

## Karahallı (Uşak, GB Türkiye) Havzasında Bulunan Pliyo-Pleistosen Yaşlı Gömülü Sedimanter Birimlerin Mineralojisi ve Jeokimyası

\*Makale Bilgisi / Article Info

Alındı/Received: 06.11.2023

Kabul/Accepted: 08.05.2024

Yayımlandı/Published: 27.06.2024

### Mineralogy and Geochemistry of Plio-Pleistocene aged Buried Sedimentary Units in the Karahallı Basin (Uşak, SW-Türkiye)

Tülay ALTAY<sup>1\*</sup>, Ali KORKMAZ<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Afyon Kocatepe Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Afyonkarahisar, Türkiye

<sup>2</sup>Adıyaman Belediyesi, Adıyaman, Türkiye

© Afyon Kocatepe Üniversitesi

#### Öz

Karahallı havzası Batı Anadolu da KD-GB uzanımlı Çivril-Baklan Grabeni'nin kuzeybatısında bulunur. Tektonik aktivitenin etkin olarak gözlemlendiği çalışma alanında ilk kez tanımlanan gömülü Pliyo-Pleistosen yaşlı birimlerin mineralojik, jeokimyasal özelliklerinin incelenmesi ve havzanın tektono-sedimanter gelişiminin ortaya konulması amaçlanmıştır. Çalışma amacı kapsamında, arazi çalışmalarıyla birlikte 10 adet derin sondaj logu kullanılmış ve birbirleriyle korele edilmiştir. Derinliği 342 m ile 670 m arasında değişen sondajlarda yüzlerce metre kalınlığa sahip fluvial ve gölsel birimler kesilmiştir. Fluvial birimler zayıf pekişmiş çakıltaşı, yer yer çapraz tabakalı kumtaşı, silttaşı ve çamurtaşı gibi kırıntılı birimlerden oluşmaktadır. Gölsel tortullar yaygın olarak, fosilli, organik malzeme içeren kalkerli çamurtaşı, kilttaşı, killi kireçtaşı, kireçtaşı, marn, kömür ve travertenlerden oluşmaktadır. Karahallı havzasının akarsular tarafından sürekli olarak beslendiği ve batıya ve kuzeydoğuya doğru giderek derinleşen bir göl havzası olduğu belirlenmiştir. İncelenen örneklerde XRD analizleri ile kil mineralleri, kalsit, dolomit, feldispat, kuvars, jips ve anhidrit belirlenmiştir. Traverten ve kireçtaşlarının başlıca kalsit mineralinden oluştuğu; marn, çamurtaşı ve killi kireçtaşların da ise kil, kalsit ve dolomit mineralinin bulunduğu belirlenmiştir. Kil minerallerinin analizi ile Mg-simektit, Na-simektit, illit ve kaolinit tespit edilmiştir. SEM çalışmalarında simektit tipik bal peteği ve mısır gevreği morfoloji göstermiştir. Küçük, iyi gelişmemiş romboedrik kalsit ve dolomit kristalleri gözlenmiştir. Jeokimyasal analiz sonuçları değerlendirildiğinde kayaçların aynı kökenden kaynaklandığı ve yaygın olarak asidik bileşimli birimlerden oluştuğu belirlenmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Karahallı Havzası; Pliyo-Pleistosen; G-B Türkiye; Kil; Karbonat.

#### Abstract

Karahallı basin is located in the northwest of the NE-SW trending Çivril-Baklan Graben in Western Anatolia. It is aimed to examine the mineralogical and geochemical properties of the buried Plio-Pleistocene aged units identified for the first time in the study area where tectonic activity is actively observed and to reveal the tectono-sedimentary development of the basin. 10 deep drilling logs were used and correlated with each other besides field observations. In drillings with depths ranging from 342 m to 670 m, fluvial and lacustrine units with a thickness of hundreds of meters have been cut. Fluvial sediments consist of clastic units such as weakly consolidated conglomerate, locally cross-layered sandstone, mudstone and siltstone. Lacustrine sediments commonly consist of calcareous, fossiliferous mudstone containing organic material, clayey limestone, limestone, claystone, marl, coal and travertine. It has been determined that the Karahallı basin is a lake basin that is constantly fed by rivers and gets deeper towards the west and northeast. Calcite, dolomite, anhydrite, gypsum, feldspar, quartz and clay minerals were determined in the examined samples by XRD analysis. Travertine and limestone are mainly composed of calcite minerals; marl, mudstone and clayey limestone contain clay, calcite and dolomite. From the clay minerals, Mg-smectite, Na-smectite, illite and kaolinite were detected. In SEM studies, smectite showed typical honeycomb and cornflake morphology. Small, poorly developed rhombohedral calcite and dolomite crystals are observed. According to geochemical analysis results, it was determined that the rocks originate from the same origin and commonly consist of units with acidic composition.

**Keywords:** Karahallı Basin; Plio-Pleistocene; S-W Türkiye; Clay; Carbonate.

#### 1. Giriş

Karahallı havzası, Batı Anadolu genişlemeli tektonik rejimi içerisinde gelişen, doğuda Isparta büklümü ile batıda Gediz ve Büyük Menderes grabenlerinin arasında kalan, önemli tektonik yapılardan biri olan Çivril-Baklan grabenin kuzey kesiminde yer almaktadır (Şekil 1). Bölgedeki graben havzalarda tektonik aktivite, stratigrafi ve çökeltme sistemleri ile ilgili çeşitli çalışmalar yapılmıştır (Eriç 1957, Ünal 1981, Koçyiğit 1984, Çakmakçoğlu 1986, Konak vd.

1986, Göktaş vd. 1988, Öztürk ve Öztürk 1989, Savaşçın and Güleç 1990, Özkul et al. 2002, Toker 2009, Boyraz 2011, Emre et al. 2011, Gürbüz et al. 2012, Altay ve Dumlupınar 2013, Altay et al. 2018, Özalp et al. 2018, Korkmaz 2018, Özsayın et al. 2020). Bölgedeki kömür içeren Neojen havzaların linyit potansiyeli ve oluşumu (Konyalı 1970, Karayığıt et al. 2015, Bechtel et al. 2016, Koralay 2020) ve havzaların paleoklimsel ve paleoortamsal durumu hakkında da önemli çalışmalar

bulunmaktadır (Çakır 1999, Akgün et al. 2007, Özkul et al. 2013, Alçiçek et al. 2015, Toker 2017, Kayseri-Özer and Emre 2022, Tagliasacchi et al. 2024, Alçiçek et al. 2023).

Özalp vd. (2018)'de Çivril Graben Sistemi üzerinde tektonik amaçlı yaptıkları çalışmada, Çivril ve Dinar fayları ayrıntılı olarak çalışılmıştır. Graben dolgularının Pliyo-Kuvaterner yaşlı göl ve akarsu sedimanlarından, Geç Pleistosen-Holosen dönemindeki taşkın düzlüğünden, göl-bataklık ve alüvyal yelpaze çökellerinden oluştuğunu belirtmişlerdir. Radyometrik yaş, duraylı izotop ( $\delta^{18}\text{O}$  ve  $\delta^{13}\text{C}$ ) ve palinolojik (polen ve spor) bulgular ile havzanın paleoiklimsel ve paleovejetasyonel durumu Tagliasacchi et al. (2024) tarafından incelenmiştir. Palinomorf birlikteliği, çökeltme alanının çevresindeki bataklık ortamını ve alçak-orta rakımlı alanı gösterdiği belirtilmiştir. Orta Pleistosen'de Uşak-Karahallı bölgesindeki paleoiklimsel sinyaller, ağırlıklı olarak ılıman iklimin hüküm sürdüğünü, ayrıca ortamın kurudan neme dönüştüğünü göstermektedir. Tüm bulgular, kırıntılı ve karbonat yataklarının çökmesinin topografya, tektonik aktivite ve iklimden etkilendiğini göstermektedir. Büyüme fayları gibi tektonik yapılar gölün dolgusunda çok önemli rol oynayarak çökmeye neden olmuş ve bu da sedimantasyon hızını etkilemiştir. Ayrıca hidrotermal su akışının traverten oluşmasında önemli bir rol oynadığı ve bu durumun çalışma alanındaki aktif fay sistemleriyle güçlü bir şekilde ilgili olabileceği düşünülmektedir (Tagliasacchi et al. 2024).

Yukarıda verilen çalışma alanı ve çevresinde bugüne kadar yapılan çalışmalar yüzey verilerine dayalı Batı Anadolu'nun jeolojik evrimine ışık tutan ve daha çok havzanın ekonomik önemi ile ilgili çalışmalardır. Bu çalışma kapsamında ise Karahallı havzasında ilk kez tanımlanan gömülü sedimanter birimlerin mineralojik ve jeokimyasal özelliklerinin incelenmesiyle oluşum süreçleri ve kökenlerinin belirlenmesi amaçlanmıştır. Çalışmalar kapsamında araziden örnekleme ile beraber bölgede TKİ Genel Müdürlüğü tarafından kömür arama amacıyla yapılan derin sondajlar takip edilmiş, sondaj karotlarından örnekleme yapılmıştır. Sondaj logları, ayrıntılı olarak ele alınmış ve birbirleriyle korele edilmiştir. Böylelikle tektonik olarak oldukça aktif bir konuma sahip havzada tektonik hareketlerin varlığına bağlı olarak havzanın sedimanter gelişimi ortaya konulmuştur.

