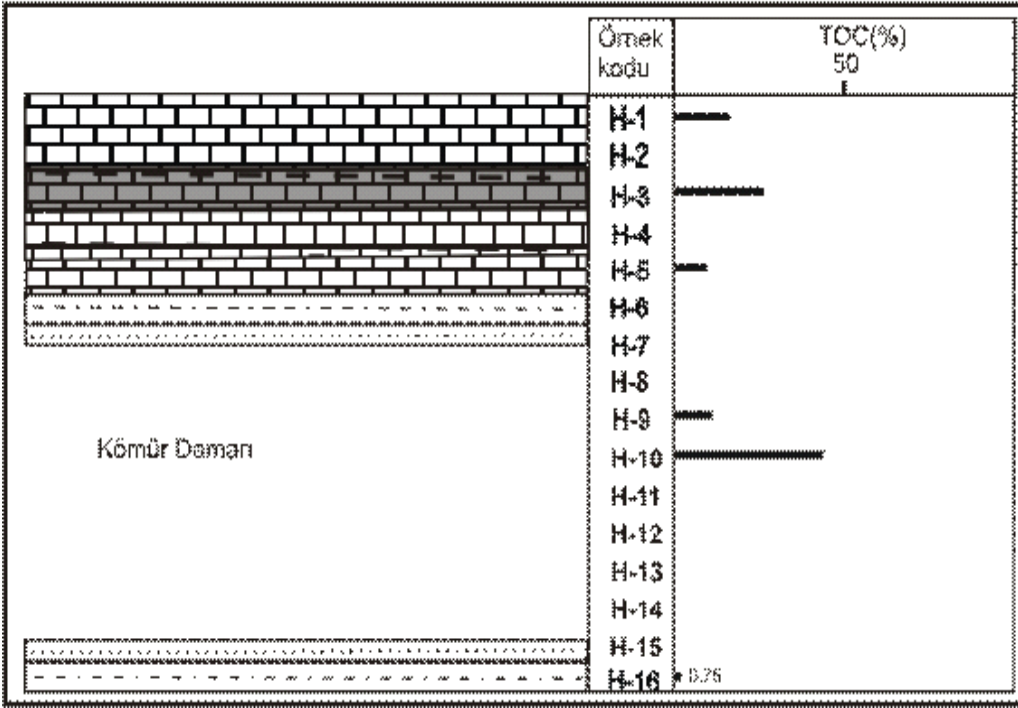
Kaynak kayaların petrol türetebilmeleri ve oluşan petrolün atılması (expulsion) için belli miktarda organik madde içermesi gerekir. Sedimanter kayaçlardaki organik madde miktarı ağırlık yüzdesi olarak verilen Toplam Organik Karbon (TOC) değeri ile ifade edilir. Bu değer karbonatlı kayaçlar için % 0,3, şeyller için ise % 0,5'dir (Tissot ve Welte, 1984). Aslında TOC değeri gerçek bir petrol potansiyel belirteci olmayıp organik madde türü de burada önemli rol oynamaktadır. Örneğin grafit % 100 karbondan oluşur ancak petrol türetme potansiyeli yoktur. Yine bazı Tersiyer deltaik denizel çökeller % 5 den fazla TOC ye sahiptir ancak organik maddenin gaz türetme veya inert özelliğinden dolayı çok az petrol türetilmektedir (Katz, 1995). Buna karşın dünya çapındaki bütün organik jeokimyasal çalışmalarda araştırmacılar tarafından rutin olarak kullanılan bir analiz türüdür.

Bu çalışmadaki TOC verileri TPAO Araştırma Grubu Jeokimya Laboratuvarlarında Rock-Eval pirolizi işlemi ile elde edilmiş ve TOC değerlendirilmeleri Peters (1986)'a göre yapılmıştır.

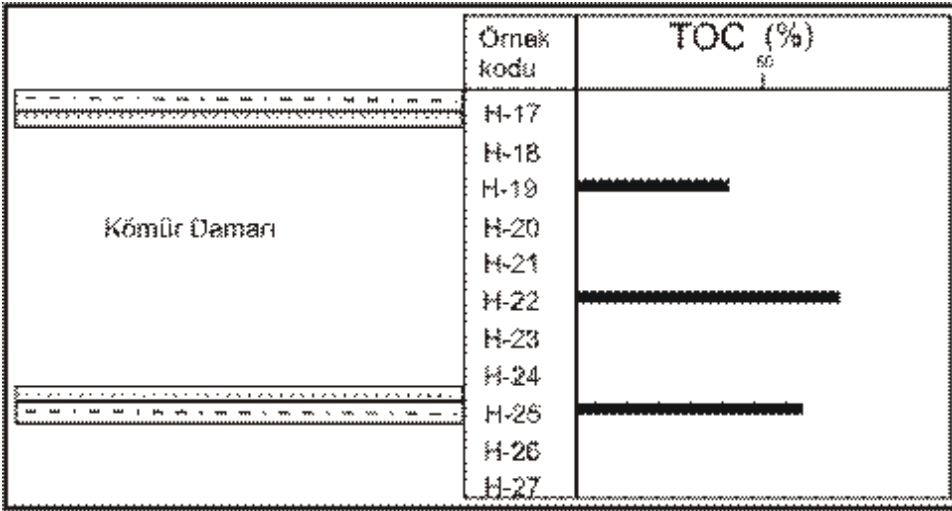
İncelenen kömürlü düzeyler ve bunların alt ve üst seviyelerindeki organik maddece zengin olduğu makroskobik olarak izlenen 18 örnekte Toplam Organik Karbon (TOC %) değeri 0.32-72.45 arasında değişmekte olup (Çizelge 6.1) ortalama TOC değeri % 28 dir. Sondaj örneklerindeki TOC değeri oldukça düşüktür (Şekil 6.1). Özellikle sondaja ait kömürlü seviye örneklerinin altere olmuş görüntülerinden dolayı TOC ve Piroliz işlemleri yapılmamıştır (Şekil 6.2 ve 6.3). Kömürlere ait bilgiler desandre yanındaki kömür damarından ve desandre örneklerinden edinilmiştir. Kömürleşme düzeyi düşük olan veya killi seviyelerde ise TOC değerleri oldukça düşüktür (Şekil 6.4).



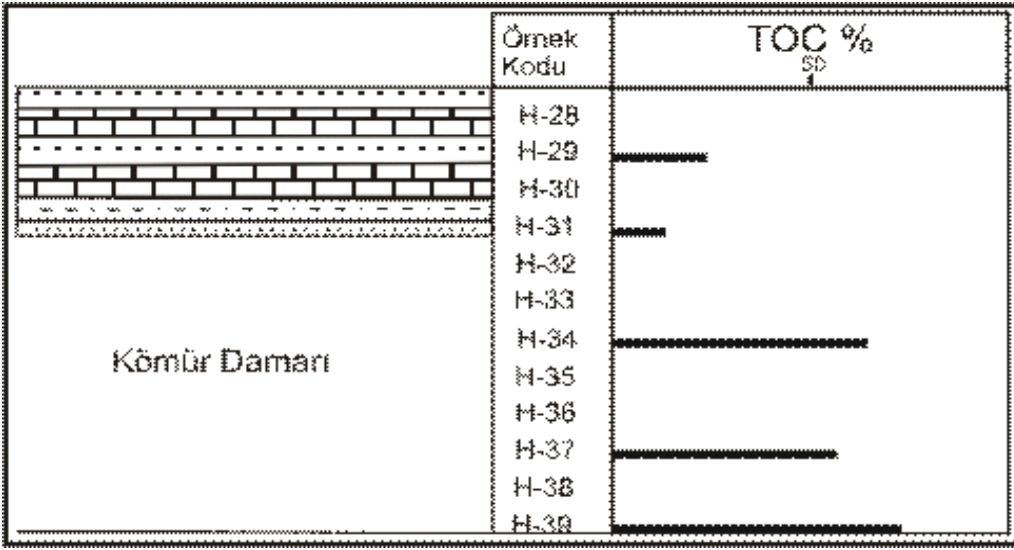
Şekil 6.1. İnceleme alanına ait sondaj örneklerinde TOC değerlerinin değişimi



Şekil 6.2. Desandre yanındaki kömür kesitinde Toplam organik Karbon (%) değerlendirmesi



Şekil 6.3. Desandre 1 kömür kesitinde Toplam organik Karbon (%) değerlendirmesi



Şekil 6.4. Desandre 2 kömür kesitinde Toplam organik Karbon (%) değerlendirmesi

6.3. Organik Madde Tipi

Organik petrografik incelemeler yanı sıra Rock-Eval piroliz işlemi sırasında elde edilen parametrelerden olan hidrojen indeksi (HI), Oksijen indeksi (OI) ve Tmax değerleri kullanılarak hazırlanan HI-OI ve HI-Tmax diyagramları ile örneklerin içerdiği organik madde tipleri belirlenebilmektedir.

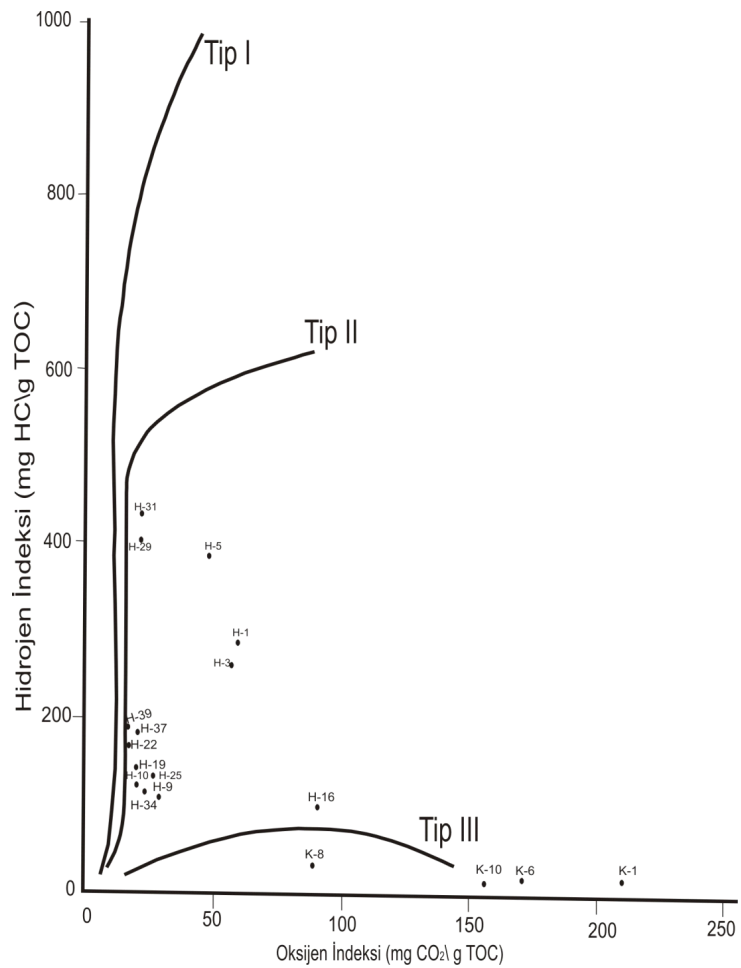
Hidrojen indeksi ve oksijen indeksi değerlerine göre organik maddeler petrol türetme potansiyellerine göre üç tip kerojen şeklinde sınıflandırılır;

Tip I: Sıvı hidrokarbon oluşturma potansiyeli en fazla olan gruptur. Oksijen oranı az, hidrojen oranı yüksektir. Genellikle algal lipidlerinden veya mikrobiyolojik faaliyetler sonucunda lipid oranı yükselmiş organik maddelerden türetilir ve amorf maddelerle birlikte bulunurlar.

Tip II: Hidrojen miktarı Tip I'e göre düşük, oksijen miktarı ise daha fazladır. Denizel alg, spor, polen ve kütikül ve odunsu organik maddeleri temsil eder ya da Tip I ve Tip II kerojenin karışımından oluşur. Petrol potansiyeli Tip I' den düşüktür.

Tip III: Hidrojen miktarı çok düşük oksijen miktarı ise çok yüksektir. Petrol türetme potansiyeli sınırlı olan karasal organik maddeleri yada aşırı bakteri etkisi ile bozularak hidrojenin kaybetmiş organik madde kalıntılarını temsil eder. Çok az miktarda gaz potansiyelinden bahsedebilir.

İncelenen örneklerde Hidrojen İndeksi değerleri 17-442 mg HC/g TOC (ortalama 188 mg HC/g TOC), Oksijen İndeksi değerleri ise 16-210 mg CO₂/g TOC (ortalama 60 mg CO₂/g TOC) dir (Çizelge 6.1). HI-OI diyagramında örneklerin büyük bir çoğunluğunun Tip II-III arasında olduğu, diğerlerinin ise Tip III alanında dağıldığı gözlenmektedir (Şekil 6.5).