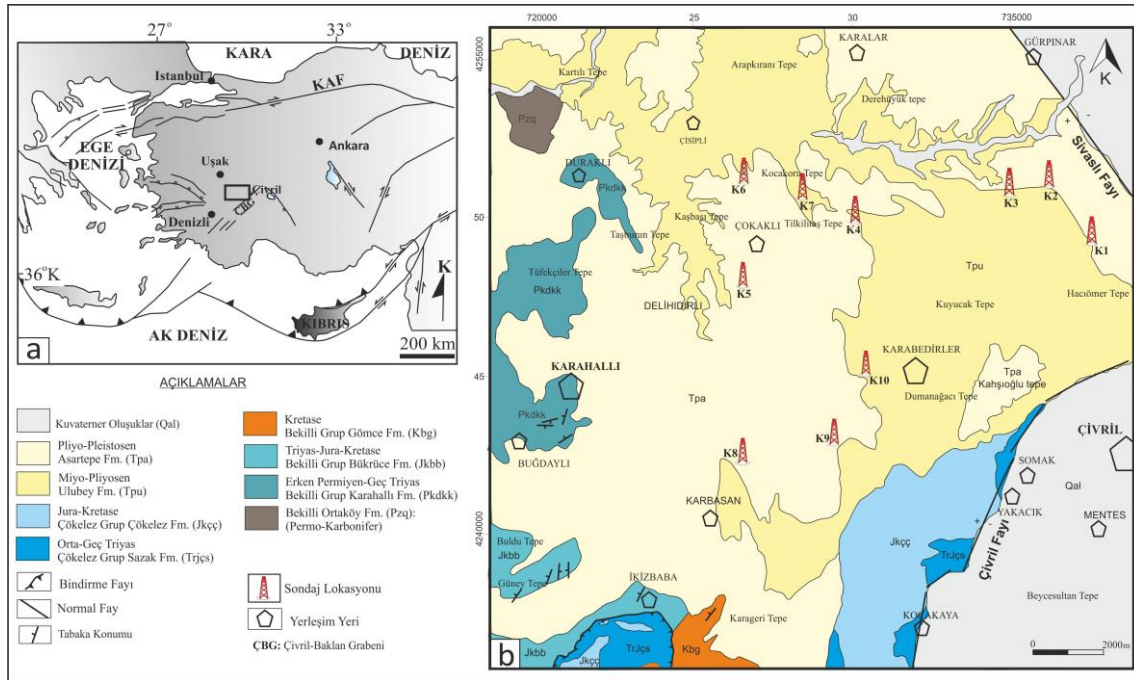
## **2. Materyal ve Metot**

İnceleme alanında çalışmanın amacına uygun olarak 10 sondajdan ve araziden örnek alınmıştır (K1:342.5 m, K2:407 m, K3:364 m, K4:670 m, K5:466 m, K6:405 m, K7:350 m, K8:372 m, K9:391 m, K10:354 m (Şekil 1b, Çizelge 1). Derlenen örnekler sondaja ve alındığı metreye

göre adlandırılmıştır. Öncelikle çalışmanın amacına uygun olarak X-ışını difraksiyonu (XRD) analizi için 7 sondajdan seçilen 50 adet örnek havada kurutulduktan sonra Afyon Kocatepe Üniversitesi (AKÜ), Maden Mühendisliği, Cevher Hazırlama Laboratuvarında halkalı değirmende -100  $\mu\text{m}$  boyutunda öğütülmüştür. Örnekler toz haline getirildikten sonra tüm kayaç mineralojik bileşimleri X-ışınları difraksiyon (XRD) analizi ile belirlenmiştir. X-ışınları çekimleri ile elde edilen difraktogramlardan itibaren mineral tanımlamaları JCPDS (1993) kartlarından faydalanarak yapılmıştır. Gündoğdu (1982) kütle absorpsiyon katsayıları kullanılarak minerallerin % içerikleri tespit edilmiştir. Bu yöntemin nispi doğruluğu %  $\pm 15$  dir.

Tüm kaya XRD grafikleri değerlendirildikten sonra kil içeriği yüksek 4 adet örneğin kil ayırma işlemi yapıldıktan sonra, normal, etilen glikol ve 550 °C fırınlı XRD çekim işlemleri yapılmıştır. Etilen glikol ile örnek 60 °C'de etüvde en az 1 saatten az olmamak üzere bekletilmiş, sonrasında ara vermeden XRD analizi yapılmıştır. Fırınlı çekimde ise örnek 550 °C etüvde 1 saatten az olmamak üzere bekletilmiştir. Yaklaşık 20 dakika kadar soğuduktan sonra XRD analizi yapılmıştır. Örneklerin normal çekimleri  $2\theta=2^\circ-70^\circ$ , etilen glikollü ve fırınlı çekimleri  $2\theta=0^\circ-30^\circ$  aralığında yapılmıştır. X-ışını difraksiyonu analizleri, AKÜ - Teknoloji Uygulama ve Araştırma Merkezi (TUAM) laboratuvarında Shimadzu 6000 model ve Bruker D8 Advance X-ışınları difraktometreleri kullanılarak yapılmıştır.

Seçilen örneklerin AKÜ Teknoloji Uygulama ve Araştırma Merkezinde (TUAM) LEO VP-1430 model taramalı elektron mikroskop (SEM) ile minerallerin morfolojileri ile neoformasyon minerallerin ilişkileri, kristal büyüklükleri incelenmiştir. EDS (Energy Dispersive Spectroscopy) analizleri yapılarak minerallerin yarı nicel kimyasal bileşimleri belirlenmiştir. Örneklerin yüzey nemi uzaklaştırıldıktan sonra mineral görüntülerinin daha net olması amacıyla örnekler karbon ile kaplatılmıştır. Mineralojik analizlerin değerlendirilmesinden sonra çalışmanın amacına uygun olarak, havzayı temsil etmesi açısından K1, K4 ve K9 nolu sondajlardan belirlenen karbonat ve kilce zengin 26 adet örnek jeokimyasal özelliklerinin belirlenebilmesi için Acme (Kanada) Laboratuvarlarında, ana element oksit, iz ve nadir toprak elementleri, toplam C (TOT/C), toplam S (TOT/S) içerikleri belirlenmiştir. Analizlerde ICP-MS ve EAS (Inductively Coupled Plasma – Mass Spectrometry, Emission Spectrometry) ile ana oksit ve iz element, ateşte kayıp, Leco analizi ile toplam C ve S analizleri yaptırılmıştır (Acme Laboratuvarı analiz kodu: LF200).



**Şekil 1. (a) Çalışma alanının yer bulduru haritası, (b) Çalışma alanının jeoloji haritası (Konak vd. 1986, Erinç 1957'den faydalanılarak hazırlanmıştır) ve sondaj lokasyonları**

### 3. Genel Jeoloji

Neojen tortullar ile doldurulmuş olan Karahallı havzasının temelini Menderes Masifi'nin örtü metamorfiteğine karşılık gelen Bekilli Grubu ve Çökelez Grubuna ait mermer, fillit, şist, gnays, dolomit, metaçakıtaşı, metakumtaşı ve metasilttaşı birimleri oluşturur (Şekil 1). Havza kuzeydoğudan ve güneydoğudan faylar ile sınırlandırılmıştır. Havzayı kuzey doğudan sınırlayan ve yaklaşık K-G uzanımlı, havza kenarını oluşturan Sivaslı (Gürpınar) fayı başlıca Neojen birimleri metamorfik kayalardan ayıran, büyüme fayı özelliğine sahip bir faydır (Yağmurlu vd. 2017). Fay yaklaşık 26 km uzunluğunda olup, Çivril ve Sivaslı ilçeleri arasında yer almakta olup, B-eğimli normal fay düzlemleri ile temsil edilmektedir. Havzayı dolaylı olarak kontrol eden bir diğer önemli yapı ise Çivril Fayı'nın Akpınar segmentidir (Özalp et al. 2018). Bu bölüm yaklaşık 12 km uzunluğunda olup Çivril ile Işıklı'nın kuzeyi arasında uzanır. K60D gidişli olup, metamorfik temel kayaları ve Neojen çökellerini Kuvaterner alüvyonlarıyla yan yana getiren GD eğimli normal fay düzlemleri ile karakterize edilir (Özsayın et al. 2020).

Havzada temel birimler üzerine uyumsuz olarak Miyo-Pliyosen yaşlı kiltası ve marn ara düzeylerinden oluşan Ulubey Formasyonu gelir (Konak vd. 1986, Erinç 1957). Ulubey Formasyonunun üzerine çalışmamızın da konusunu oluşturan Pliyo-Pleistosen yaşlı akarsu ve göl ortamında oluşan konglomera, kumtaşı, silttaşı, çamurtaşı, kömür, marn, killi kireçtaşı ve travertenden oluşan Asartep Formasyonu gelir. Asartep

formasyonuna ait iri-orta taneli kırıntılılardan oluşan fluvial birimler Pliyosen yaşlıdır. İnce taneli kırıntılılar (çamurtaşı), kömür ve karbonatlardan (killi kireçtaşı, marn) oluşan göl çökelleri ise Pliyosen de çökelmiştir. Daha sonra (?) Erken-Orta Pleistosen yaşlı killi kireçtaşı, marn ve travertenler bu göl sisteminde çökelmiştir. Travertenler üzerinde yapılan ölçümler, bu karasal karbonatların Orta Pleistosen'de (~288 bin yıl) çökelmeye devam ettiğini göstermektedir (Tagliasacchi et al. 2024). Havza da geniş yayılım gösteren travertenler, istifin üst bölümünde diğer gölsel ve fluvial birimler ile beraber, oldukça kalın bir istif sunmaktadır (Şekil 1) Asartep formasyonunun üzerine Kuvaterner yaşlı alüvyon çökeller gelir (Şekil 1b) (Konak vd. 1986, Erinç 1957).

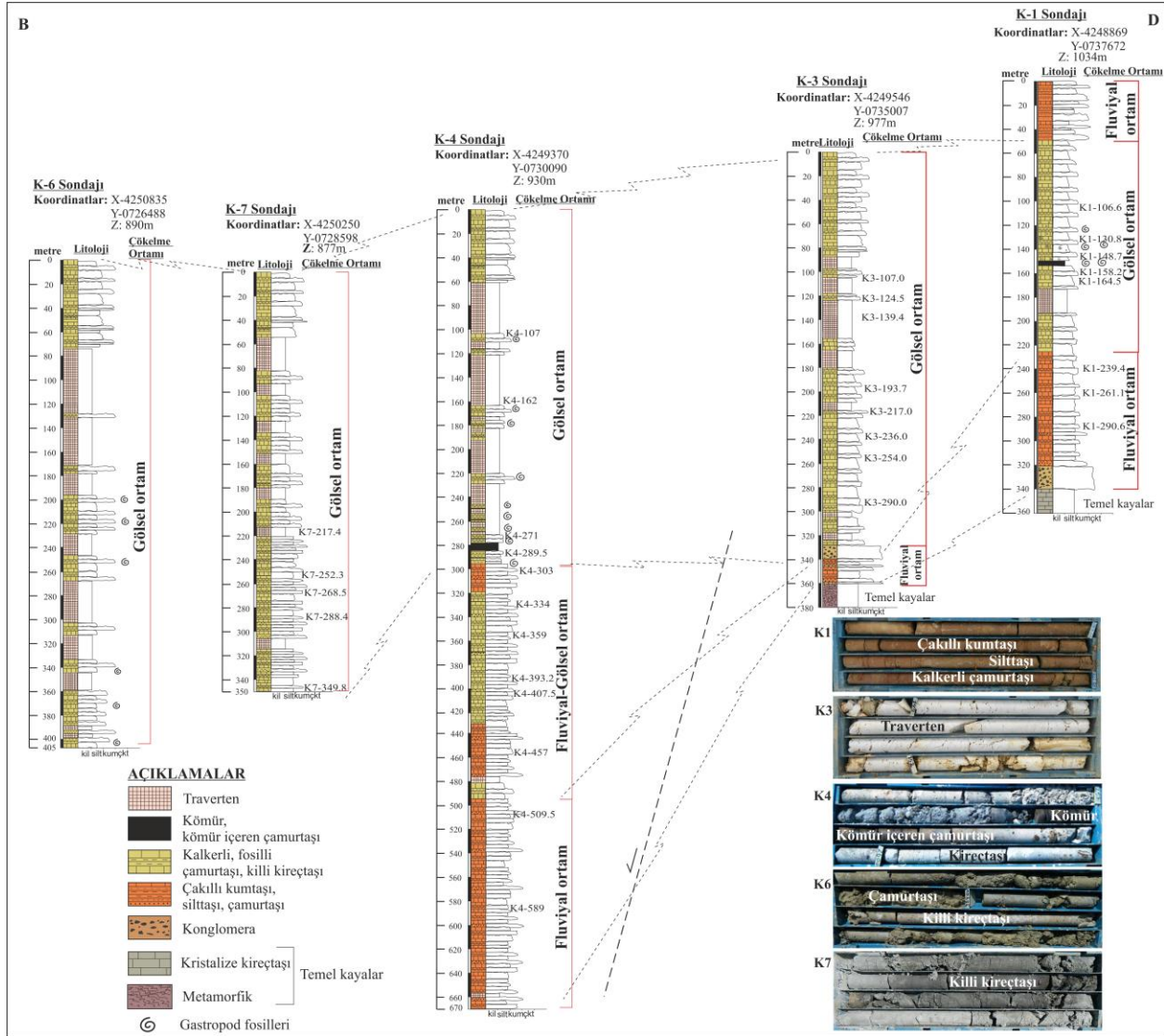
### 4. Bulgular

#### 4.1. Sondaj Karotlarının Litolojisi

İnceleme alanında TKİ tarafından kömür arama amaçlı yapılan 10 adet derin sondajların derinliği 342 m ile 670 m arasında değişmektedir. En derin sondaj (K4) havzanın ortasında yapılırken, en sığ sondaj (K1) doğuda havza kenarında Sivaslı fayına yakın yapılmıştır (Şekil 1b). K1, K2, K3, K5, K8 ve K9 sondajlarında temel kayalara kadar sondaj devam etmiştir (Korkmaz 2018). Menderes Masifinin kenar zonuna ait litolojilerden taşınarak gelmiş olan metamorfik kayalardan oluşan temel kayalar (mermer, rekristalize kireçtaşları, fillit, kuvars-şist ve sleyt), K1 sondajında 339. metrede, K2 sondajında 399. metrede, K3 sondajında 360. metrede, K5 sondajında 460. metrede, K8 sondajında 365. ve K9 sondajında 390. metrede kesilmiştir. En derin sondaj olan K4 sondajında

temel kayalara ulaşmamıştır. Sondajlarda temel kaya birimlerinin üzerine fluvial ortamda oluşan karasal kırıntılılar (çakıltaşı, yer yer çapraz tabakalı çakıllı kumtaşı, siltaşı, çamurtaşı) gelmektedir. Yüzlerce metre kalınlık

sunan bu istif, yanal ve düşey yönde geçişli gösel tortullar (kalkerli, fosilli, organik malzeme içeren çamurtaşı, kiltası, killi kireçtaşı, kömür, marn ve traverten) ile yer yer ardalanmalı olarak bulunmaktadır (Şekil 2 ve Şekil 3).

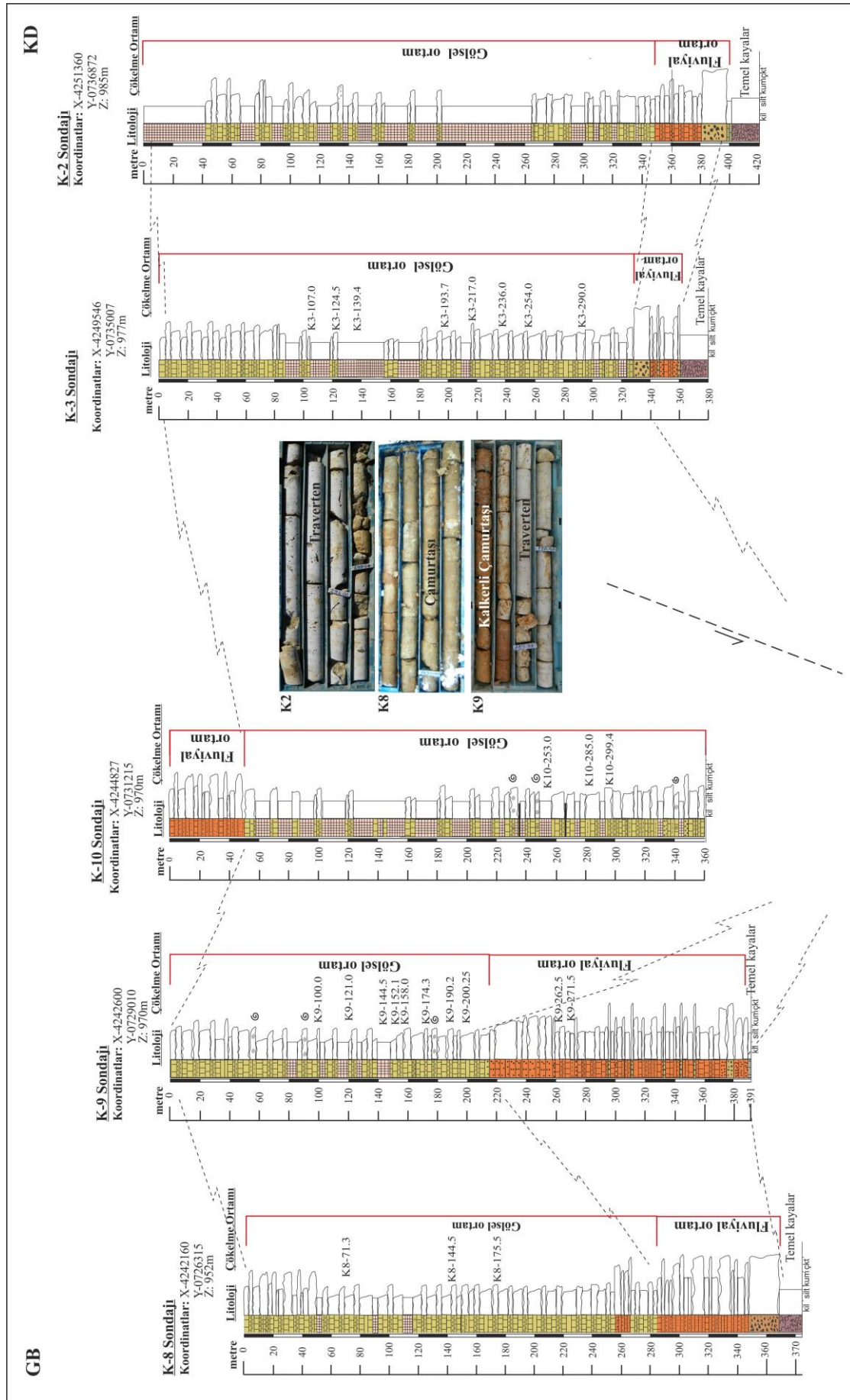


Şekil 2. Çalışma alanında yapılan sondajların B-D doğrultulu korelasyonu, karot fotoğrafları (Sondaj kesitleri üzerinde örnek numaraları ve yerleri gösterilmiştir, sondajların lokasyonu için Şekil 1b'ye bakınız).

K1 ve K10 sondajında üst seviyelerde fluvial ortamda oluşan karasal kırıntılı birimler, yaklaşık 50 metre kalınlıkta gözlenirken diğer sondajlarda, bu karasal kırıntılılar üst seviyelerde gözlenmeyip gösel karbonatlı tortullar yüzeye kadar ulaşan kalın istifler sunmaktadır. K4 sondajında yüzeyden 295 m ye kadar gösel birimler kesilmiştir. 295 m den 475 m ye kadar fluvial ve göl ortamına ait birimler yanal düşey geçişli olarak gözlenmiştir. 475 m den kuyu tabanına kadar (670 m) ise fluvial ortamda oluşan karasal kırıntılılar gözlenmiştir. K6 (405 m) ve K7 (350 m) sondajlarında sadece gösel çökeller gözlenmiştir. Havzanın doğusunda bulunan K2 sondajında yüzeyden 350 m ye kadar, K3 sondajında 330 m ye kadar, havzanın güneyinde bulunan K9 sondajında yüzeyden 210 m, K8 sondajında ise 255 m ye kadar gösel birimler

gözlenmiştir. Bu sondajlarda belirtilen metrelerden itibaren değişen kalınlıklarda (20-170 m) fluvial ortamda oluşan karasal kırıntılı birimler gözlenmiş ve daha sonra temel birimlere girilmiştir. K1, K2 ve K3 sondajlarında temel kayalar deniz seviyesine göre birbirine yakın yükseklikte yer almaktadır. Fluvial ortam kırıntılılarının kalınlığı doğudan batıya doğru azalırken, gösel çökellerin kalınlığı artar, bu da gömülü faylara bağlı olarak havzanın batıya doğru derinleşmesini temsil eder (Şekil 2). Sondaj logları incelendiğinde havza da oldukça kalın seviyeler halinde gözlenen travertenler, yaygın olarak istifin üst bölümünde bulunur ve diğer gösel ve fluvial birimler ile beraber, gömülü fayların etkisi ile batıya doğru ve havzanın kuzey doğusundaki Sivaslı fayına doğru kalınlığı artmaktadır.





Şekil 3. Çalışma alanında yapılan sondajların GB-KD doğrultulu korelasyonu, karot fotoğrafları (Sondaj kesitleri üzerinde örnek numaraları ve yerleri gösterilmiştir, sondajların lokasyonu için Şekil 1b'ye bakınız).

K4 sondajının 275. metrelerinde, siyahımsı, koyu kahve renkleri arasında değişen, kömür ile organik madde içeriği yüksek yer yer kömür izli çamurtaşı ardalanmasından oluşan yaklaşık 7 m kalınlıkta bir istife rastlanılmıştır. Bu organik maddece zengin katmanın içinde kalınlığı 2 ile 25 cm arasında değişen ince kömür seviyeleri bulunmaktadır. Bu kömürler siyahımsı, ortaç pekleşmiş ve mat görünüm göstermektedir (Şekil 2 ve Şekil 3).

K10 sondajında ise organik maddece zengin kömürlü seviyeler, K4 sondajı ile yakın metrelerde ama daha ince bir damar olarak kesilmiştir. K1 sondajında 152 ile 154 m arasında, başlıca kömür içeren çamurtaşı ve kilitaşından oluşan bir seviye kesilmiştir. Bu kömürlü seviye içinde kalınlığı 20 cm ve siyahımsı renkli, sert linyitten oluşan kömür damarı kesilmiştir. İncelenen sondajlarda, kalkerli çamurtaşı, killi kireçtaşlarının içinde yer yer gösel ortamı karakterize eden yoğun gastropod kavkalarına rastlanılmıştır (Şekil 2 ve Şekil 3).