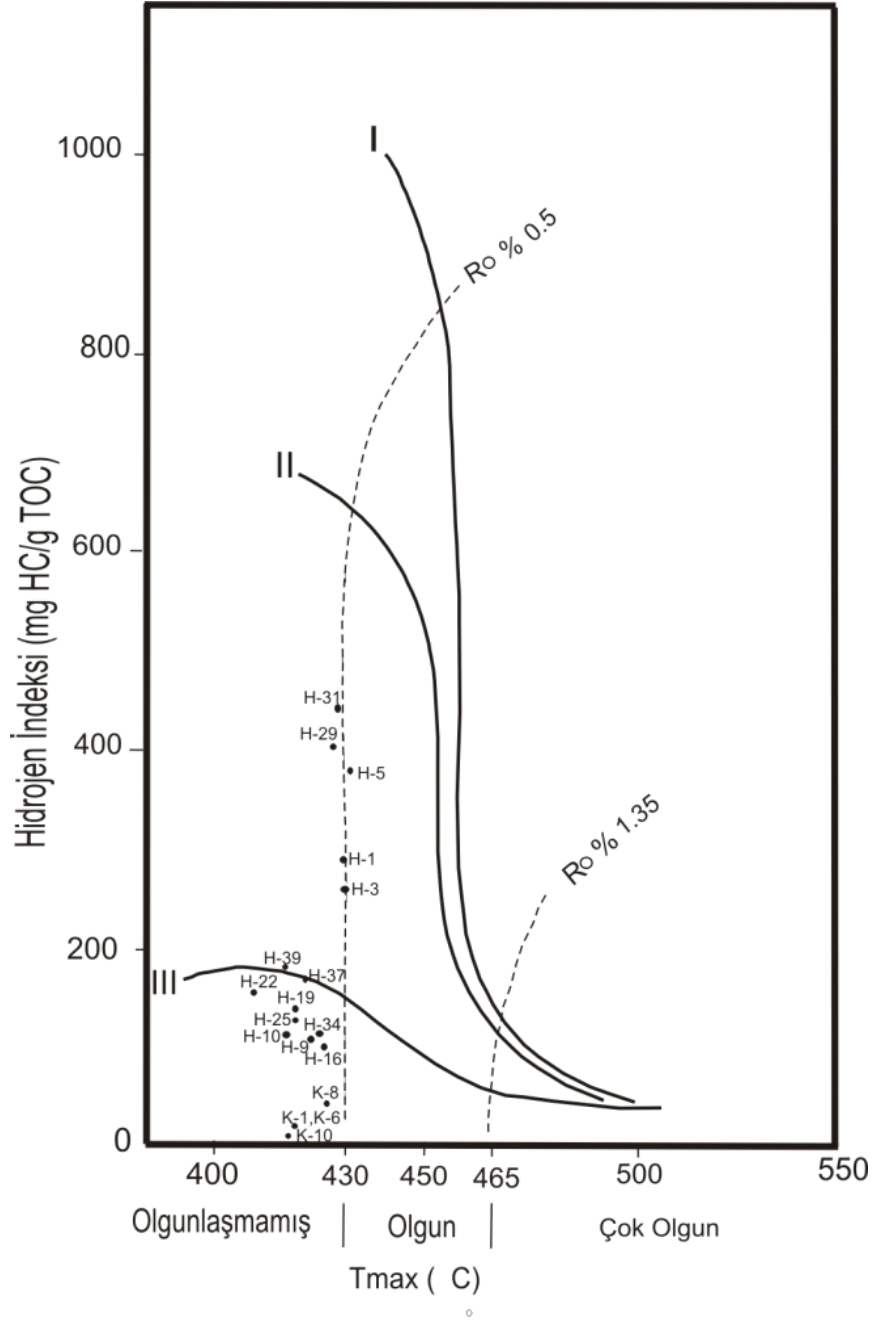


Şekil 6.5. İncelenen örneklerin Hidrojen İndeksi-Oksijen İndeksi diyagramı

HI-OI diyagramında da (Şekil 6.5) görüldüğü gibi örnekler genelde Tip II -III kerojen aralığında olup Tip III aralığına düşen örnekler karot örnekleridir (K kodlu). K-1, K-6, K-8, K-10 örneklerinin hidrojen indeksi (HI) değerleri 17-41 mg HC/ g TOC (ortalama 26 mg HC/g TOC) dir. Oksijen İndeksi (OI) ise 86-210 mg CO₂/g TOC aralığında değişim sunar (ortalama 155 mg CO₂/ g TOC). Bu örneklerin petrol türetme potansiyeli sınırlı olup ancak az miktarda gaz türüm potansiyelinden söz edilebilir.

Desandrelerden alınan H kodlu örnekler ise genellikle Tip II-III kerojen aralığında dağılmıştır. Bu örneklerin hidrojen indeksi (HI) değerleri 386-129 mg / g TOC (ortalama 212 mg HC/g TOC) dir. Oksijen İndeksi (OI) ise 87-16 mg CO₂/g TOC (ortalama 33 mg CO₂/g TOC) dir. Bu örnekler ise TOC ve organik madde içerikleri açısından sıvı hidrokarbon türümüne uygun görünmektedir.

Ayrıca Rock-Eval piroliz piroliz verilerinden hazırlanan Hidrojen İndeksi-Tmax diyagramında da örneklerin Tip III ve Tip II-III alanında dağıldığı gözlenmiştir (Şekil 6.6).



Şekil 6.6. İncelenen örneklerin HI-Tmax diyagramı (Mukhopadhyay diğ., 1995)

HI/OI grafiğinde Tip III kerojen aralığında sadece K örnekleri bulunurken, HI/Tmax grafiğinde H örneklerinin bir kısmı da Tmax değerleri nedeniyle bu alanda dağılmıştır.

İncelenen örneklerden H-9, H-10, H-16, H-19, H-22, H-25 ve H-34 nolu örnekler HI/OI grafiğinde Tip II-III kerojeni, HI-Tmax grafiğinde ise Tip III kerojeni göstermektedir. K-1, K-6, K-8 ve K-10 nolu örnekler HI/OI grafiğinde olduğu gibi HI-Tmax grafiğinde de Tip III kerojeni ifade ederken H-1, H-3, H-5, H-29 ve H-31 örnekleri ise Tip II -III kerojeni belirtir (Şekil 6.5. ve 6.6).

Yukarıdaki paragrafta bahsedildiği gibi kömürlü örnekler Rock Eval piroliz yöntemi ile analiz edildiklerinde değerler her zaman HI-OI diyagramında Tip III kerojen aralığında yer almaz. Bu nedenle özellikle kömürlerde organik madde türlerinin belirlenmesinde HI-OI diyagramı tek başına yeterli değildir. Elementel analiz ve mikroskobik çalışmalar sonucunda III. Tip organik maddeden oluştuğu belirlenen bazı kömürlerin HI-OI diyagramlarında II. ve III. Tip kerojen aralıkları arasında yer alması elementel analiz ve Rock Eval piroliz analizi arasındaki farktan veya liptinit yüzdesi nedeni ile oluşan yüksek HI değerlerinden kaynaklanabilmektedir (Yalçın, 1998). Genellikle, kömürler 300 mg HC/ g TOC değeri (II. Tip organik maddeye göre düşük bir HI değeri) ve 5 'ten büyük S_2 / S_3 değeri göstermektedir. H-5, H-29, H-31, H-37, H-39, örneklerine ait veriler bu durumu kanıtlamaktadır.

6.4. Organik Olgunlaşma

Sedimanlar içinde yer alan organik maddeler gömülmenin artması ile birlikte artan sıcaklıklara maruz kalır ve çeşitli kimyasal reaksiyonlar sonucunda hidrokarbonları oluşturur. Bu nedenle de organik olgunlaşma verilerinin belirlenmesi özellikle kaynak kaya değerlendirmelerinde büyük önem taşır ve organik maddenin ısı ve zaman etkisinde geçirdiği değişiklikler ısıl olgunlaşma olarak tanımlanır. Kaynak kaya olgunluğunun belirlenebilmesi için kerojen ve bitüme dayalı organik yöntemler yanısıra uygun özelliklerde örnek var ise kil minerallerine dayalı inorganik yöntemler kullanılabilir.

Organik yöntemler kendi içinde optik ve kimyasal yöntemler olarak sınıflandırılır ve kimyasal yöntemlerin en sık kullanılanı piroliz ile elde edilen Tmax verisidir. Kaynak kayanın olgunluk değerini veren Tmax değeri pirolizin en yüksek ısıyı gösteren bir parametre olup derinlik artışıyla birlikte Tmax değeri de genellikle artmaktadır (Espitalié ve diğ., 1977). Ancak fay, kıvrım, uyumsuzluk, jeotermal gradyan değişikliği gibi büyük ölçekli etkiler yanısıra göçetmiş petrol, örnek kalitesi, organik madde miktarı, kayadaki mineral matriks etkileri ile analiz sırasındaki bazı hatalar Tmax değerinin farklılık sunmasına neden olabilir (Peters, 1986).

HI-Tmax grafiği ile kerojen tipi yanısıra olgunlaşma derecesi hakkında da bilgi edilebilmektedir. Bu diyagramda ise olgunlaşma başlangıcı 430 °C dir (Mukhopadhyay diğ., 1995). HI-Tmax grafiğinde inceleme alanına ait örnekler olgunlaşmamış-olgunlaşma başlangıcı aralığında dağılmıştır (Şekil 6.6). H-1, H-3, H-5, H-29 ve H-31 örneklerinin R_o değerlerinin % 0,5 civarında olması nedeniyle olgunlaşma başlangıcında olduğu söylenebilir. Özellikle H-37 ve H-39 örneklerinin R_o değerleri % 0.40-0.48 arasındadır ve olgunlaşmamış seviyededirler. Aynı şekilde K-1, K-6, K-8 ve K-10 örnekleri de olgunlaşmamış alanında yer almaktadır.

Piroliz analizi ile elde edilen bir diğer olgunluk parametresi de üretim indeksi (PI) değeridir. Bu değer genellikle derinlik artışına bağlı olarak artar, ancak bu değişim kayaca göç yoluyla gelen hidrokarbonlar tarafından da gelişebilir (Peters, 1986; Peters ve Cassa, 1994). Ayrıca Tmax ve PI arasındaki ilişkinin kerojen tipiyle değişiklik göstermesi nedeniyle bu veriler diğerleriyle korele edilerek kullanılmalıdır (Çizelge 6.2) (Espitalié ve diğ., 1985; Huizinga ve diğ., 1988, Peters ve Cassa, 1994).

Çizelge 6.2. Olgunluk değerlendirmelerinde kullanılan Tmax ve PI değerleri

Olgunluk	Tmax (°C)	PI
Olgunlaşmamış	<435	<0,10
Erken Olgun	435-445	0,10-0,15
Orta Olgun	445-450	0,25-0,40
Olgun	450-470	>0,40
Aşırı Olgun	>470	-

İncelenen örneklerin Rock Eval piroliz sonuçlarında Tmax değerleri 412-431 °C arasında olup ortalama 422 °C dir. Ayrıca aynı örneklerin PI değerleri iki örnek dışında (K-6 ve K-10) < 0.10 dur ve bu iki veri birbirleriyle uyumlu olarak olgunlaşmamış aşamayı gösterir.

Hunt (1994) tarafından hazırlanan ve mikroskopik ve kimyasal parametrelerden yararlanılarak yapılan olgunluk değerlendirme çizelgesinde Hafik civarı kömürlerinin özellikle Tmax ve vitrinit yansıması değerlerine göre Diyajenez aşamasında olduğu ve henüz olgunlaşmadığı görülmektedir (Çizelge 6.3). Ortalama % C değeri 70 ve ortalama PI değeri de bu verileri desteklemektedir.