#### **4.2. Mineralojik İncelemeler**

XRD çalışmalarıyla kil mineralleri, kalsit, dolomit, feldispat, kuvars, jips ve anhidrit tespit edilmiştir (Çizelge 1, Şekil 4a, b, c ve d). Örneklerde karbonat ve kil mineralleri yaygın olarak bulunmaktadır. Fluvial ortamda oluşan karasal kırıntılılar da kil, kuvars ve feldispat mineralleri yüksek, karbonat minerallerinden kalsit ve daha az oranda dolomit içermektedir. Gösel ortamda oluşmuş traverten ve kireçtaşlarının başlıca kalsit mineralinden oluştuğu; marn, çamurtaşı ve killi kireçtaşlarında ise kil, kuvars, feldispat, kalsit ve dolomit minerallerinin bulunduğu belirlenmiştir. Çoğunlukla havzanın üst seviyelerinde gösel ortamda oluşmuş kilitaşları az oranda kuvars, feldispat, kalsit ve dolomit içermektedir. Sülfat minerallerinin (jips ve anhidrit) yalnız K1, K3 ve K4 sondajlarındaki gösel ortamda oluşmuş marn ve killi dolomitik kireçtaşı örneklerinde bulunduğu tespit edilmiştir. K1 ve K3 sondajında anhidrit bulunurken, K4 sondajının alt seviyelerinde anhidrit üst seviyelerinde ise jips bulunmaktadır (Çizelge 1).

Havzadaki sondaj örneklerinden marn ve kilitaşlarında yapılan kil boyu XRD normal çekimlerinde 14.73 Å, 14.83 Å da, etilen glikol uygulanan çekimlerinde 17.40 Å, 18.42 Å da pik veren Mg-Simektit gözlenmiştir. Simektitlerin  $d_{(060)}$  piki 1.54 Å dur. Bu parametrenin 1.51 Å üzerinde gözlenmesi trioktaedrik karakteri belirtir. Ayrıca, normal çekimlerinde 12.62, 12.68 Å da, etilen glikol uygulanan çekimlerinde 17.33 Å, 17.15 Å da pik veren Na-Simektit mineralleri tespit edilmiştir. Bu minerallerin yanında illit ve kaolinit mineralleri belirlenmiştir. İllit mineralinin; normal, 550 °C de ve etilen glikollü çekimlerde 10.30 Å,

10.12 Å da pikleri gözlenmiştir. Kaolinit mineralinin ise E.G. de 7.15 Å, normal çekimde ise 7.13 Å daki pikleri gözlenmiştir. 550 °C de yüksek sıcaklık pikinin elde edilmemesi ile kaolinit tespit edilmiştir (Şekil 4e ve f).

#### **4.3 Taramalı Elektron Mikroskop (SEM) ve EDS İncelemeleri**

Taramalı elektron mikroskop (SEM) çalışması ile inceleme alanında tespit edilen minerallerin morfolojileri, kristal büyüklükleri, bileşimi, birbirleri ile olan ilişkileri ve oluşumunun incelenmesi hedeflenmiştir. İncelenen örneklerde simektit tipik mısır gevreği ve bal peteği morfoloji gösterdiği tespit edilmiştir (Şekil 5a). Aksesuar olarak dolomit içeren K1-106.6 nolu kilitaşı örneğinde (Çizelge 1) Mg-simektitlerin EDS analizinde yüksek, Si, Al ve Mg ve az oranda Ca ve Fe tespit edilmiştir (Şekil 5b). Ayrıca gösel ortamda oluşmuş marnlarda yapılan incelemelerde tespih tanesi şeklinde muhtemelen mikro fosillerin (diatom?) varlığı tespit edilmiştir (Şekil 5c). Söz konusu oluşumların EDS analizinde Si, Al içerikleri yüksek, Mg, Ca, Fe ve K içeriği düşük çıkmıştır. Bu mineralleşmelerle birlikte feldispat kristalleri de gözlenmiştir (Şekil 5c). Feldispatın EDS analizinde Si, Al içerikleri yüksek, K, Ca ve Mg içeriği düşük çıkmıştır (Şekil 5d). Killi dolomitik kireçtaşı örneğinin SEM incelemelerinde kaolinitin psödohekzagonal levhaları, kitapçıkları ve akordiyon yapıları gözlenmiştir (Şekil 5e). SEM çalışmalarında killi dolomitlerde yer yer düzensiz gelişmiş romboedrik dolomit kristalleri belirlenmiştir. Dolomitlerin aşamalı büyüdüğü gözlenmiş ve dolomit mineralleri üzerinde büyüme izleri gözlenmiştir (Şekil 5f ve Şekil g). Killi kireçtaşı örneklerinde kalsit minerallerinin ise küçük, özşekilsiz, yarı özşekilli olduğu gözlenmiştir (Şekil 5h).

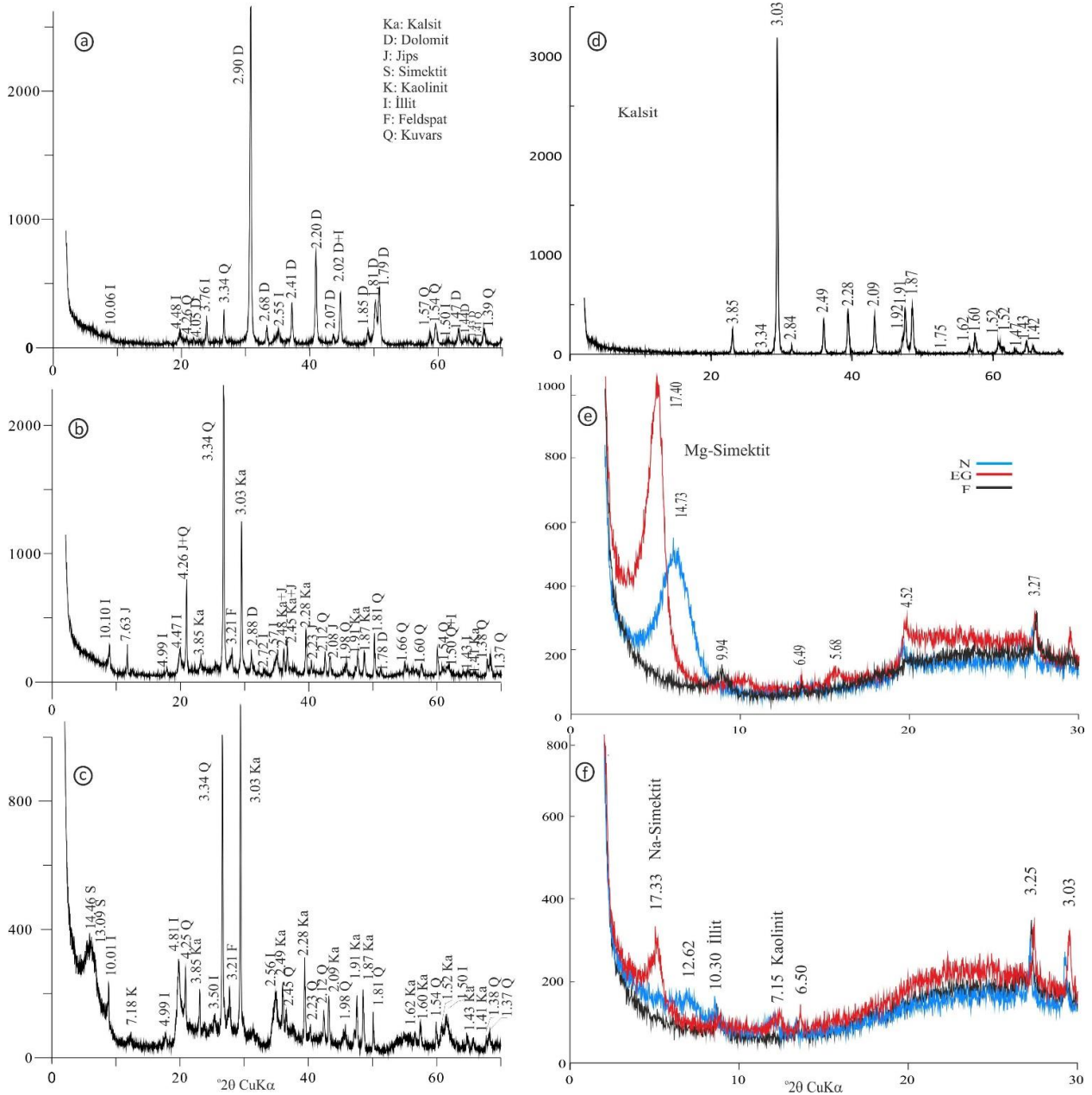
#### **4.4. Jeokimyasal İncelemeler**

Kimyasal analizi yapılan örneklerin ana element oksit, ateşte kayıp (AK), toplam C, toplam S ve iz element içerikleri Çizelge 2' de verilmiştir. K1 sondajı havzanın kuzeydoğusunda Sivaslı fayına yakın, K4 sondajı havzanın merkezi kesiminde yer alırken, K9 sondajı havzanın güney kesiminde yer almaktadır. Analizlere bakıldığında kil içeriği yüksek gösel ortamda oluşmuş marn, kilitaşı ve fluvial ortamda oluşmuş çamurtaşı örneklerinde SiO<sub>2</sub> içeriği yüksektir (37.42-58.1%). Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> içeriğine bakıldığında SiO<sub>2</sub> ile K1 ve K4 sondaj örneklerinde paralel hareket ederken, K9 sondaj örneklerinde belirgin bir ilişki gözlenmemiştir. MgO içeriğinin özellikle K1 sondaj örneklerinde yüksek olduğu gözlenmiştir. K<sub>2</sub>O ile SiO<sub>2</sub> ve Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> arasında K1 ve K4 sondajında pozitif, K9 da ise bir ilişki gözlenmemiştir. CaO içeriği özellikle karbonat içeriği

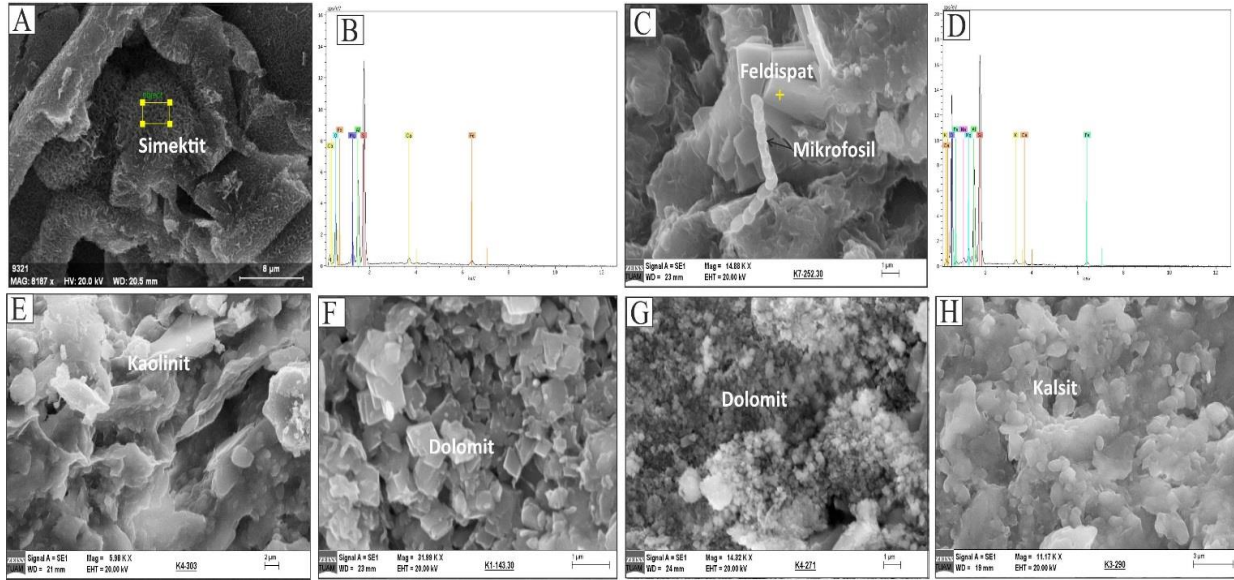
yüksek gösel ortamda oluşmuş killi kireçtaşı ve dolomit örneklerinde (K1-143.3, K1-148.7, K1-158.7, K4-271, K9-158) yüksektir (24.82-38.58%) CaO ile Toplam C tüm sondaj örneklerinde paralel hareket etmektedir (Çizelge 2, Şekil 6). Toplam S içeriği jips mineral içeriğine bağlı olarak iki marn örneğinde (K4-289.5, K4-303) tespit edilmiştir (sırasıyla 1.06, 1.32%).

Örnekler de Sr içeriği 140.6ppm ile 2977.5 ppm arasında değişmektedir. Sr içeriğinin karbonatça zengin olan

örneklerde kilce zengin olan örneklere göre daha yüksek olduğu belirlenmiştir. Özellikle killi dolomitik kireçtaşı örneklerinde (K1-148.7, K4-271) Sr içeriğinin en yüksek değerlerde olduğu gözlenmiştir (sırasıyla 1303.9 ppm, 2977.5 ppm). İncelenen örneklerde Ba; 75-830 ppm, Rb; 7.2-202.1 ppm, Zr; 10.3-667.5 ppm, Sc; 1-17 ppm, V; 8-118 ppm, Ni; 20-350 ppm arasında değişmektedir. Kilce zengin marn ve kiltası örneklerinde ise karbonat içeriği yüksek örneklere göre daha yüksek miktarda V, Sc, Cr, Co, As, Ba, Rb, Th içerikleri belirlenmiştir (Çizelge 2).



Şekil 4. a) K1-143.3 nolu killi dolomit, b) K4-289.5 nolu marn, c) K8-71.3 nolu karbonatlı killi kireçtaşı, d) K4-107 nolu traverten örneğinin tüm kayaç XRD grafikleri e) K1-106.6 nolu örneğinin kil boyu XRD grafiği, f) K9-190.2 nolu örneğinin kil boyu XRD grafiği (N: Havada kurutulmuş, EG: Etilen glikol ile muamele edilmiş, F: 550 °C'de fırınlanmış).



Şekil 5. a) Bal peteği morfolojisi gösteren simenit (K1-106.6), b) Simenitin EDS analizi c) kil mineralleşmelerinin içerisinde gözlenen mikro fosiller (diatom?) ve prizmatik feldispat kristalleri d) feldispatın EDS analizi, e) psödoheksagonal kaolinit levhaları, f) romboedrik şekillerde gözlenen dolomitler ve dolomitlerde gözlenen aşamalı büyüme, g) küçük, düzensiz gelişmiş dolomitler, h) özşekilsiz, yarı özşekilli kalsit kristalleri.

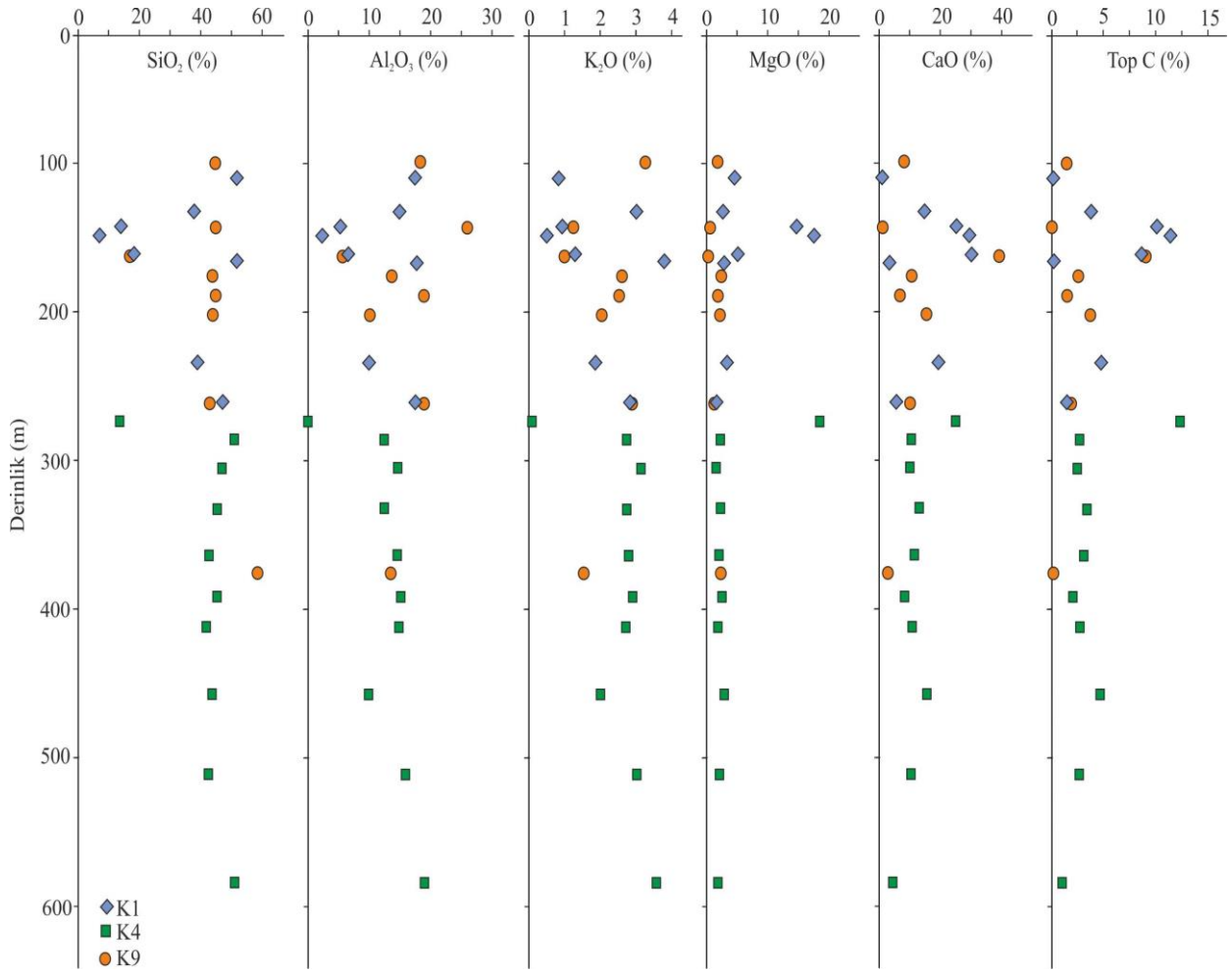
Çizelge 2. Sondajlardan seçilen örneklerin ana element oksit, AK, toplam C, toplam S (%) ve iz element (ppm) içerikleri.