Çizelge 6.3. Mikroskobik ve kimyasal parametrelerden yararlanılarak yapılan bazı olgunluk değerlendirmeleri (Hunt, 1994)

Olgunlaşma	Max. Paleo Sıcaklık	Mikroskobik Parametreler						Kimyasal Parametreler						
		Vitrinit Yanması Ro %	TAI	SCI	Konodont Alterasyon Rengi	Floresans Ajit Rengi	Floresans M λ (nm)	CPIT m	Pal	x C %	H %	H %	Hidrokarbon Ürünü	
DİAJENEZ	0,2					Mavi	5							
	0,3	Sarı	1		1	Yeşilimsi Sarı	500	3	400				Bakteriyel Gaz	
	0,4		2		1	Parlak Sarı	540	2	425				Olgunlaşmamış Ağır Petrol	
METAJENEZ	0,5		3											
	0,6	Turuncu	4					1,5	435	0,1				
	0,8		5			Donuk Sarı	600	1,2		0,2	80	7	1,1	Islak Gaz ve Petrol
	0,9		6		Açık			1,0	450	0,3				
	1,0	Kahverengi	7			Turuncu	640			0,4	85	6	0,85	Kuru Gaz
KATAJENEZ	1,1		8		3	Kahverengi								
	1,2		9		4	Koyu Kahverengi								
	1,3	Siyah	10			Floresans özelliği yok								
	1,4													
	1,5													
	1,6													
	1,7													
	1,8													
	1,9													
	2,0													
	2,1													
	2,2													
	2,3													
	2,4													
	2,5													

* **İncelenen örneklerin bulunduğu seviye**

6.5. İncelenen Kömürlerin Kaynak kaya Potansiyeli

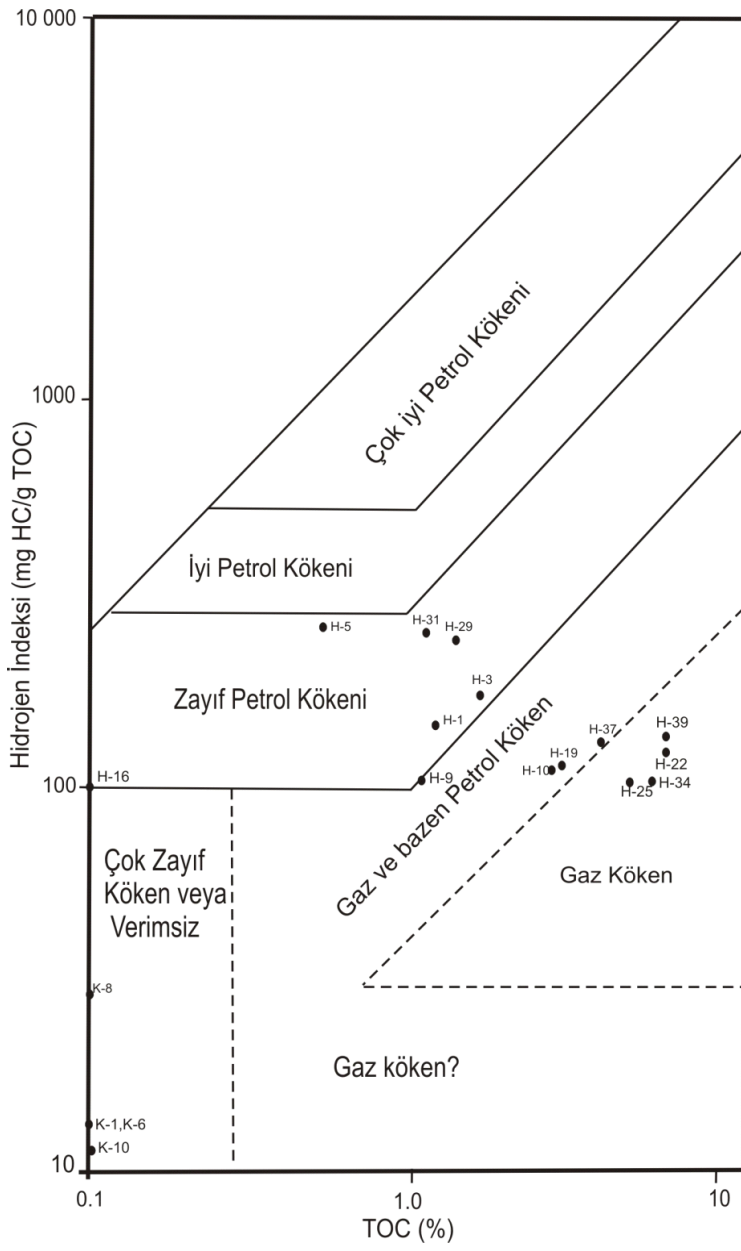
İnceleme alanına ait örneklerin S1 değerleri 0,01-1,45 mg HC/g kaya arasında (ortalama 0,6 mg HC/g kaya); S2 değerleri de 0,07-125,85 mg HC/g kaya arasında olup ortalama 50 mg HC/g kaya'dır (Çizelge 6.1). TOC değerleri özellikle kömürlü örneklerde yüksek olmasına karşın S1 ve S2 değerine göre kömürlü seviyelerin kaynak kaya potansiyeli bulunmamaktadır.

Jenetik Potansiyel değerleri ise 0,1-19,5 mg HC/g kaya aralığında değişir (ortalama 6 mg HC/g kaya). İncelenen örneklerin 5 tanesinin değeri 2 mg HC/g kaya'dan düşük olup bu örnekler ender olarak gaz türetebileceğini belirtir (Tissot ve Welte, 1978). Diğer örneklerin ise S2/S3 değerleri 2' den büyüktür ancak Tmax değerleri olgunlaşmamış seviyeyi gösterdiği için hidrokarbon türüm potansiyellerinin olmadığı saptanmıştır.

HI-TOC diyagramında örneklerin bir kısmının bu nedenle çok zayıf köken veya verimsiz olduğu veya zayıf petrol kökeni belirttiği görülmüştür (Şekil 6.7). Rock Eval piroliz verilerine göre kömürlü seviyeler ve bunlarla ardalanmalı kısımların kaynak kaya potansiyeli bulunmamaktadır.

İnceleme alanındaki K kodlu örnekler HI-Tmax ve HI-OI grafiklerinden de anlaşılacağı üzere olgunlaşmamış organik madde içerir. Bu organik birikim yoğun karasal bileşen nedeniyle çok zayıf köken veya verimsiz alanı işaret eder.

H-16, H-5, H-31, H-29, H-3, H-1 örnekleri ise zayıf petrol türüm alanında bulunmaktadır. Bunlardan yalnızca H-16 nolu örnek olgunlaşmamış, diğerleri ise olgundur. H-9, H-10, H-19, H-37 örnekleri gaz ve bazen petrol kökeni ifade etmektedir. Bu örneklerin HI değerleri 100 mg HC\ g TOC ve altında olup, TOC değerleri ise %1 den fazladır ve olgunlaşmamış organik madde içerirler. H-39, H-22, H-25 ve H-34 örnekleri ise gaz türüm alanında dağılmış olmalarına karşın olgunlaşma seviyeleri düşüktür ve türüm potansiyeli yoktur.



Şekil 6.7. İncelenen örneklerin köken zenginliği diyagramındaki dağılımları (Jackson ve diğ., 1985)

7. KÖMÜRLERİN KİMYASAL ÖZELLİKLERİ

Ülkemizde ve dünyada kömür alım-satım işlemleri ve bölgesel yada yerel ölçekli korelasyonlarda kömürlerin kimyasal özelliklerinden yaygın olarak yararlanılmaktadır. Kömürün kimyasal analizleri genellikle kısa (nem, kül, toplam kükürt, uçucu madde) ve elementer analiz (C, H, N, S ve O değerleri) olarak iki şekilde yapılmaktadır. Bunlara ek olarak bazı kömür analizleriyle de kömürün yanma özellikleri belirlenebilmektedir.

Bu tez kapsamında Hafik kuzeydoğusu'nda yeralan kömürlerin, petrografik özellikleri yanısıra kimyasal ve yanıcılık özelliği ile kullanım potansiyellerinin değerlendirilebilmesi için kısa ve elementer analizler yapılmıştır.

Bu tez çalışması sırasında toplam 10 örneğin kimyasal analizi M.T.A. Genel Müdürlüğü Maden Analizleri ve Teknolojisi Dairesi laboratuvarlarında gerçekleştirilmiştir. Bu analizler ve değerlendirmeler sırasında A.S.T.M (1991) standartları dikkate alınmıştır. Analiz sonuçları Çizelge 7.1, 7.2 ve 7.3 de verilmiştir.

7.1. Kimyasal Analizler

7.1.1. Nem Analizi

İnceleme alanına ait 10 örneğin nem değerleri % 8.22-18.78 (Ortalama % 10) aralığında değişmektedir (Çizelge 7.1).

Kömürde yüksek nem linyitlerin ısı değerlerini ve koklaşabilir kömürlerin karbon miktarlarını azalttığı ve taşınma zenginleştirme işlemlerinde problemler yaratması nedeniyle istenmeyen bir bileşendir. İncelenen kömürlerin de nem oranı yüksek olup yanıcılığını ve ısı değerini olumsuz yönde etkilemektedir.

Çizelge 7.1. İncelenen kömürlü örneklerin kısa analiz sonuçları

Örnek No	Numune Tipi	Toplam Nem %	Kül %	Uçucu Madde %	Sabit Karbon %
H-39	Orijinal Numune	10,01	7,08	43,17	39,74
	Kuru Numune	-	7,87	47,98	44,15
N-1	Orijinal Numune	9,60	23,50	43,38	23,52
	Kuru Numune	-	26,00	47,98	26,02
N-2	Orijinal Numune	8,91	28,94	33,46	28,69
	Kuru Numune	-	31,78	36,73	31,49
N-3	Orijinal Numune	8,22	32,23	43,40	16,15
	Kuru Numune	-	35,12	47,29	17,59
S-1-1	Orijinal Numune	15,57	46,00	32,34	6,09
	Kuru Numune	-	54,48	38,31	7,21
S-1-3	Orijinal Numune	15,06	12,42	38,94	33,58
	Kuru Numune	-	14,63	45,84	39,53
S-1-4	Orijinal Numune	16,60	14,02	36,13	33,25
	Kuru Numune	-	16,81	43,31	39,88
S-2-1	Orijinal Numune	18,78	13,83	36,19	31,20
	Kuru Numune	-	17,03	44,56	38,41
S-2-2	Orijinal Numune	15,08	15,10	36,17	33,65
	Kuru Numune	-	17,78	42,59	39,63

S-2-3	Orijinal Numune	13,33	21,51	33,73	31,43
	Kuru Numune	-	24,81	38,93	36,26
		TS 4745, TS 690/ ISO 589	TS 330, TS 1042	TS 711 / ISO 562	-

7.1.2. Kül Analizi

Kömür organik bileşenler yanı sıra, ortam ürünü veya dışarıdan taşınarak gelen inorganik bileşenleri de içermektedir ve kömürün yakılması sonucunda açığa çıkan kalıntılar kül olarak adlandırılır. Kül miktarları gerek kömürün ekonomik, gerekse petrografik yapısı üzerinde önemli rol oynar. Kül miktarı ve içerdiği bileşenler kömürün jeolojik yaşı ve kömürleşme derecesiyle ilgili olmayıp tamamen jeolojik ortamın fizikokimyasal, jeokimyasal ve çökel ortam özelliklerini yansıtır (Kural, 1998).

İnceleme alanında değerlendirilen kömürlerin kül içerikleri % 7.87-54.48 (ortalama kül değeri % 25) (Çizelge 7.1) arasında değişmekte olup, bu değerler kullanım ve zenginleştirme için oldukça yüksektir.

Kömürlerdeki kül miktarının fazla olmasına bağlı olarak birim hacme düşen organik madde miktarı azalır, ısı enerjisini ortaya çıkaran yanma reaksiyonu daha az gelişir ve dolayısıyla kömürün ısı değeri daha düşük olur (Şekil 7.1). Kömür kullanıcıları tarafından tercih edilen kül miktarı havada kuru bazda %10-20 dir. Sınıflama amacıyla kullanılacak kömürlerin kül miktarlarının ise genellikle % 10 dan az olması istenir.

Şekil 7.1. İncelenen örneklerin Üst Isı değer-kül (%) diyagramı

Kömürlerde kül miktarı arttıkça uçucu madde miktarında azalma gözlenmektedir (Şekil 7.2). Kül miktarı arttıkça organik bileşenlerin oranı da düşmektedir.

İnceleme alanı kömürlerin kimyasal analiz sonuçları ile bu değerlendirme yapılmış ancak nem içeriği ve kömürün petrografik özellikleri nedeniyle zayıf bir korelasyon ilişkisi belirlenmiştir (Şekil 7.2).

Şekil 7.2. İncelenen örneklerin Uçucu madde (%) - kül (%) diyagramı

7.1.3. Uçucu Madde Analizi

Uçucu madde; kömürdeki nem içeriği hariç, hidrojen, karbondioksit karbonmonoksit, hidrojen sülfür, organik sülfür bileşikleri, organik bileşikler, klorür ve amonyak gibi bileşenleri içermektedir. Kömürleşme düzeyinin uçucu madde miktarıyla ters orantılı olması nedeniyle kömür sınıflamalarında (Alman (DIN) ve Amerikan (ASTM) gibi) bir parametre olarak kullanılmaktadır. Bu çalışmada özellikle kömür örneklerinde ölçülen Ro değerlerinin birbirine çok yakın olması nedeniyle karşılaştırma yapılamamıştır.