Örnek	K1-106.6	K1-130.8	K1-143.3	K1-148.7	K1-158.2	K1-164.5	K1-239.4	K1-261.1	K4-271	K4-289.5	K4-303	K4-334	K4-359	K4-393.2	K4-407.5	K4-457	K4-509.5	K9-589	K9-100	K9-144.5	K9-158	K9-174.3	K9-190.2	K9-200.25	K9-262.5	K9-371.2
SiO <sub>2</sub>	51.7	37.96	13.54	6.86	18.1	51.75	37.42	47.37	12.81	51.05	47.2	46.41	44.43	46.8	43.51	45.17	43.21	50.24	43.75	45.41	17.29	43.66	45.73	43.09	43.32	58.1
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	17.45	14.73	4.45	2.14	6.38	17.29	10.02	17.41	0.61	11.97	14.42	11.97	13.86	15.45	14.53	9.48	16.43	18.53	19.02	26.45	5.21	13.84	18.77	11.22	18.73	13.55
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	2.01	4.71	2.06	1.17	2.26	5.5	4.01	7.11	0.23	4.42	5.29	4.0	4.92	5.39	5.25	2.98	4.74	5.57	6.99	5.69	2.15	5.76	4.54	4.49	3.34	4.89
MgO	4.27	2.81	14.74	16.78	5.32	2.64	3.55	2.06	17.91	1.82	2.03	2.53	2.44	2.78	2.18	2.83	2.0	2.36	1.78	1.04	1.09	2.48	2.19	1.9	1.78	2.4
CaO	1.62	14.64	24.82	29.04	31.79	3.02	18.59	6.57	25.01	11.76	10.73	13.02	12.01	8.11	12.32	16.67	11.24	4.18	8.06	1.49	38.58	11.98	7.48	16.45	10.13	3.66
Na <sub>2</sub> O	0.39	0.2	0.14	0.1	0.07	1.49	0.1	0.25	0.1	0.47	0.5	0.48	0.39	0.34	0.31	0.47	0.32	0.7	0.33	0.46	0.1	0.26	0.69	0.36	1.69	0.51
K <sub>2</sub> O	0.92	3.08	0.9	0.43	1.3	3.97	1.92	2.81	0.12	2.74	3.22	2.79	2.84	2.91	2.72	2.13	3.04	3.49	3.36	1.38	1.01	2.68	2.67	2.19	2.94	1.63
TiO <sub>2</sub>	0.38	0.59	0.16	0.1	0.2	0.55	0.46	0.8	0.03	0.59	0.65	0.52	0.49	0.52	0.5	0.66	0.69	0.83	0.36	0.26	0.67	0.58	0.4	0.59	0.59	
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.04	0.22	0.05	0.04	0.04	0.14	0.07	0.11	0.02	0.09	0.1	0.09	0.08	0.06	0.09	0.09	0.09	0.12	0.07	0.07	0.05	0.09	0.11	0.08	0.17	0.06
MnO	0.01	0.08	0.04	0.03	0.05	0.05	0.06	0.05	0.01	0.05	0.07	0.04	0.04	0.03	0.04	0.05	0.04	0.02	0.06	0.02	0.1	0.04	0.03	0.04	0.05	0.06
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.002	0.018	0.006	0.004	0.006	0.004	0.016	0.023	0.002	0.018	0.017	0.015	0.014	0.015	0.017	0.017	0.017	0.018	0.03	0.005	0.011	0.029	0.016	0.025	0.006	0.022
AK	20.9	20.7	38.7	42.8	34.2	13.3	23.6	15.2	42.5	14.8	15.6	17.9	18.2	17.4	18.3	19.4	17.9	13.8	15.5	17.3	34	18.3	16.9	19.4	17.1	14.3
Top C	99.74	99.81	99.67	99.55	99.77	99.76	99.81	99.83	99.35	99.84	99.83	99.82	99.79	99.78	99.79	99.8	99.8	99.78	99.84	99.79	99.91	99.84	99.77	99.84	99.76	99.85
Top S	0.17	3.42	10.16	11.78	8.4	0.46	4.84	1.46	12.39	2.78	2.5	3.15	3.09	1.91	2.96	4.24	2.62	0.98	1.7	0.16	8.77	2.63	1.58	3.76	2.24	0.67
Ba	181	325	89	213	140	301	252	350	75	317	327	275	281	271	331	295	471	465	418	323	157	272	749	234	830	259
Ni	<20	109	86	27	45	52	70	130	<20	67	83	56	72	97	110	46	84	96	166	350	61	184	118	115	88	105
Sc	2	13	4	2	5	5	9	16	<1	10	12	9	11	11	11	8	14	14	17	3	5	12	10	9	3	11
Be	3	<1	<1	<1	1	2	<1	6	<1	4	3	<1	2	7	1	<1	3	3	3	3	3	4	2	4	9	4
Co	5.4	13.4	6.7	2.5	12.7	16	11.9	21.1	1.7	12.8	14.8	9.8	12.1	14.9	19.7	7.6	13.2	17.4	25.3	1.4	14.8	22.6	20.1	16	19.9	15.1
Cs	1.1	9.1	4.9	3.2	4.8	19.3	6.4	10.2	2.1	8.4	10.3	11	14	15.5	13.7	5.6	13.1	16.9	40.5	12.7	8.9	12.2	10.5	9.3	4.3	8.7
Ga	20	20.1	5.4	2.3	7.6	21.2	13.1	22.4	<0.5	13.8	17.5	15.2	17.9	19.5	18.3	11.6	19.7	23.8	24.1	36	5.5	16.7	20.6	13.3	23.8	15.5
Hf	15.1	4.2	1.3	0.7	2	11.7	3.5	5.3	0.1	6	6	6.6	6.4	7.5	5.9	5	6.6	5.5	4.8	17.7	1.7	4.9	9.9	5.6	7.4	5
Nb	59.9	20.7	6.8	3.3	9.1	55.2	11.6	22.3	1.7	20.6	24.1	25.4	27.5	29.6	27.1	14.6	24.4	24.7	21.2	33.4	7	18.6	30.6	18.2	27.2	13.9
Rb	32.6	144.5	48.4	26	111.1	185.3	100.4	147.2	7.2	137.4	158.8	163.3	188.9	212	202.1	97.7	174.3	192.1	180.4	76.9	55.2	133.4	123.2	110.2	86.3	98.8
Sr	340.7	408.2	459.9	1303.9	718.8	263.9	519	198.4	2977.5	271	261.4	341.6	458.5	446.2	417.2	647.8	309.7	424.1	140.6	276.9	259.1	270.1	380.2	282	669.8	190.8
Ta	3.4	1.2	0.4	0.2	0.6	2.7	0.8	1.7	<0.1	1.2	1.6	1.5	1.8	2.1	1.9	1	1.5	1.5	1.3	6	0.4	1	2.2	1.2	2	0.9
Th	48.2	15.9	5.3	2.2	7.6	35.9	11.2	18.1	0.6	18.5	22.3	25.3	27.1	30.2	28.2	13.8	28.5	29.3	15.2	105.9	6.1	16.5	49.1	17.6	68.3	12.9
V	20	9.3	28	19	52	45	70	118	8	76	87	61	81	76	90	61	101	101	146	<8	33	83	65	80	40	57
W	0.6	1.8	0.9	0.5	0.8	3.7	1.3	2	<0.5	1.6	2.8	2.3	3.4	2.9	2.5	1.7	3.5	2.5	1.8	1.6	0.8	2.3	3.1	2	2.7	2.5
Zr	667.5	167.7	51.1	29.2	79.5	503.4	128.6	199.5	10.3	229.6	228.5	253.3	238.8	270.9	230	191.8	265.6	222.8	173.5	385.5	77.2	178	345.7	233.3	225.8	207.1
Y	20.2	28	7.6	4.5	11.2	26.5	24.1	33.8	1.2	33.5	31	29.4	28.6	25	31.7	29.5	31.1	30.3	14.2	13.2	11.2	17.5	23.8	22.5	16.1	28.2

Analizi yapılan numunelerin NTE (Nadir toprak element) içerikleri, NTE anomali ve oranları Çizelge 3'de verilmiştir. Örneklerin toplam NTE içerikleri 9.12 ile 546.99 ppm arasında değişmektedir. Killi kireçtaşı ve dolomit gibi karbonatça zengin örneklerin (K1-143.3, K1-148.7, K1-

158.7, K4-271, K9-158) toplam NTE içeriklerinin kil oranı yüksek marn, kıltaşı gibi örneklerle oranla oldukça düşük olduğu tespit edilmiştir. Örneğin, K4-271 nolu killi dolomit örneğinde toplam NTE miktarı en düşük oranda (9.12 ppm) tespit edilmiştir (Çizelge 3).





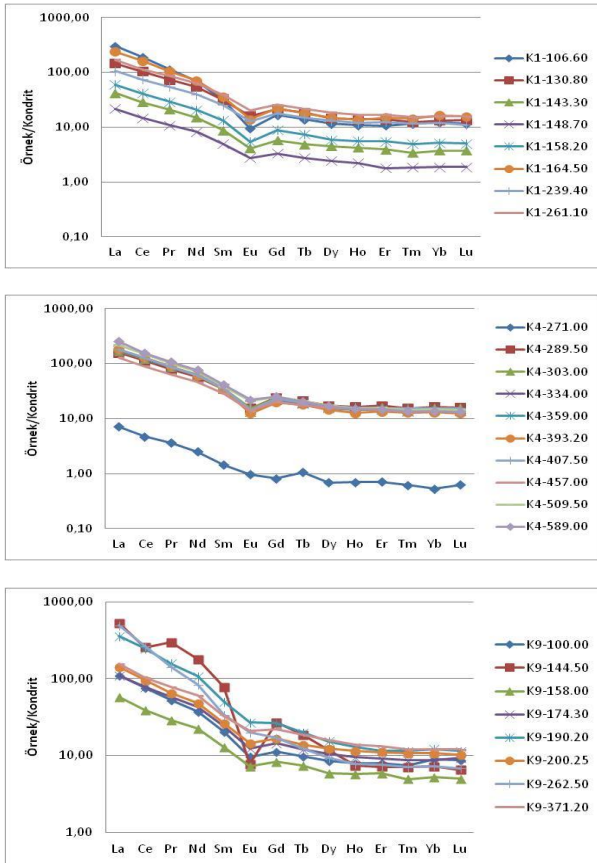
Şekil 6. Sondaj örneklerine ait elementlerin düşey dağılımı.

Çizelge 3. Sondajlardan seçilen örneklerin NTE içerikleri (ppm), anomali ve oranları

Örnek	K1-106.6	K1-130.8	K1-143.3	K1-148.7	K1-158.2	K1-164.5	K1-239.4	K1-261.1	K4-271	K4-289.5	K4-303	K4-334	K4-359	K4-393.2	K4-407.5	K4-457	K4-509.5	K4-589	K9-100	K9-144.5	K9-158	K9-174.3	K9-190.2	K9-200.25	K9-262.5	K9-371.2	
La	92.9	45.4	12.9	6.7	18.4	73.9	32.5	52	2.2	48.8	52.8	53.4	56.5	55.8	55.8	39.4	67	78.6	34.4	164.3	17.9	34.4	111.5	43.7	154.8	48	
Ce	152	83	23.1	11.8	33.4	131	59.8	90	3.8	91.2	98.7	99.8	99.5	103.2	102.1	72.2	119.6	125.4	62.2	207.3	31.7	62.7	201.6	77.3	214.3	83.1	
Pr	13.62	8.88	2.54	1.31	3.52	12.53	6.64	10.42	0.44	9.63	10.47	10.36	10.59	10.86	10.53	7.7	12.3	12.9	6.47	36.26	3.56	7.13	19.26	7.99	17.25	9.54	
Nd	41.5	32.3	8.9	4.9	12.3	42.4	23.5	37.2	1.5	34.9	37.2	36.6	37.6	36.4	36.6	27.4	43.4	45.2	22.5	107.7	13.5	25.8	64.4	28.6	50.4	36.5	
Sm	6.14	6.1	1.7	0.96	2.56	6.92	4.87	7.53	0.28	6.69	6.79	6.8	6.81	6.56	6.87	5.5	7.54	8.01	4	15.2	2.52	4.67	9.8	5.15	6.68	6.38	
Eu	0.69	1.17	0.3	0.2	0.4	1.01	0.93	1.48	0.07	1.14	1.13	0.97	0.97	0.92	1.05	1.01	1.55	1.61	0.71	0.57	0.53	0.91	1.97	1.06	1.47	1.53	
Gd	4.28	5.59	1.49	0.85	2.27	5.67	4.58	6.63	0.21	6.23	6.15	5.69	5.66	5.12	5.97	5.26	6.45	6.44	2.92	7.03	2.17	3.78	6.81	4.27	4.36	5.74	
Tb	0.65	0.87	0.23	0.13	0.35	0.84	0.71	1.02	0.05	0.99	0.92	0.87	0.9	0.84	0.92	0.82	1	0.97	0.46	0.89	0.35	0.57	0.95	0.66	0.59	0.88	
Dy	3.69	4.69	1.45	0.78	1.88	4.81	4.17	5.94	0.22	5.52	5.49	5.17	5	4.61	5.37	5.09	5.53	5.44	2.73	3.75	1.88	3.37	4.93	3.94	2.99	5.12	
Ho	0.77	0.99	0.3	0.16	0.4	0.98	0.85	1.19	0.05	1.17	1.11	1.1	1.03	0.9	1.13	1.05	1.11	1.06	0.57	0.53	0.41	0.69	0.93	0.83	0.56	1	
Er	2.24	2.88	0.82	0.37	1.15	3.13	2.62	3.53	0.15	3.59	3.33	3.27	3.01	2.8	3.26	2.98	3.3	3.09	1.66	1.5	1.24	1.9	2.44	2.33	1.6	2.77	
Tm	0.37	0.4	0.11	0.06	0.16	0.46	0.38	0.49	0.02	0.5	0.47	0.44	0.43	0.41	0.5	0.42	0.47	0.44	0.24	0.23	0.16	0.28	0.37	0.35	0.23	0.39	
Yb	2.54	2.74	0.78	0.39	1.08	3.41	2.47	3.3	0.11	3.41	3.21	3.01	3.16	2.72	3.23	2.96	3.07	2.85	1.85	1.52	1.1	1.83	2.54	2.25	1.53	2.52	
Lu	0.37	0.43	0.12	0.06	0.16	0.5	0.35	0.5	0.02	0.51	0.49	0.44	0.4	0.49	0.43	0.47	0.42	0.28	0.21	0.16	0.3	0.37	0.33	0.22	0.39		
NASC'a göre																											
Eu/Eu*	0.62	0.92	0.86	1.02	0.76	0.74	0.90	0.96	1.32	0.81	0.80	0.72	0.72	0.73	0.75	0.86	1.02	1.03	0.95	0.25	1.04	0.99	1.11	1.04	1.25	1.16	
Ce/Ce*	1.06	1.03	1.00	0.99	1.03	1.07	1.01	0.96	0.96	1.04	1.04	1.05	1.01	1.04	1.05	1.03	1.03	0.98	1.03	0.67	0.99	0.99	1.08	1.03	1.03	0.96	
Kondrit'e göre																											
Eu/Eu*	0.41	0.61	0.58	0.68	0.51	0.49	0.60	0.64	0.88	0.54	0.53	0.48	0.48	0.49	0.50	0.57	0.68	0.69	0.64	0.17	0.69	0.66	0.74	0.69	0.83	0.77	
Ce/Ce*	1.03	0.99	0.97	0.96	1.00	1.04	0.98	0.93	0.93	1.01	1.01	1.02	0.98	1.01	1.01	1.00	1.00	0.95	1.00	0.65	0.96	0.96	1.05	1.00	1.00	0.93	
HNTE/ONTE	18.50	8.74	8.67	8.02	8.60	12.84	7.60	7.97	9.02	8.49	9.23	9.72	10.02	10.88	9.62	7.83	10.45	11.14	11.02	18.43	8.48	9.29	15.63	9.91	26.23	8.58	
HNTE/ANTE	54.35	26.29	25.92	28.08	26.52	34.64	21.04	24.25	26.47	23.04	26.56	27.96	29.00	32.58	27.41	21.61	33.15	38.54	31.16	149.0	25.06	30.17	69.36	29.96	122.0	29.18	
NTE	321.7	195.4	54.74	28.67	78.03	287.6	144.3	221.2	9.12	214.3	228.3	227.9	231.6	231.5	233.8	172.2	272.8	292.4	140.9	546.9	77.2	148.3	427.9	178.8	456.9	203.9	