İncelenen örneklerin uçucu madde yüzdesi % 36.73-47.98 aralığında değişmekte olup ortalama değeri % 43'dür (Çizelge 7.1).

7.1.4. Sabit Karbon Değeri

Bu değer uçucu madde içeriğinden sonra kalan kalıntındaki karbon miktarını gösterir. İnceleme alanına ait analizi yapılan 10 örnekte sabit karbon değerleri % 7,21 - 44.15 (ortalama % 32) aralığında değişir (Çizelge 7.1). Şekil 7.3' de görüldüğü gibi sabit karbon oranı ile Üst Isı değeri arasında doğrusal bir ilişki belirlenmiştir ve karbon içeriği artışı ile üst ısıl değer artmaktadır.

Şekil 7.3. İncelenen örneklerin Sabit Karbon (%) ve Üst Isı değeri diyagramı

7.1.5. Isı Değeri Analizi (Kalori)

Bir kömürün ısıl değeri (CV) yakılan kömürün belirli bir kütle başına oluşturduğu ısı miktarıdır. Kömür yandığında ısı açığa çıkması içerdiği organik karbon ve hidrojen bileşiklerinin oksitlenmesiyle gelişir. Isıl değer üst ısıl değer (GCV) ve alt ısıl değer (Net calofiric value, NCV) olarak iki şekilde sunulmaktadır. Alt ısıl değer laboratuvarında belirli bir hacim ve standart koşullar altında oksijen ortamında yakılan kömürden elde edilen ısı miktarıdır. Bir kömürün ısıl değeri türüne, organik yapısındaki inorganik bileşimin türü ve miktarına bağlı olarak değişir, mineral madde\ kül miktarı arttığında kalorisi azalır. Kömürlerin kalorisi jeolojik yaşa bağlı olarak genellikle artar. Genç kömürlerin kalorisi yüksek nem içeriğinden dolayı düşüktür. Isıl değere bağlı kömür sınıflamasında kömür örneğinin külsüz olmasına dikkat edilir. ASTM (1991) sınıflamasında nemli, mineral maddesiz bazdaki üst değerler alınır.

İncelenen örneklerin Alt ısı değerleri 1752 – 6347 Kcal/kg (ortalama 4829 Kcal/kg) ve üst ısı değerleri ise 1846-6606 Kcal/kg (ortalama 5034 Kcal/kg) dir (Çizelge 7.2).

7.1.6. Toplam Kükürt Analizi

Kömürde kükürt organik, piritik ve sülfat kükürdü olarak bulunur. Organik kükürt organik maddenin bünyesinde moleküller arası bağlayıcı olarak bulunur. Piritik kükürt, pirit ve markazit gibi sülfat minerallerinde, sülfat kükürtü ise sülfatlı

minerallerde izlenir. Kükürt içeriği kömürlerin oluşum ortamları ile ilişkilidir. William ve Keith (1963) Lower Kittaning (Pennsylvania-ABD) kömür damarındaki çalışmalarında karasal etki olan yerlerde kükürt içeriğinin daha düşük olduğunu belirtmiştir. Teichmüller ve Teichmüller (1975, 1998 a) de deniz etkili kömürlerin kükürt, hidrojen ve azotça zenginleştiğini belirtmiştir.

İnceleme alanında değerlendirilen 10 kömür örneğinin toplam kükürt değerleri % 2.34- 6.98 arasında değişmektedir (ortalama % 5) (Çizelge 7.3).

Çizelge 7.2. İnceleme alanı örneklerinin Alt ve Üst Isı Değerleri (Kcal/kg ve Btu/lb)

Örnek No	Numune Tipi	Alt Isı Değeri		Üst Isı Değeri	
		(Kcal/kg)	(Btu/lb)	(Kcal/kg)	(Btu/lb)
H-39	Orijinal Numune	5653	10175.4	5945	10701
	Kuru Numune	6347	11424.6	6606	11890.8
N-1	Orijinal Numune	3850	6930	4074	7333.2
	Kuru Numune	4321	7777.8	4507	8112.6
N-2	Orijinal Numune	4019	7234.2	4237	7626.6
	Kuru Numune	4469	8044.2	4652	8373.6
N-3	Orijinal Numune	3198	5756.4	3399	6118.2
	Kuru Numune	3536	6364.8	3703	6665.4
S-1-1	Orijinal Numune	1388	2498.4	1558	2804.4
	Kuru Numune	1752	3153.6	1846	3322.8
S-1-3	Orijinal Numune	4863	8753.4	5155	9279
	Kuru Numune	5828	10490.4	6069	10924.2
S-1-4	Orijinal Numune	4669	8404.2	4961	8929.8
	Kuru Numune	5713	10283.4	5948	10706.4
S-2-1	Orijinal Numune	4472	8049.6	4772	8589.6
	Kuru Numune	5641	10153.8	5875	10575
S-2-2	Orijinal Numune	4669	8404.2	4955	8919
	Kuru Numune	5602	10083.6	5835	10503
S-2-3	Orijinal Numune	4325	7785	4589	8260.2
	Kuru Numune	5080	9144	5295	9531

7.2 Elementel Analiz

7.2.1. Kömürlerin Karbon (C), Hidrojen (H) ve Azot (N) İçerikleri

Karbon ve hidrojen elementleri kömürün karmaşık hidrokarbon bileşiklerini oluştururlar. Bunun yanısıra kömür içindeki karbon, karbonat minerallerinden ve hidrojen havada kuru kömürdeki bünye neminden gelişebilir. Kömür yandığı zaman hidrojen ve karbon elementleri CO₂ ve H₂O olarak açığa çıkar (Carpenter, 1988).

Kömürün azot içeriği özellikle hava kirliliği açısından çok önemlidir. Kömürün yanması ile NO_x oluşur ve bunlar atmosferi kirletirler. Endüstride kuru ve külsüz bazda % 1,5-2 den daha düşük azot içerikli kömürler tercih edilir. Denizel etkili çökel ortam ürünü olan kömürlerin azot içerikleri yüksektir.

İncelenen örneklerin Karbon (C), Hidrojen (H) ve Azot (N) içeriklerine ait değerler Çizelge 7.3' de sunulmuştur. Kuru külsüz bazda; % Karbon değerleri 53.01- 75.21 (ortalama % 70), % Hidrojen değeri 3.93-5.45 (ortalama % 5), % Azot 0.65-1.11 (ortalama % 0.96), % Oksijen 12.07- 40.07 (ortalama %19) aralığında değişmektedir.

Çizelge 7.3. İnceleme alanı örneklerinin C, H, N, S ve O analiz sonuçları

Örnek No	Numune Türü	Element				
		C %	H %	N %	O %	S (yanar) %
H-39	Orijinal Numune	62,36	4,45	0,77	9,98	5,35
	Havada Kuru Numune	65,89	4,70	0,82	10,55	5,65
	Susuz, Külsüz Numune	75,21	5,37	0,93	12,04	6,45
N-1	Orijinal Numune	45,48	3,21	0,55	14,37	3,29
	Havada Kuru Numune	48,13	3,40	0,58	15,21	3,48
	Susuz, Külsüz Numune	67,98	4,80	0,82	21,48	4,92
N-2	Orijinal Numune	43,34	3,17	0,62	10,68	4,34
	Havada Kuru Numune	45,47	3,32	0,65	11,22	4,55
	Susuz, Külsüz Numune	69,73	5,09	0,99	17,21	6,98
N-3	Orijinal Numune	39,69	2,93	0,56	14,25	2,12
	Havada Kuru Numune	41,56	3,06	0,59	14,93	2,22
	Susuz, Külsüz Numune	66,65	4,91	0,95	23,93	3,56
S-1-1	Orijinal Numune	20,37	1,51	0,25	15,4	0,90
	Havada Kuru Numune	23,36	1,73	0,29	17,66	1,03
	Susuz, Külsüz Numune	53,01	3,93	0,65	40,07	2,34
S-1-3	Orijinal Numune	54,14	3,90	0,78	9,59	4,11
	Havada Kuru Numune	60,35	4,35	0,87	10,69	4,58
	Susuz, Külsüz Numune	74,65	5,38	1,08	13,22	5,67
S-1-4	Orijinal Numune	51,48	3,73	0,75	9,52	3,90
	Havada Kuru Numune	58,78	4,25	0,86	10,87	4,45
	Susuz, Külsüz Numune	74,21	5,37	1,08	13,72	5,62
S-2-1	Orijinal Numune	49,16	3,63	0,67	10,09	3,84
	Havada Kuru Numune	57,57	4,25	0,78	11,81	4,50
	Susuz, Külsüz Numune	72,96	5,38	0,99	14,97	5,70

S-2-2	Orijinal Numune	50,99	3,78	0,78	10,56	3,71
	Havada Kuru Numune	56,63	4,19	0,86	11,74	4,12
	Susuz, Külsüz Numune	73,03	5,41	1,11	15,14	5,31
S-2-3	Orijinal Numune	48,00	3,55	0,64	8,97	4,00
	Havada Kuru Numune	52,63	3,90	0,70	9,83	4,39
	Susuz, Külsüz Numune	73,66	5,45	0,98	13,77	6,14

8. İNCELENEN KÖMÜRLERİN SINIFLANDIRILMASI

Bir kömürün fiziksel ve kimyasal özellikleri, kömürlerin sınıflandırmasında, kömür kalitesinin belirlenmesinde ve potansiyel kullanım alanlarının saptanmasında kullanılır. Kömürün kalitesi ise kömürün maseral ve mineral madde içeriği ve kömürleşme derecesine bağlıdır. Kömür kalitesinin belirlenmesi amacıyla pek çok uluslar arası kuruluş örneğin ASTM (The American Society for testing and Materials), ISO (International Organisation for Standardisation) analiz standartları geliştirmiştir. Uluslararası Standartlar Örgütü (ISO) tarafından da desteklenerek genel bir sınıflama yapılmıştır. Bu sınıflamada; kalorifik değer, uçucu madde içeriği, sabit karbon miktarı, koklaşma ve kekleşme özellikleri temel alınarak sert ve kahverengi kömürler olarak iki ayrı sınıfa ayrılmıştır.

a) Sert kömürler; ıslak ve külsüz bazda 5,700 Kcal/kg'ın üzerinde kalorifik değerdedir. Uçucu madde içeriği, kalorifik değer ve koklaşma özelliklerine göre alt sınıflara ayrılırlar.

b) Kahverengi kömürler; ıslak ve külsüz bazda 5.700 Kcal/kg'ın altında kalorifik değerdedir. Toplam nem içeriği ve kalorifik değere göre alt sınıflara ayrılırlar.

Hafik civarında incelenen kömürler ISO sınıflamasına göre **Kahverengi Kömür** özelliğindedir.

Kömür sınıflamalarından en yaygın kullanılanı % karbon, uçucu madde ve kalori değerini esas alan A.S.T.M. sınıflamasıdır (Çizelge 7.4). Bu sınıflamada olduğu gibi düşük kömürleşme düzeyine sahip kömürlerde ısı değeri daha belirleyici bir parametredir ve incelenen kömürün hangi kömürleşme düzeyinde olduğu ve koklaşma ve kekleşme durumu net olarak belirlenebilir. İnceleme alanındaki kömürler A.S.T.M. (1991) Sınıflamasına göre **Alt Bitümlü B-C kömür** seviyesindedir.

Çizelge 7.4. Uçucu Madde ve Kalori Değerini Esas Alan Kömür Sınıflaması (A.S.T.M, 1991)

SINIF	GRUPLAR	Sabit karbon (dmmf)		Uçucu madde (dmmf)		Üst ısı değeri (mmmf,Btu/lb)		Kekleşme özelligi
		Eşit veya büyük	Daha küçük	Eşit veya büyük	Daha küçük	Eşit veya büyük	Daha küçük	
Antrasit	Meta-antrasit	98	-	-	2	-	-	Kekleşmez
	Antrasit	92	98	2	8	-	-	
	Semi-antrasit	86	92	8	14	-	-	
	Düşük uçuculu	78	86	14	22	-	-	
	Orta uçuculu	69	78	22	31	-	-	
Bitümlü kömür	Yüksek uçuculu-A	-	69	31	-	14 000	-	İyi kekleşir
	Yüksek uçuculu-B	-	-	-	-	13 000	14 000	Kekleşir
	Yüksek uçuculu-C	-	-	-	-	11 500	13 000	
Alt bitümlü kömür	Alt bitümlü-A	-	-	-	-	10 500	11 500	Kekleşmez
	Alt bitümlü-B	-	-	-	-	9 500	10 500	
	Alt bitümlü-C	-	-	-	-	8 300	9 500	
Linyit	Linyit-A	-	-	-	-	6 300	8 300	
	Linyit-B	-	-	-	-	-	6 300	

Bu sınıflamanın yanı sıra kömürlerin yansıma (R_{max} ve R_{min}) değerleri genelde inorganik madde, nem, uçucu madde miktarından bağımsız olarak kömürleşme derecesi dolayısıyla kömür tipi hakkında bilgi sunar.