Not: Eu/Eu\* =  $Eu_N / [Sm_N Gd_N]^{1/2}$ , Ce/Ce\* =  $Ce_N / [La_N Pr_N]^{1/2}$ , NTE (Nadir Toprak Element) = La-Lu, HNTE (Hafif Nadir Toprak Element) = La-Nd, ONTE (Ortalama Nadir Toprak Element) = Sm-Ho, ANTE (Ağır Nadir Toprak Element) = Er-Lu

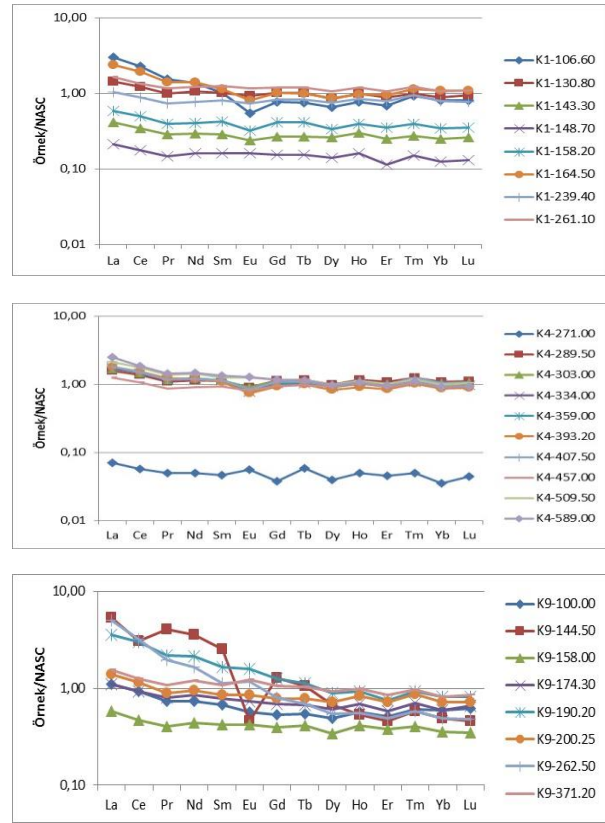
Havzadaki sedimanter birimlerin kökenlerini belirlemek amacı ile örneklerin NTE içerikleri Kondrit'e göre (Boynton 1984, Sun and McDonough 1989) ve NASC (Kuzey Amerikan Şeylleri)'a göre (Gromet et al. 1984, Taylor and McLennan 1985, Condie 1993) normalize edilmiştir. NT elementlerinin Kondrit'e göre normalleştirilmiş değerlerine bakıldığında hafif nadir toprak elementlerinin ağır nadir toprak elementlerine oranla zenginleşme gösterdiği tespit edilmiştir (Şekil 7). NT elementlerinin NASC'a göre normalize edilmiş değerlerine bakıldığında NTE eğilimlerinin yataya yakın ve dolayısıyla NASC değerlerine paralel olduğu görülmektedir (Şekil 8).



Şekil 7. Sondaj örneklerinin NT elementlerinin Kondrit'e göre değişim diyagramları.

NT elementlerinde NASC'a göre Eu\* anomalisi 0.25 ile 1.32 arasında değişmektedir. Ce\* anomalisi ise 0.67 ile 1.08 arasında değişmektedir (Çizelge 3). Kondrit'e göre ise Eu\* anomalisi 0.17-0.88 arasında değişmekte olup, negatif anomalî gözlenmiştir. Ce\* anomalisi ise NASC'a benzer olup 0.65-1.05 arasında değişmektedir (Çizelge 3).

Sondaj örneklerinin HNTE/ONTE (hafif NTE /ortalama NTE) oranları 7.6 ve 26.23 arasında değişmektedir. Sondaj örneklerinin HNTE/ANTE (Hafif NTE/ağır NTE) oranları ise 21.04 ve 149.01 arasında değişmektedir. HNT elementlerin ONT ve özellikle ANT elementlere göre belirgin olarak zenginleşme gösterdiği tespit edilmiştir (Çizelge 3).



Şekil 8. Sondaj örneklerinin NT elementlerinin NASC'a göre değişim diyagramları.

## 5. Tartışma ve Sonuç

İnceleme alanı Uşak Neojen havzasının doğu bölümünde Çivril-Baklan grabeninin kuzeybatı kesiminde bulunur. Uşak havzası çoğunlukla K-G ve KD-GB uzanan faylarla kontrol edilir. Metamorfiklerden oluşan temel kayalar, havzanın güneyinde, doğusunda ve batısında bulunur. Temel kaya birimlerinin üzerine fluvial ortamda oluşan karasal kırıntılılar (çakıltaşı, yer yer çapraz tabakalı kumtaşı, çamurtaşı, silttaşı) gelmektedir. Yüzlerce metre kalınlık sunan bu istif, yanal ve düşey yönde geçişli, karbonatça zengin kalın gölsel tortullar (kalkerli, fosilli, organik malzeme içeren çamurtaşı, kömür, kıltaşı, killi kireçtaşı, kireçtaşı, marn ve traverten) ile yer yer ardalanmalı olarak bulunmaktadır. Sondaj logları korele edilip birimlerin yanal ve düşey devamlılıkları ile havzanın tektono-sedimanter gelişimi değerlendirildiğinde; tektonik olarak oldukça aktif bir konuma sahip, Batı Anadolu'nun genişlemeli tektonik rejimi içerisinde gelişen Karahallı havzasının akarsular tarafından sürekli olarak beslendiği ve batıya ve kuzeydoğuya doğru giderek derinleşen bir göl havzası olduğu belirlenmiştir.

Havzada temele kadar ilerleyen sondaj faaliyetleri sonucunda havzanın temel topoğrafyası hakkında çok önemli sayılabilecek veriler elde edilmiştir. Buna göre, K-4, K-6, K-7 ve K-10 sondajları havzanın orta kesiminde bulunmakta olup, bu bölgede temel kayaların bulunduğu

derinliğin yanı sıra, Neojen istifin kalınlığı da artmıştır. Karahallı havzasında temel kayaları etkileyen gömülü faylar, aynı zamanda sedimanter birimlerin kalınlığını ve havza içindeki fasiyeslerin dağılımını kontrol eden yapısal unsurlardır. Sondaj logları korele edildiğinde K-4 ve K-10 ile K-3 sondajları arasında olduğu düşünülen gömülü fay, havzanın orta kesiminde yaygın olan göl ve fluviyal-göl ortamında oluşan sedimanter birimler ile havzanın doğu kesimlerinde yaygın olan fluviyal birimler arasındaki yapısal sınırı oluşturur. Bu gömülü fayın doğusunda kalan bölgelerde, ani gelişen subsidansa bağlı kırıntılı tortul çökelişi gelişmiş olmalıdır.

Havzada fluviyal ve fluviyal-göl ortamında çökelmiş birimlerin dikey ve yanal yönde geçiş oluşturduğu fasiyes gelişimleri, daimi karakterli düşük-orta enerjili bir göl ortamını vurgulamaktadır. Fluviyal birimler su seviyesinin arttığı yüksek enerjili evrelerde çökelmiş olup, göl ortamında kurak iklim periyotlarını yansıtan karbonat ve evaporit (jips, anhidrit) oluşumları ile yakın ilişkilidirler. Havzadaki göl ortamında zaman zaman suların çekilmesiyle bataklık ortamı egemen olmuştur. Tagliasacchi et al. (2024), ortamdaki palinomorf birlikteliği, çökeltme alanının çevresindeki bataklık ortamını ve alçak-orta rakımlı alanı gösterdiğini belirtmiştir. Karasal organik malzemenin bataklık ortamında birikimi ile sondajlar içerisinde birkaç seviyede tespit edilen ince kömür damarları oluşmuştur. Kömürleşme sonucu ortaya çıkan organik asitler de paleogölün nötr-asidik bir ortama dönüşmesine olanak sağlamıştır. Dinar-Baklan havzasında MTA tarafından önemli ekonomik kömür rezervi (950 milyon ton) tespit edilmiştir. Ancak Karahallı havzasında derinleşme ve çok fazla kırıntı girdisi kömür oluşumunu olumsuz yönde etkilemiş, ekonomik olarak işletilebilecek bir kömür varlığı bulunamamıştır.

Kalsit ve dolomit havzada yaygın olarak bulunan karbonat mineralleridir. İncelenen numunelerde kalsitin egemen olduğu evreler, kalsitin çökelişi sırasında göl ortamında tuzluluğun düşük olduğunu gösterir. Ortam tuzluluğunun ve alkalinitesinin kısmen artması ile Mg' ca zenginleşmesi dolomitin çökelişini sağlamıştır. Havzadaki karbonatın kaynağı havzayı çevreleyen, yaygın olarak kireçtaşı ve mermerlerden oluşan Neojen öncesi temel birimlerdir. XRD çalışmaları ile dolomit mineralinde Ca/Mg oranı belirlenebilmektedir (Goldsmith and Graf 1958). Havza da bulunan dolomitlerin çoğunluğunun Ca-dolomit (2.89-2.90 Å) olduğu tespit edilmiştir. İlk kez Graf ve Goldsmith (1956) tarafından tanımlanmış olan Ca' ca zengin proto-dolomitler göl ve basenlerde oluşabilmektedir. SEM çalışmalarında dolomitlerin aşamalı büyüdüğü gözlenmiş

ve dolomitler üzerinde büyüme izleri tespit edilmiştir. Bu durum dolomitlerin otijenik oluştuğunu göstermektedir.