İncelenen örneklerin R_{max} değerleri % 0.45-0.49 arasında (Ortalama % 0.48) ve R_{min} değerleri ise % 0.35-0.40 (ortalama % 0.38) arasında değişmektedir. Bu değerlere göre Hafik Kömürleri **Alt bitümlü kömür** grubunu temsil etmektedir (Çizelge 7.5).

Çizelge 7.5. Hüminit (vitrinit) yansımaya değerleri (Rmax) ve kömürleşme dereceleri (Ward, 1984 ve Stach, 1982)

Kömürleşme Derecesi	Rmax (%)
Linyit	< 0.38
Alt bitümlü kömür	0.38-0.65
Yüksek Uçucu maddeli Taşkömürü	0.65-1.10
Orta Uçucu maddeli Taşkömürü	1.10-1,50
Az Uçucu maddeli Taşkömürü	1,50-2.05
Semi Antrasit	2.05-2.80
Antrasit	2.80-4.0
Meta Antrasit	4.0-6.5
Semi Grafit	6.5-9.0
Grafit	>6.5

Bunlar dışında kül, yaş, organizma tipi veya çökel ortam özelliği gibi farklı parametrelere göre de sınıflamalar yapılmış olup farklı alanlarda kullanım olanağı vardır.

Çizelge 7.6 da olduğu gibi Kömürleşme derecesinin belirlenebilmesi için ısı değerinden yararlanılan bir sınıflamada kullanılabilmekte olup inceleme alanındaki kömürler **Alt bitümlü kömür** seviyesini işaret eder.

Çizelge 7.6. Isıl değerlere göre Kömürleşme Dereceleri

Rank Değeri	Isıl Değer (Btu\lb)
Alt bitümlü kömür	8,000 - 10,000
Bitümlü kömür	10,000 - 14,000
Antrasit	12,000 - 14,000

Kül içeriklerine göre değerlendirildiğinde de % 7.87-54.48 (ortalama % 24,64) kül içeriği incelenen kömürlerin **orta ve yüksek küllü kömürler** olarak adlandırılmasını sağlamaktadır (Çizelge 7.7).

Çizelge 7.7. Kül bileşimine göre kömür sınıflaması

Kül Bileşimi	% Kül
Düşük Küllü kömür	3- 8
Orta Küllü kömür	8-15
Yüksek Küllü kömür	> 15

Çizelge 7.8 'de ise Alman ve Amerikan sınıflama kriterleri karşılaştırmalı olarak verilmektedir ve bu sınıflamada kullanılan parametre çeşitliliği kömürlerin bilimsel ve endüstriyel olarak anlamlı bir şekilde sınıflandırılmasını sağlamaktadır. Bu sınıflamaya göre de inceleme alanındaki kömürler Alman (DIN) sınıflamasına göre **Kahverengi Kömür** grubunu, Amerikan sisteminde ise **Alt Bitümlü kömürleri** temsil etmektedir (Çizelge 7.8).

Çizelge 7.8. Alman ve Amerikan kömür sınıflamalarının farklı kömürleşme derecesi parametrelerine göre karşılaştırılması (Stach ve diğ., 1982)

Kömürleşme Derecesi (rank)		Yan-sıtma (Rroil)	Uçucu madde (daf)	Karbon (daf)	Tabaka nemi	Isıl değer kcal/kg (Btu/lb)	Farklı kömürleşme derecesi parametrelerinin uygulanabilirliği
Alman	Amerikan						
Turba	Turba	0.2	68				
			64	Çoğ.60	Çoğ.75		
Yumuşak	Linyit	0.3	60		Çoğ.35	4000 (7200)	
Mat	Alt-bitümlü C	0.4	52		Çoğ.25	5500 (9900)	
Parlak	B	0.5	48		Çoğ.71		
	A	0.6	44		Çoğ.77	7000 (12600)	
Alevli	B	0.7	40				
Gazli-alevli	A	0.8	36				
Gazlı	Yüksek uçuculu bitümlü	1.0	32				
	Orta uçuculu bitümlü	1.2	28	Çoğ.87		8650 (15500)	
Yağlı	Düşük uçuculu bitümlü	1.4	24				
Az yağlı		1.6	20				
Yağsız	Semi-antrasit	1.8	16				
		2.0	12				
Antrasit	Antrasit	3.0	8	Çoğ.91		8650 (15500)	
		4.0	4				
Meta-antrasit	Meta-antrasit						

Kahverengi kömür

Yüksek uçuculu bitümlü

Orta uçuculu bitümlü

Düşük uçuculu bitümlü

Semi-antrasit

Antrasit

Meta-antrasit

Hidrojen (kuru, külsüz)

Uçucu madde (kuru, külsüz)

Karbon (kuru, külsüz)

Nem

X-ray dif.

Tabaka nemi (külsüz)

Isıl değer (nemli, külsüz)

9. İNCELENEN KÖMÜRLERİN ÇÖKELİM ORTAMI ÖZELLİKLERİ

İncelenen kömürlerin çökel ortam özellikleri, kimyasal ve petrografik değerlendirmeler ışığında yapılmaktadır. İnceleme alanındaki kömürler daha önce de bahsedildiği gibi Üst Paleosen-Alt Eosen yaşlı Bahçecik Konglomerası'nın taban seviyesinde, ince ve yanal olarak diğer litolojilerle geçişli olarak yer almaktadır. Bahçecik Konglomerası'nın litolojik ve paleontolojik özellikleri, formasyonun taban kesimlerinde kömür seviyeleri içeren ve bitki kırıntılı kumtaşlarının lagüner ortam koşullarını, üst seviyelerdeki iri bloklu konglomeratlı kesimlerin ise alüvyon yelpazesi özelliklerini yansıtmaktadır (Temiz, 1994). Ayrıca, bu seviyelerde Nummulites sp. içeren ince taneli kırıntılı yanal geçişli olması, ortam koşullarının sığ denizel etki altında kaldığının bir işaretidir ve fan delta ortam koşullarına geçtiğini de göstermektedir.

Bu ortamsal koşullar, incelenen kömür örneklerinin kimyasal ve petrografik bileşimini de etkilemiştir. Acı-deniz, lagün ortamlarında oluşan kömürler belirgin özellikleri genellikle kül, kükürt ve denizel fosil içermeleridir ve Hafik Kömürlerinde de önceki bölümlerde belirtildiği gibi bu oranlar oldukça yüksektir (kül; ortalama % 25, % S değeri ortalama % 5).

Kömürler azotça zengin olup bu değer ortalama % 0.96 dır. Deniz etkisi altında oluşan kömürlerin azot içerikleri bu çalışmada belirlendiği gibi oldukça yüksektir. Ayrıca kalsiyumca zengin olan Hafik kömürleri gibi kömürler nötralden alkaline çökel ortamına kadar bir çok seviyede oluşabilir ve bakterilerin farklı yapısal değişikliklerine maruz kalır (Toprak, 1996).

Ayrıca nitrojen ve hidrojen zengin hümik jeller ve turbalaşma ürünlerinin oluşmasını sağlarlar. İnceleme alanının temelinde de bulunan kristalin kireçtaşlarından itibaren ortama gelen kalsiyum kömürlerin içinde zenginleşebilmiştir.

Özellikle petrografik değerlendirmeler sırasında belirtilen gelinit maserali de kalsiyumca zengin kahverengi kömürlerin karakteristiğidir (Iordanidis ve Georgakopoulos, 2003). Yüksek kalsiyum içeren seviyeler bitkisel malzemenin yüksek bakteriyel bozunmasına ve sülfatların bakteriyel indirgenmesine neden olur ve bu süreç sonunda yüksek oranda kollinit ve pirit gelişir. İnceleme alanı örneklerinde bu durum sıkça gözlenmiştir. Daha öncede belirtildiği gibi inceleme alanındaki kömürlerde pirit bol miktarda bulunmaktadır. Piritler framboidal pirit olup turba oluşumu sırasında sülfatça zengin sular ve muhtemelen karbonatlarla ilgilidir. Bu aşamada sülfat indirgeyici bakterilerin faaliyetlerinin arttığı söylenebilir (Teichmüller ve diğ., 1998a). Pirit içeriği bu nedenle denizel etkiyi belirtir ve inceleme alanındaki kömür oluşumu sırasında da bu etkinin geliştiği açıktır.

İncelenen kömürlerde olduğu gibi kömürlerdeki hümik maddeler, yüksek pH ve önemli bakteri aktivitesi nedeniyle ayrılmıştır. Denizden etkilenmiş kömürlerdeki yüksek kükürt içeriğinin nedenleri ise, deniz suyundaki sülfat iyonlarının fazlalığı ve anaerobik bakteri faaliyetinin artmasından kaynaklanır. Bahsedilen tüm bu özellikler Hafik civarındaki kömürlerin zaman zaman deniz etkisinde kalan bir lagüner ortamda çökeldiğini göstermektedir (Şekil 7.4).

Kömürlerin Yansıma (R_{max} , %) ve Paleo-sıcaklık değerleri ile karşılık geldiği kömürleşme dereceleri belirlenebilmektedir (Çizelge 7.11) (Boggs, 1987). Bu çizelgeye göre inceleme alanındaki kömürlerin Alt Bitümlü kömür seviyesinde olduğu ve Paleosıcaklık değerinin de <100 °C veya 100-125 °C arasında olabileceği belirlenmiştir.

Çizelge 7.9. Bazı Kömürlerin Ölçülmüş % Yansıma (Rmax.) değerleri, Paleo-sıcaklık değerleri ve karşılık geldiği kömürleşme dereceleri (Boggs, 1987).

Rmax,%)	Paleo Sıcaklık Değeri (°C)	Karşılık Geldiği Kömürleşme Derecesi (Rank)
<0,48	<100	Alt bitümlü Kömür
0,59	125	Alt bitümlü Kömür
0,72	145	Yüksek Uçucu Maddeli Taşkömürü
0,86	165	Yüksek Uçucu Maddeli Taşkömürü
1,00	180	Yüksek Uçucu Maddeli Taşkömürü
1,16	195	Orta Uçucu Maddeli Taşkömürü
1,42	210	Orta Uçucu Maddeli Taşkömürü
1,52	220	Az Uçucu Maddeli Taşkömürü
1,70	230	Az Uçucu Maddeli Taşkömürü
1,92	235	Az Uçucu Maddeli Taşkömürü
2,14	240	Semi Antrasit

Şekil 7.4. İnceleme alanındaki kömürlerin petrografik özelliklerine göre çökel ortam özelliği (Karasal Batakılık)

10. İNCELENEN KÖMÜRLERİN ENDÜSTRİYEL KULLANIM ÖZELLİKLERİ

2006 yılında Türkiye'nin toplam elektrik üretimi, 2005 yılına göre % 8.9 artmış ve 175.000 GWh'e ulaşmıştır. 2008 yılı için öngörülen ihtiyaç ise 190.000 GWh olacaktır. Petrol fiyatlarının sürekli tırmanışta oluşu, doğal gaz fiyatlarının son iki yılda %95 artması ve enerji arz güvenliği tehlikesi nedenleriyle ülkemizin artan enerji ihtiyacının karşılanmasında, yerli linyit ve kömürlerin kullanımının önemi bir kez daha ortaya çıkmıştır.

Ham petrolün 40-50 yıllık, doğal gazın ise 60-80 yıllık rezervinin olduğu bunlara karşılık dünyadaki kömürlerin en az 200 yıllık bir rezervinin bulunduğu göz önüne alındığında, 21. yüzyılda kömürün öneminin giderek artacağı açıktır. Ülkemizin petrol ve doğal gaz kaynakları çok sınırlı olup, ekonomik olarak değerlendirebileceğimiz en önemli fosil yakıt tipi kömürdür. Dolayısıyla ülkemizin pek çok yerinde kalite ve rezerv açısından günümüz koşullarında işletmesi ekonomik olmayan ve gözardı edilen birçok linyit sahasının gelecekte değerlendirilmesi kaçınılmazdır.

Bu kapsamda Hafik Kömürleri endüstriyel olarak günümüz koşulları ve gelecekteki kullanım potansiyeli açısından değerlendirilmiştir;

İncelenen kömürler özellikle düşük kalori değerli (havada kuru bazda üst ısıl değer 1846- 6606 Kcal/kg arasında; ortalama 5034 Kcal/kg), yüksek oranda kül içerikli (% 7.87-54.48; ortalama % 25), yüksek mineral madde içeriği (% 6-14 arasında, ortalama % 8) ve yüksek nem (% 8.22- 18.78 arasında, ortalama % 10) ile düşük olgunlaşma derecesinden (ortalama Tmax; 422 °C ve ortalama Rmax % 0,48) dolayı düşük kaliteli kömürler olarak değerlendirilmiştir. İncelenen kömür örnekleri çeşitli sınıflamalara tabi tutulduğunda bu özellik çok net biçimde açığa çıkmaktadır.

Kömürdeki azot içeriği gibi kükürt içeriği de hava kirliliği ve korozyona neden olmasından dolayı istenmeyen bileşenlerdir. Örneğin elektrik üretimi için kullanılacak kömürlerde havada kuru bazda kükürt içeriğinin % 0.8-1.0' ı geçmemesi istenir (Kural, 1998). Çimento fabrikalarında, fabrika dizaynına bağlı olmakla birlikte, %2 kükürt içeriği kabul edilebilir sınırdır. Ancak, koklaşabilir kömürlerde sıvı ham demir ve çelik kalitesiyle yüksek fırın çalışma koşullarını etkilemesi nedeniyle havada kuru bazda bu miktarın maksimum %0.8 olması beklenir. İncelenen kömürlerin kükürt değeri ise ortalama % 5 'dir.

İnceleme alanındaki kömürlerin de içinde olduğu Alt bitümlü kömürler, genellikle elektrik üretimi için termik santrallerde, çimento fabrikalarında ve diğer endüstrilerde kullanım olanağı olabilecek düşük enerjili kömürlerdir. Yüksek mineral madde ve özellikle pirit içeriğinden dolayı çevreye vereceği gaz ve katı kirleticiler çevre kirliliği açısından önemlidir ve endüstriyel olarak yaygın kullanımı ancak kömür zenginleştirme işlemlerinden sonra daha doğru olacaktır.

İthal taş ve linyit kömür özellikleri yönetmeliğinin 5 inci maddesinin (a) bendinin (1) ve (2) numaralı alt bentlerinde belirtilen eleme ve yıkama işlemine tabi tutulmuş taşkömürü ve linyit kömürünün ithalatı Dış Ticarete Standardizasyon Tebliği kapsamında Çevre Bakanlığından alınacak kontrol belgesiyle yapılır. Bu kömürlerin özellikleri Çizelge 7.10 da verilmektedir ve bu özellikleri, sınırları sağlamayan taş kömürü ve linyit kömürünün ithalatı, satışı ve kullanımı yapılamaz.

Çizelge 7.10. Isınma Amaçlı İthal Taş ve Linyit Kömürün Özellikleri ve Sınırları

Özellikler	Sınırlar
Toplam Kükürt (kuru bazda)	max. % 0,9
Alt Isıl Değer (orijinalde)	min 6200 Kcal/kg (- 400 tolerans)
Uçucu Madde (kuru bazda)	% 12-28 (+1 tolerans)
Toplam Nem (orijinalde)	max. % 10
Kül (kuru bazda)	max. %14 (+1 tolerans)

İncelenen kömürlerde kükürt değeri ortalama % 5, alt ısıl değeri ortalama 4829 Kcal/kg, uçucu madde içeriği ortalama % 43, nem ortalama % 10, kül içeriği ortalama % 25 dir. Bu değerler evsel ısınma ve endüstriyel amaçlı olarak Hafik kömürlerinin kullanım olanağının bulunmadığını göstermektedir, kullanıldığında yüksek oranda hava kirliliğine neden olacaktır.

Özellikle kömürün gazlaştırma, koklaştırma ve sıvılaştırma özellikleri değerlendirildiğinde ise şu sonuçlar elde edilmiştir.

Genel anlamda kömürün gazlaştırılması, katı durumdaki kömürün karbon monoksit ve hidrojenen oluşan sentetik gazla dönüşmesidir. Kömür gazlaştırılarak yakılınca, hem gazlaştırma ünitesinde buhar elde edilir ve bu buhar, buhar türbini aracılığıyla elektrik üretiminde kullanılır, hem de gaz temizlenerek, gaz türbini aracılığıyla elektrik üretiminde kullanılır. Elektrik üretimini gerçekleştiren gazın ve buharın üzerindeki ısı enerjisi tekrar geri alınır, ondan sonra egzoz gazı temizlenerek atmosfere bırakılır. Gazlaştırmada kül miktarı önemlidir ve yüksek miktarda kül bırakan kömürler gazlaştırma sırasında problem yaratmaktadır. Kül içeriği arttıkça, yanıcı ve gazlaştırılacak madde miktarları azalmakta; buna bağlı olarak, gazlaştırma verimi düşmekte, ayrıca fazla kül, reaktörlerin kapasitesinin düşmesine de neden olmaktadır. Sabit yataklı gazlaştırıcılarda nem %35 ve kül içeriği %10'u geçtiğinde gazlaştırma işlemi uygulanmamaktadır. Hafik kömürlerinin de oldukça yüksek kül (% 25) ve nem içeriği (% 10) gazlaştırma süreci için olumsuz bir etkidir (Çizelge 7.7).

Özellikle temiz akaryakıt ve kimyasal madde ihtiyacı olan ülkemizde, bunu düşük petrol üretimi ile karşılamak mümkün değildir. Son yıllarda Dünya' da ve Türkiye' de önemli araştırmalara konu olan kömür sıvılaştırma çalışmaları ile gelecekte yerli linyit kaynaklarından faydalanılarak sıvı hidrokarbon ve kimyasal madde ihtiyacının giderilebileceği yolunda önemli aşamalar kaydedilmiştir. Bu çalışmalar henüz linyitlerin fiziksel ve kimyasal özelliklerinin sıvı hidrokarbon türümüne etkisinin incelenmesi aşamasında olmakla birlikte özellikle sıvılaştırma maliyetinin çok yüksek olması nedeniyle günümüzde ekonomik olmayan bir uygulamadır. Ancak gelecek 40-50 yıllık süreç içinde küçük linyit yataklarında dahi bu yöntemin uygulanması kaçınılmazdır. Kömürün sıvılaştırması, havasız, ortamda kömürün ısıtılarak ısıl yoldan parçalanması esasına dayanır. Bu işlem sonunda gaz, buhar, ve katrandan oluşan hidrojen zengin ürünler ve karbonca zengin katı bir ürün elde edilir. Bu kapsamda Hafik Kömürleri değerlendirildiğinde kömürleşme derecesinin Alt Bitümlü kömür olması sıvılaştırma için olumsuz bir etkidir. Çünkü alt bitümlü kömürlerin çözülebilir ürünlere dönüşümü bitümlü kömürlere göre daha zordur. Alt Bitümlü kömürlerin % 80-85 i doğrudan sıvılaştırma proseslerinde hemen çözülebilir ürünlere dönüşürken geriye kalan % 15-20 lik kısmın çözünebilmesi için daha şiddetli proses koşullarına ihtiyaç duyulur (Kural, 1998).

En iyi koklaşan kömürler bitümlü ve yarı bitümlü kömürler olup kömürlerin koklaşabilmesi için %30 oranında uçucu madde içermesi gerekir. Bu özellikleri ile Hafik kömürleri koklaştırmaya uygun görünmektedir ancak H/C oranının çok düşük olması (% 0.36) ve mineral madde oranının yüksekliği koklaştırma işlemi olumsuz etkileyecektir ve koklaştırılması da günümüzde ekonomik olmayacaktır.

11. HAFİK KÖMÜRLERİNİN BAZI KÖMÜR SAHALARI İLE DENEŞTİRİLMESİ

Bu tez çalışması sırasında çeşitli analiz yöntemleri ile değerlendirilen Hafik Kömürlerinin benzer çalışma prensipleri kullanılan bazı kömür sahaları ile karşılaştırılması benzerlik ve farklılıkların tespit edilmesi amaçlanmıştır. Bu kapsamda Amasya (Çeltek) ve Yozgat (Sorgun) kömürlerine ilişkin sonuçlar kullanılmıştır (Çizelge 8.1).

Çizelge 8.1. Hafik, Yozgat (Sorgun), Amasya (Çeltek) Kömürlerine ait ortalama kimyasal analiz sonuçlarının karşılaştırılması

Karşılaştırma Parametreleri	Hafik Kömürleri	Yozgat (Sorgun) Kömürleri (Cicioğlu, 1995)	Amasya (Çeltek) Kömürleri (Eriş, 1996)
% Nem (hkb)	10	2.91	5.24
%Kül (hkb)	25	18.27	22.04
% Uçucu Madde (hkb)	43	34.60	36.02
% Toplam Kükürt (hkb)	5	2.63	1.50
Üst Isı Değeri (kcal kg ⁻¹ (hkb)	5034	5541	5347
Üst Isı Değeri (Btu lb ⁻¹) (nmmb)	10067	12388	12633
% Karbon (kkb)	70	74.08	75.40
% Hidrojen (kkb)	5	5.15	5.89
% Azot (kkb)	0.96	1.74	2.22
% Oksijen (kkb)	19	16.14	14.92

(hkb: havada kuru baz, kkb: kuru külsüz baz, nmmb: nemli mineral maddesiz baz)

Karşılaştırmada kullanılan Yozgat (Sorgun) kömürüne ait ortalama değerler Cicioğlu (1995) 'den, Amasya (Çeltek) kömürlerine ait değerler de Eriş (1996) 'dan alınmıştır.

Bu çalışma sırasında incelenen Hafik kömürleri Üst Paleosen-Alt Eosen, Sorgun ve Çeltek kömürleri ise Eosen yaşlıdır.

Hafik kömürlerinin, havada kuru bazda, Sorgun ve Çeltek kömürlerinden daha yüksek nem, kül, kükürt, uçucu madde

içerdiği belirlenmiştir. Havada kuru bazda Hafik kömürleri (5034kcal kg⁻¹), Sorgun kömürleri (5541kcal kg⁻¹), Çeltek kömürleri (5347 kcal kg⁻¹) olmak üzere benzer ısı değerlerine sahiptir (Çizelge 8.1). Bu benzerlik Türkiye'deki Tersiyer yaşlı linyitlerin kalori açısından benzeştiğine ve % 0,84 lük bir kısmın aynı özellikte olduğuna bir kanıttır (Şekil 8.1)

Şekil 8.1. Türkiye'deki linyitlerin ortalama kalori değerlerinin dağılımı

Hafik kömürlerinin kuru külsüz bazda Sorgun ve Çeltek Kömürlerine göre Karbon, Hidrojen, Azot değerleri düşük buna karşın Oksijen değeri nispeten daha yüksektir (Çizelge 8.1).

Yansımaları açısından Sorgun (ortalama Ro: % 0.54) ve Çeltek kömürlerinin (ortalama Ro: % 0.52) daha yüksek yansımaya değerlerine sahip olduğu belirlenmiştir. Hafik Kömürlerinin yansımaları ise % 0.48 dir. Her üç kömür de düşük olgunlaşma düzeyinde olup benzer kömürleşme düzeyindedir.

Hafik, Sorgun ve Çeltek kömürlerinin çökel ortam özellikleri açısından benzerlik taşıdığı ve **Karasal Bataklık** ortamında çökeldiği belirlenmiştir.

Kömürleşme derecesi açısından; Sorgun kömürleri Amerikan ve Alman (DIN) sınıflamasına göre; **Alt Bitümlü-A**, Hafik kömürleri **Alt Bitümlü B-C**, Çeltek kömürleri ise **Alt Bitümlü Kömür** veya **Yüksek Uçuculu Bitümlü C** kömür aralığına düşmektedir. Alman DIN sınıflamasında ise **Parlak Kahverengi Kömür** seviyesini işaret eder.

12. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu tez kapsamında, Sivas iline bağlı Hafik ilçesi'nin Kuzey doğusunda yaklaşık 60 km²'lik bir alan incelenmiştir. Bu alanda özellikle kömür seviyeleri olmak üzere litostratigrafik birimler de gözden geçirilmiştir. İnceleme alanında kömürlü seviyelerin ve kömür işletmesinin olduğu alanda kömür jeolojisi haritalaması ilk kez bu çalışmada yapılmıştır.

İnceleme alanının temelini Üst Kretase yaşlı Tekelidağ Karışığı oluşturmaktadır. Bu birim üzerine uyumsuz olarak Üst Paleosen yaşlı Bahçecik Konglomeraları gelir. Bu çalışmada değerlendirilen kömürler Bahçecik Konglomeraları'nın tabanında yaklaşık kalınlıkları 67-80 cm olan iki damar şeklinde yer almaktadır. Formasyonu uyumsuz olarak Oligosen yaşlı Hafik Formasyonu üzerler ve Alt Miyosen yaşlı Karacaören Formasyonu tarafından açılı uyumsuzlukla üzerlenir. Birim üzerine Pliyosen yaşlı İncesu Formasyonu uyumsuz olarak gelir. Kuvaterner yaşlı Karacahisar Formasyonu İncesu Formasyonu üzerine

uyumsuz olarak çökelmiştir. Tüm bu birimleri altüvyonlar uyumsuzlukla örtmektedir.

Hafik bölgesine ait 24 örneğin mineralojik bileşiminde; Kalsit % 5-100 (ortalama % 47), dolomit % 8 (tek bir örnekte), kuvars % 2-43 (ortalama % 9), feldispat % 10-49 (ortalama % 9), kil mineralleri % 13-84 (ortalama % 29), hornblend tek bir örnekte % 8 ve Pirit % 5-18 (% 5) oranlarında bulunmaktadır. 10 adet kömürlü örneğin XRD-TK değerlendirmelerinde organik maddeye özgü kamburlar belirlenmiştir. Kömür örneklerinin olgunlaşma değerlerinin birbirine çok yakın olması nedeniyle kamburlar arasında yayılım ve şiddet açısından belirgin bir farklılık yoktur ancak organik madde miktarına göre kambur alanlarında bir miktar değişiklik belirlenmiştir. Organik madde miktarı arttıkça pik zemini yükselimi veya kambur alanı artmıştır.

İncelenen örneklerinin kil fraksiyonu; İllit (% 15-51 ortalama: % 16), smektit (% 24-67 ortalama: % 20), klorit (% 15-72 ortalama: % 31), paligorskit (tek bir örnekte %19 oranında), serpantin (% 9-51 ortalama % 20) ve sepiyolitlerden (tek bir örnekte % 49) oluşmaktadır.

Hafik civarındaki kömürlerin havada kuru bazda ortalama ısıl değerleri alt ısıl değer 1752-6347 Kcal/kg (ortalama 4829 Kcal/kg) ve üst ısıl değer 1846- 6606 Kcal/kg (ortalama 5034 Kcal/kg) dir. Toplam nem % 8.22- 18.78 (ortalama % 10), kül miktarı % 7.87-54.48 (ortalama % 25), uçucu madde içeriği % 36.73-47.98 (ortalama % 43), sabit karbon % 7.21-44.15 (ortalama % 32) olarak belirlenmiştir. Bileşimini oluşturan C değeri % 53.01- 75.21 (ortalama 70), H değeri % 3.93-5.45 (ortalama % 5), N değeri % 0.65- 1.11 (ortalama % 0.96), O değeri % 12.04- 40.07 (ortalama % 19), % S değeri ise 2.34- 6.98 (ortalama % 5) aralığında değişmektedir.

İncelenen 18 örnekte Toplam Organik Karbon (TOC) değeri % 0.32-72.45 arasında değişmekte olup ortalama % 28 dir. Özellikle kömürlü seviyelerde TOC değerleri oldukça yüksektir (% 38.42-60.70).

Rock Eval piroliz analizi ile 18 örnek değerlendirilmiştir. Hidrojen İndeksi değerleri 17-442 mg HC/g TOC (ortalama 188mg HC/g TOC), Oksijen İndeksi değerleri ise 16-210 mg CO₂/g TOC (ortalama 60mg CO₂/g TOC) aralığındadır. HI-OI ve HI-Tmax diyagramlarında örneklerin çoğunlukla Tip II-III, bir kısmının ise Tip III alanında olduğu gözlenmektedir.

Tmax değerleri 412-431 °C arasında olup ortalama 422 °C dir ve örneklerin henüz olgunlaşmadıklarını göstermektedir. HI-Tmax diyagramında değerler olgunlaşmamış ve olgunlaşma başlangıcını işaret eder.

Vitrinit yansıması ölçümleri; Rmax ortalama % 0.48 (% 0.45-0.50) ve Rmin % 0.38 (% 0.352- 0.399) değerleri olarak ölçülmüştür ve olgunlaşmamış çökelleri ifade eder.

10 örnekte kerojen slaytlarının mikroskopik değerlendirmesi yapılmış ve bileşimi oluşturan organik madde türleri belirlenmiştir. Egemen organik maddeyi kömürsü bileşenler oluşturmaktadır (ortalama % 83). Bunun yanı sıra %5-15 oranında odunsu (ortalama % 9), % 5 oranında otsu ve % 5-10 oranında da amorf (ortalama % 5) organik madde belirlenmiştir. Organik maddeler olgunlaşma değerlerine bağlı olarak açık-koyu kahverengi renkler göstermektedir.

Kömürlerin petrografik değerlendirmelerinde ise mikroskopik bileşimi egemen olarak Hüminit grubunun oluşturduğu bunun yanı sıra liptinitler ve en az oranda da inertinit grubu maserallerin bulunduğu belirlenmiştir. Vitrinit (hüminit) % 65-85 (ortalama 79), liptinit % 4-12 (ortalama; 6), inertinit % 2-13 (ortalama 5) oranındadır.

Kömürlü örneklerde belirlenen maseraller; Vitrinit maseralleri: gelinit, liptinit maseralleri; sporinit, rezinit, kütinit, inertinit maseralleri ise füzinin ve mikrinittir. Kömürler makroskopik olarak vitren, klaren ve düren litotiplerinden oluşmuştur.

Örnekler genelde yüksek oranda inorganik madde içermektedir (% 6-14 arasında ortalama % 8). İnorganik bileşimi

çoğunlukla killer, karbonat (kalsit), sülfatlı (jips) ve demirli (pirit) mineraller oluşturmaktadır. Kömürler pirit açısından çok zengindir ve yaygın pirit şekli framboidal pirittir (pirit oranı % 1-4, ortalama: 2).

İncelenen kömürler ASTM sınıflamasına göre Altbitümlü B-C kömürdür. Kül içeriklerine göre değerlendirildiğinde % 7.87-54.48 (ortalama % 25) kül içeriği incelenen kömürlerin **orta ve yüksek küllü kömürler** olarak adlandırılması sağlamaktadır. Kömürler Alman (DIN) sınıflamasına göre **Kahverengi Kömür** grubunu, Amerikan sisteminde ise **Alt Bitümlü kömürleri** temsil etmektedir.

İncelenen alandaki kömürler Eosen yaşlı Yozgat (Sorgun) ve Amasya (Çeltek) kömürleri karşılaştırıldığında kimyasal bileşim açısından benzerlik, vitrinit yansması açısından farklılık sunmaktadır. Bu sebepten dolayı Yozgat (Sorgun) ve Amasya (Çeltek) kömürleri Hafik Kömürlerine göre daha kaliteli ve kullanılabilir niteliktedir.

Hafik kömürleri denizel etkinin olduğu, lagüner bir ortamda oluşmuştur. Gerek kalori düzeyinin düşük olması gerekse içinde çevre kirliliği bakımından zararlı olan bileşenleri bol olarak bulundurması nedeniyle yaygın kullanım olasılığı düşüktür.

İnceleme alanındaki kömürlerin de içinde olduğu Alt bitümlü kömürler, sıvılaştırma ve gazlaştırma açısından verimli olmayan, koklaşma özelliği bulunmayan, genellikle elektrik üretimi için termik santrallerde, çimento fabrikalarında ve diğer endüstrilerde kullanım olanağı olabilecek düşük enerji potansiyelli kömürlerdir.

Yüksek mineral madde, özellikle pirit içeriğinden dolayı çevreye vereceği kül ve partiküller hava kirliliği açısından önemlidir ve yaygın kullanımı ancak kömür zenginleştirme işlemlerinden sonra daha doğru olacaktır.

13. DEĞİNİLEN KAYNAKLAR

- Altunsoy M., ve Özçelik, O., 1998, Organic Facies Characteristics of The Sivas Tertiary Basin (Turkey), Journal of Petroleum Science and Engineering 20, p. 73–75.
- Arpat, E., 1964, Gürlevik Dağı Bölgesinin ve Kuzeyinin Genel Jeolojisi ve Petrol İmkanları : M.T.A. Derleme Rapor No: 4180 (Yayınlanmamış).
- Artan, Ü. ve Setsini, G., 1971, Sivas-Zara-Beypazarı Bölgesi jeolojisi, M.T.A. Enstitüsü, Ankara.
- ASTM, 1983, Annual book of ASTM standarts. Gaseous Fuels; Coal and Coke (D–388–82, D–2798–79, D–3172–73, D–2799–72, D–3174–82, D–3175–82): 1916 Race Street, Philadelphia, PA 19103, 05.05, 520p.
- ASTM, 1991, Annual book of ASTM standarts, Gaseous Fuels; Coal and Coke, 1916 Race Street, Philadelphia, PA 19103, 05.05, 520p.
- Avrimidis, P., and Zeligidis, A., 2007, Potential source rocks, organic geochemistry and thermal maturation in the southern depocenter (Kipourio-Grenea) of the Mesohellinic Basin, central Greece, Int. Jour. Of Coal Geol, 71, 554-567.
- Brindley, G.W., 1980, Order-disorder clay mineral structures: in. Crystal Structures of Clay Minerals and Their X-ray Identification, G.W. Brindley and G. Brown, eds., Mineralogical Society, London, 125 -195.
- Bailey, S.W., 1980, Structures of layer silicates. In: Crystal Structures of Clay Minerals and their X-ray Identifications, G.W. Brindley and G.Brown (eds.), Mineralogical Society, London, 2–123.
- Bailey, S. W., 1988, X-ray diffraction identification of the polytypes of mica, serpentine, and chlorite. Clays and Clay Minerals, 36, 3, 193–213.
- Bechtel, A., Gruber, W., Sachsenhofer, R.F., 2003, Depositional environment of the Late Miocene Hausruck lignite (Alpine Foreland Basin): insights from petrography, organic geochemistry, and stable carbon isotopes, Int. Jour. Of Coal Geol., 53, 153-180.
- Bechtel, A., R.F. Sachsenhofer, A. Zdravkov, I. Kostova, R. Gratzner, 2005, Influence of floral assemblage, facies and Diagenesis on petrography and organic geochemistry of the Eocene Bourgas coal and the Miocene Maritza-East lignite (Bulgaria): Organic Geochemistry, 36, 1498-1522.
- Boggs, S. Jr., 1987, Principles of Sedimentology and Stratigraphy. Merrill Publishing Company. A Bell & Howell Company, 784 p., Columbus Toronto London Melbourne.
- Blumenthal, M., 1937, Kangal ile Divriği arasındaki muntukanın başlıca jeolojik hatları M.T.A., İnternal Report no. 568, Ankara .
- Blumenthal, M. M., 1950, Beitrage zur geologie des landschaften am Mittleren und Unteren Yeşilirmak (Tokat, Amasya, Havza, Erbaa, Niksar), MTA Yayını, Seri D, 4.
- Carpenter, A.M., 1988, Coal Classification, IEACR/12, IEA Coal Research London.
- Cicioğlu, E., 1995, Sorgun (Yozgat) kömürlerinin kimyasal ve petrografik özelliklerinin incelenmesi, Yüksek Müh. Tezi, Hacettepe Üniv., 84 s, Ankara.

- Çubuk, Y. ve İnan, S., 1998, İmranlı ve Hafik (Sivas) Güneyinde Miyosen Havzasının Stratigrafik ve Tektonik Özellikleri, MTA Dergisi 120, s. 45-60.
- Eriş, E., 1996, Eosen yaşlı Çelttek (Amasya) kömürlerinin kimyasal-petrografik özellikleri, oluşum ortamı ve ekonomik potansiyellerinin incelenmesi, Yüksek Müh. Tezi, Hacettepe Üni., 63 s, Ankara.
- Erüenal-Eröntöz, L., 1956, Stratigraphie des bassins neogenes de Tugue, plus specialement d'Anatolie Meridionale et comparaisons avec le domaine Méditerranéen dans son ensemble. M.T.A., Seri C, No.3, Ankara.
- Espitalié, J., La Porte, J.L., Madec, M., Marquis F., Le Plat, P., Paulet, J., ve Boutefeu, A., 1977, Methodé rapide de caractérisation des roches mères de leur potentiel pétrolier et de leur degré d'évolution: Rev. L'Inst. Francais petrole, 31(1), 23-42.
- Espitalié, J., Deroo, G., ve Marquis, F., 1985, La pyrolyse Rock-Eval et ses applications (deuxième partie): Revue Institut Francais du Pétrole, v. 40, 755-784 p.
- Folk, R.L., 1962. Spectral subdivision of limestone types. In W.E. Ham (ed.) Classification of carbonate rocks; Amer. Assoc. Petrol. Geologist Mem., 1, 62-84.
- Gökçen, S.L., 1981, Zara-Hafik Güneyindeki Paleojen İstifinin Sedimantolojisi ve Paleocoğrafik Evrimi: Yerbilimleri, c. 8, s. 1-21.
- Gökçen, S.L., 1982, Zara-Hafik (Sivas) ve Refahiye (Erzincan) Bölgeleri Eosen flişinin sedimanter paleontolojik karşılaştırması: Yerbilimleri, c. 9, s. 141-147.
- Gökçen, S. L., ve Kelling, G., 1985, Oligocene deposits of the Zara-Hafik region (Sivas-Central Turkey): Evolution from storm-influenced shelf to evaporitic basin: Geologische Rundschau 74/1, 139-153.
- Gökten E. ve Kelling G., 1991, Hafik kuzeyinde Senozoyik stratigrafisi ve tektoniği: Sivas- Refahiye havzası kuzey sınırında tektonik kontrol. In: Yetis C. (Edit.) Ahmet Acar Jeoloji sempozyumu. Spec. Publ. Çukurova Univ. Adana, Geol. Eng. Dep., 113-123
- Görür, N., Tüysüz, O. And Şengör, A.M.C., 1998, Tectonic evolution of the Central Anatolian basins. Inter. Geology Review, 40, p. 831-850.
- Hagemann, H.W.& Wolf, M., 1989, Paleoenvironments of Lacustrine coals-the occurrence of algae in humic coals, In: P.C. Lyons and B. Alpern (Editors), Peat and Coal: Origin, Facies, and Depositional Models. Int. J. Coal Geology, 12: 511-522.
- Huizinga, B.J., Aizenshtat, Z.A. and Peters, K.E., 1988, Programmed pyrolysis-gas chromatography of Energy and Fuels, v. 74, 74-81p.
- Hunt, J. M., 1994, Organic Geochemistry and Geology: Freeman and Company, New York, 743p.
- ICCP, 1963, International handbook of Coal petrology
- Iordanidis, A. and Georgakopoulos, A., 2003, Pliocene lignites from Apofysis mine, Amynteo basin, Northwestern Greece: petrographical characteristics and depositional environment. Int. Jour. Of Coal Geol. 54, 57-68.
- Jackson, K.S., Hawkins, P.J., and Bennett, A.J.R., 1985, Regional Facies and geochemical evolution of Southern Denison Trough, APEA Journ., 20, 143-158p.

- J. C. P. D. S., 1990, Powder Diffraction File, Alphabetical Indexes Inorganic Phases. Swarthmore, U. S. A., 871 pp.
- Jorgen, A.B.K, G. Dam, H.P.Nyotoft, G.K. Pedersen, H.I. Petersen, 2001, Drowning of a nearshore peat-forming environment, Atane Formation (Cretaceous) at Asuk, West Greenland: sedimentology, organic petrography and geochemistry, *Organic Geochemistry*, 32, 967-980.
- Kalkreuth, W., Kotis, T., Papanicolaou, C. & Kokkinakis, P., 1991, The Geology and coal petrology of Miocene lignite profile at Meliadi Mine, Katerini, Greece. *Int. J. Coal Geology*, 17, 51-67.
- Kangal, Ö. ve Varol, B., 1999, Sivas Havzası Alt Miyosen İstifinde Havza Kenarı Fasiyesleri: TPJD Bülteni, C. 11, Sayı 1, s. 31-53.
- Katz, B.J., 1995, The Green River Shale: an Eocene Carbonate Lacustrine Source Rock: in B.J. Katz (ed), 'Petroleum Source Rock' Springer-Verlag, 324p.
- Kavak, K.Ş., 1998, Savcun ve Karacaören (Ulaş-Sivas) yörelerinde Sivas Tersiyer Havzasının Tektonostratigrafisi, Tektonik Deformasyon Biçimi ve Sayısal Modellemesi, Doktora Tezi, CÜ. Fen Bil. Ens. 336 s. (yayımlanmamış).
- Kavak, K.Ş. ve İnan, S., 2001, Savuncun ve Karacaören (Ulaş-Sivas) Yörelerinde Sivas Havzası Güney Kenarının Tektonostratigrafik Özellikleri, *Yerbilimleri*, 23, s. 113-127.
- Ketin, I., 1966, Tectonic Units of Anatolian (Asia Minor), *Bull. Min. Res. Explor. Inst. Turkey, Ankara*, 66, p. 23-34.
- Khorsani, G. K., 1984, Characterisation of Organic matter in oil shales: application of X-ray diffraction techniques and electron microscopy. *Proc. 2nd Australian Workshop on Oil Shale (Brisbane, 6-7 Dec.)*. CSIRO, Division of Energy Chemistry, Lucas Heights.
- Koçyiğit, A., 1991, Changing stress orientation in progressive intracontinental deformation as indicated by the neotectonics of the Ankara region (NW Central Anatolia) *TAPG Bulletin*, 3/1 December 1991, p. 48-59.
- Korkmaz, S., ve Kara Gülbay, R., 2007, Organic geochemical characteristics and depositional environments of the Jurassic coals in the Western Taurus of Southern Turkey, *Int. Jour. Of Coal Geol. Vol. 70, 4*, 292-304.
- Kural, O., 1998, Kömür özellikleri, Teknolojisi ve çevre ilişkileri, 785 s.
- Kurtman, F., 1973, Sivas-Hafik-Zara ve İmranlı bölgesinin jeolojik ve tektonik yapısı, *M.T.A. Dergisi*, 80, 1-32.
- Meşhur, M. ve Aziz, A. 1980, Sivas baseni jeolojisi ve hidrokarbon olanakları: T.P.A.O. Rap. No: 1530 (yayınlanmamış), Ankara.
- 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, *Org. Geoch.*, 22 (1), p. 85-104.
- Nakamura, T., Sameshima, K., Okunaga, K., Sugiura, Y., and Sato, J., 1989, Determination of amorphous phase in quartz Powder by X-ray Powder diffractometry. *Powder Diffract.*, 4:9-13.
- Nakoman, E., 1971, Kömür, M.T.A. Eğitim serisi, 8, 348s., Ankara.
- Norman, T., 1964, Celalli (Hafik) bölgesinin genel jeolojisi. M.T. A. Rapor No. 4114, Ankara (yayınlanmamış).
- Norman, T.N., 1990, On the structural evolution of the melange belt, North of Hafik (Sivas), central Turkey: *Türkiye 8. Petrol Kongresi Bildiriler kitabı*.

- Norman, T., 1991, Orta Anadolu Hafik (Sivas) kuzeyindeki melanj kuşağının yapısal gelişimi hakkında. TPJD 8. Petrol Kongresi Bildiriler kitabı, 107-112s.
- Özçelik, O., Altunsoy, M., 1996, Clastic Petrofacies, Provenance and Organic Facies of the Bozbel Formation (Lutetian) in The Eastern Sivas Basin (Turkey), *Marine and Petroleum Geology*, 13 (5), 493-501.
- Özçelik, O. 2000, Source rock Evaluation of Tertiary sediments in the Basin, Central Anatolia, C.Ü. Müh. Fak. Yerbilimleri Dergisi, C. 17, S.1, s. 31-44.
- Peters, K.E., 1986, Guidelines for Evaluating Petroleum Source Rock Using Programmed Pyrolysis, *AAPG Bull.*, 70, p. 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*, Tulsa, AAPG, 93-120p.
- Pettijohn, F.J., Potter, P.E., Siever, R., 1987. *Sand and Sandstone*. Springer & Verlag, Berlin, p. 553.
- Poisson, A. M., Temiz, H. ve Gürsoy, H., 1992, Hafik yöresinde Sivas Havzası'nın Pliyosen Bindirme Tektoniği; güney yönlü ön bindirmeler ve kuzey yönlü geri bindirmeler (Türkiye): *Cum. Üniv. Müh. Fak. Derg.*, 9, 1, 19-27.
- Poisson, A., Guezou, J.C., Temiz, H., Gürsoy, H., İnan, S., Öztürk, A., Kavak, K.Ş., and Özden, S., 1996, Tectonic setting and evolution of the Sivas Basin, Central Anatolia, Turkey. *International Geology Review*, 38, 838-853.
- Snowdon, L.R., L.D. Stasiuk, R. Robinson, J. Dixon, J. Dietrich, D.H. McNeil, 2004, Organic geochemistry and organic petrology of a potential source rock of Early Eocene age in the Beafort-Mackenzie Basin, *Organic Geochemistry*, 35, 1039-1052.
- Stopes, M. C., 1935, 'On the Petrology of Banded Bituminous Coals', *Fuel* 14.
- Stach, E., Mackowsky, M.-Th., Teichmüller, M., Taylor, G.H., Chandra, D.& Teichmüller, R., 1982, *Stach's textbook of coal petrology*, Gebrüder Borntraeger, 535p, Berlin.
- Stchepinsky, V., 1939, *Faune miocene du vilayet de Sivas (Turquie)*: M.T.A. Monogr., No. 1, Ankara.
- Sungurlu, O. ve Soytürk, N., 1970, Sivas Havzası ve civarının jeolojik incelemesi: T.P.A.O.Rapor No: 482.
- Şengör, A.M.C. ve Yılmaz, Y., 1981, Tethyan evolution of Turkey: a plate tectonic approach. *Tectonophysics*, 75, 181-241 s.
- Teichmüller, M., 1962, Die genese der Kohle, C. R., *Quatrieme Congres Int. Stratigr. Geol. Carbonifere* 699-722p.
- Teichmüller, M., Littke, R., Taylor, G.H., 1998a, The origin of organic matter in sedimentary rocks: In Taylor, G.H., Teichmüller, M., Davis, A., Diessel, C.F.K. Littke, R., Robert, P., (eds), *Organic petrology*, Gebrüder Borntraeger, Berlin, 704 p
- Temiz, H., 1994, Sivas Tersiyer Havzasının Kemah (Erzincan) ve Hafik (Sivas) Yörelerindeki Tektonostratigrafisi ve Tektonik Deformasyon Biçimi, *Doktora Tezi, Cumhuriyet Üni.*, 239s, Sivas (yayımlanmamış).
- Tissot, B., and Welte, D.H., 1978, *Petroleum Formation and occurrence*: Springer-Verlag, Berlin, 699p
- Tissot, B.P. and Welte, D.H., 1984, *Petroleum Formation and Occurrence*: Springer-Verlag, Berlin, 699s.
- Toprak, S., 1996, Alpagut-Dodurga (Osmancık-Çorum) Bölgesi çevresindeki kömürlerin oluşum ortamları ve özelliklerinin belirlenmesi, *Doktora Tezi, Hacettepe Üni.*, 163s, Ankara.
- Ward, C. R., Ed., 1984, 'Coal Geology and Coal Technology', Blackwell Scientific Publications, London.

- William, E. and Keith, M., 1963, Relationship between sulphur in coals and the occurrence of marine roof beds. *Economic Geology*, 58: 720–729.
- Yalçın, H., Bozkaya, Ö., 2002, Hekimhan (Malatya) çevresindeki Üst Kretase yaşlı volkaniklerin alterasyon, mineralojisi ve jeokimyası: Denizsuyu-kayaç etkileşimine bir örnek. *C. Ü. Müh. Fak. Derg. Seri A-Yerbilimleri*, 19, 81–98.
- Yalçınlar, İ., 1955, Sivas bölgesi 1/100 000 Sivas 61/1, 62/2, 61/4 paftalarına ait jeolojik rapor. Rapor No. 2577, Ankara (yayınlanmamış).
- Yalçın, N., 1998, Rock-Eval Piroz analizinde ve verilerin yorumlanmasında karşılaşılan bazı problemler. *Cumhuriyet Üniv. Müh. Fak. Derg. Seri A-Yerbilimleri C.15, S.1*, s.51–60.
- Yılmaz, A., 1980, Tokat ile Sivas arasındaki bölgedeki ofiyolitlerin kökeni, iç yapısı ve diğer birimlerle ilişkisi. *A.Ü. Fen Fak.*, Doktora tezi, 136 s (yayınlanmamış).
- Yılmaz, A., and Yılmaz, H., 2006, Characteristic Features and Structural Evolution of a Post Collisional Basin: The Sivas Basin, Central Anatolia, Turkey: *Journal of Asian Earth Sciences*, 27, 164–176.