Havzada karbonat minerallerinin çökmesinden sonra, tuzlu suyun doygunluğa ulaşması ile Sivaslı fayına doğru jips kristallenmesinin başladığı görülmektedir. Jips kristallenmesinin başlayabilmesi için yüksek pH ve sıcaklık gerekmektedir (Eardley and Stringham 1952). Jips derinlere gömüldüğünde anhidrite dönüşür. Jips ve anhidritin çözünürlük eğrileri 42°C de kesişmekte ve bu sıcaklık üzerinde anhidrit duraylı olmaktadır (Hardie 1967). Yüksek sıcaklık, düşük H<sub>2</sub>O aktivitesi (yüksek tuzluluk) jips yerine anhidritin çökelişini destekler (Braitsch 1971). Havzada sülfat mineralleri ile birlikte dolomit minerallerinin bulunması Pliyo-Pleistosen yaşlı birimlerin çökeldiği ortamın alkalın göl koşullarını yansıttığını gösterir.

Ayrıca karbonat ve sülfat mineralleri ile birlikte kaolin, illit ve simektit grubu kil minerallerinin gözlenmesi asidik çözeltilerin kısmen minerallerin çökeliş sonrasında ortaç-alkalin özellik kazandığını gösterir. SEM de gözlenen tespih tanesi şeklinde muhtemelen mikro fosillerin (diatom?) varlığı simektit oluşumunda gözenek sularında bulunan biyolojik aktivite ile ilişkilendirilmiştir (Şekil 5c). Bu mineralleşmelerle birlikte feldispat kristalleri de gözlenmiştir. Bu durum, ortamda silis aktivitesi ve Mg artışı ile simektitin alkalın ortamda feldispat minerallerinden oluştuğu şeklinde yorumlanmıştır.

SEM çalışmalarında kaolinit levhaların kenarlarının düzgün olmaması, levhaların sıkı paketli olmaması ve kaolinit kristallerinin ince taneli olması yaygın olarak degradasyonu gösterir (Keller 1976, 1977). Örneklerde ayrıca kaolinitle beraber kuvars ve feldispat minerallerinin gözlenmesi de kaolinitin oluşumunda kırıntılı malzemedeki ikincil dönüşümün rol oynadığını göstermektedir. HNTE'nin, ONTE ve ANTE'ne göre zenginleşmesi ve Eu\* anomalilerinin varlığı sondajlardaki kil minerallerinin feldispatın bozulması ile oluştuğunu göstermektedir (Toulkeridis et al. 1998).

Düşük tuzluluk koşullarında çözünmüş HNTE çözeltilerinden uzaklaşırken, yüksek tuzluluk koşulları altında ANTE çözeltilerinden uzaklaşmaktadır (Sholkovitz and Szymezak 2000). Tuzlu sudan itibaren oluşan kalsitin dolomitleşmesi ile NTE çözeltilere geçer. Kalsitçe zengin örnekler dolomitçe zengin örneklerden daha çok NTE içerirler. Dolomitçe zengin K4-271 nolu örnek de NTE: 9.12 ppm, kalsit içeriği yüksek örneklerde ise 77.18-78.03 ppm arasında değişmektedir. NTE elementler hareketsiz elementlerdir ve jeolojik süreçlerde korunduklarından köken belirlemede kullanılmaktadır. HNTE uyumlu iken, ANTE

uyumsuz elementlerdir. Bu elementlerin birbirlerine oranları ve dağılımları köken kayaç ayırımında kullanılır (Taylor and McLennan 1985, Wronkiewicz and Condie 1987, 1989). Örneklerin NTE diyagramları incelendiğinde benzer bir dağılım göstermesi havzada çökelen sedimanter kayaçların aynı köken kayaçtan kaynaklandığına işaret eder.

NT elementlerinin NASC'a göre yapılan değişim diyagramları incelendiğinde Eu\* anomalisinin değişken, Ce\* da hafif negatif veya Ce\* anomalisi gözlenmediği tespit edilmiştir. Kondirit'e göre yapılan değişim diyagramları incelendiğinde ise Eu\* da negatif anomali ve Ce anomalilerinin NASC'a benzer bulunması feldispat minerallerinin kalsiyum içeriğinin düşük oranda olduğunu ve kalsiyumun feldispat yapısından ayrıldığını göstermektedir. Örneklerin NT elementlerinin Kondrit ve NASC'a göre olan değişimleri havzanın kıtasal kabuk kökenli olduğu ve asidik kaynaktan beslendiğini gösterir.

#### **Etik Standartlar Bildirgesi**

Bu çalışma Dr. Öğr. Üyesi Tülay Altay danışmanlığında Ali Korkmaz tarafından 2018 tarihinde tamamlanan "Çivril, Karahallı (Denizli) arasında bulunan Neojen yaşlı sedimanter birimlerin mineralojik ve jeokimyasal özelliklerinin incelenmesi" başlıklı Yüksek Lisans Tezi (Tez No: 506931) ve AKU BAP Koordinatörlüğü tarafından desteklenen 18.KARİYER.117 nolu projeden türetilmiştir. Yazarlar tüm etik standartlara uyduklarını beyan ederler.

Yazarlar tüm etik standartlara uyduklarını beyan ederler.

#### **Yazarlık Katkı Beyanı**

Yazar 1: Proje yönetimi, Arazi ve laboratuvar çalışmalarının yapılması ve takibi, sonuçların değerlendirilmesi ve yorumlanması, Makale yazımı, İnceleme ve düzenleme, Danışmanlık  
Yazar 2: Arazi çalışmalarının yürütülmesi, Analizlerin yapılması ve sonuçların yorumlanması, Araştırma, Makale yazımı

#### **Çıkar Çatışması Beyanı**

Yazarların bu makalenin içeriğiyle ilgili olarak beyan edecekleri hiçbir çıkar çatışması yoktur.

#### **Verilerin Kullanılabilirliği**

Bu çalışma sırasında oluşturulan veya analiz edilen tüm veriler, yayınlanan bu makaleye dahil edilmiştir.

#### **Teşekkür**

Bu araştırma Afyon Kocatepe Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinatörlüğü tarafından desteklenmiştir (Proje no: 16.FEN.BİL.45 ve 18.KARİYER.117). Maddi destek veren Afyon Kocatepe Üniversitesi BAP Koordinatörlüğüne, arazi ve sondaj çalışmalarındaki desteklerinden dolayı TKİ Genel Müdürlüğü'nün kömür aramaları proje ekibine teşekkür ederiz. Ayrıca makaleyi inceleyen, makalenin yayınlanmasında değerli görüş ve önerileriyle katkı sağlayan hakemlere ve dergi editörüne teşekkür ederiz.

#### **6. Kaynaklar**

- Akgün, F., Kayseri, M.S. and Akkiraz, M.S., 2007. Palaeoclimatic evolution and vegetational changes during the Late Oligocene–Miocene period in the Western and Central Anatolia (Turkey). *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, **253**, 56–106.  
<https://doi.org/10.1016/j.palaeo.2007.03.034>
- Alçıçek, H., Wesselingh, F.P. and Alçıçek, M.C., 2015. Paleoenvironmental evolution of the late Pliocene–early Pleistocene fluvio-deltaic sequence of the Denizli Basin (SW Turkey). *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, **437**, 98–116.  
<https://doi.org/10.1016/j.palaeo.2015.06.019>
- Alçıçek, H., Gross, M., Bouchal, J.M., Wesselingh, F.P., Neubauer, T.A., Meijer, T., van den Hoek Ostende, L.W., Tesakov, A., Murray, A.M., Mayda, S. and Alçıçek, M.C., 2023. Paleobiodiversity and Paleoenvironments of the eastern Paratethys Pleistocene lacustrine-palustrine sequence in the Baklan Basin (SW Anatolia, Turkey). *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, **626**, 111649.  
<https://doi.org/10.1016/j.palaeo.2023.111649>
- Altay, T. ve Dumlupınar, İ., 2013. Dinar (Afyon)-Baklan (Denizli) Kömür Havzalarında Bulunan Killerin Jeolojik ve Mineralojik İncelenmesi. *Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, **13/2**, 1–10.  
<https://doi.org/10.5578/fmbd.6425>
- Altay, T., Korkmaz, A., Yağmurlu, F., Şentürk M. ve Murat, A., 2018. Geological and Mineralogical Properties of Coal-bearing Neogene sedimentary units between Karahallı (Uşak) and Çivril Towns (Denizli), Western Turkey. *Academic Journal of Science*, **08 (02)**, 25–34.
- Bechtel, A., Karayığit, A.İ., Bulut, Y., Mastalerz, M. and Sachsenhofer, R.F., 2016. Coal characteristics and biomarker investigations of Dombayova coals of Late Miocene-Pliocene age (Afyonkarahisar-Turkey). *Organic Geochemistry*, **94**, 52–67.  
<https://doi.org/10.1016/j.orggeochem.2015.12.008>
- Boynton, W.V., 1984. Geochemistry of rare earth elements: meteorite studies. Pp. 63–114 in: Rare Earth Element Geochemistry (P. Henderson, ed.). Elsevier, Amsterdam.
- Boyraz, S., 2011. Denizli yöresi (Çal, Çivril, Baklan) Neojen yaşlı eski toprakların (Paleosol) sedimentolojisi, Güneybatı Anadolu, Türkiye. Doktora Tezi, Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 295.
- Braitsch, O., 1971. Salt deposits their origin and composition (translated by P.J. Burek and A.E.M. Nairn), Springer-Verlag, 297.



- Condie, K.C., 1993. Chemical Composition and Evolution of the Upper Continental Crust; Contrasting Results from Surface Samples and Shales. *Chemical Geology*, **104**, 1-37.  
[https://doi.org/10.1016/0009-2541\(93\)90140-E](https://doi.org/10.1016/0009-2541(93)90140-E)
- Çakır, Z., 1999. Along-strike discontinuity of active normal faults and its influence on Quaternary travertine deposition: Examples from western Turkey. *Turkish Journal of Earth Science*, **8**, 67-80.
- Çakmakçoğlu, A., 1986. "Çivril-Banaz-Sandıklı-Dinar arasındaki bölgenin jeolojisi". Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü Rapor no: 8062, Ankara (yayımlanmamış).
- Eardley, A.J. and Stringham, B., 1952. Selenite crystal in the clays of Great Salt Lake, *Journal of Sedimentary Petrology*, **22**, 234-238.
- Emre, Ö., Doğan, A., Özalp, S., and Yıldırım, C., 2011. 1:250 000 Scale Active Fault Map Series of Turkey, Denizli (NJ 35-12) Quadrangle. MTA report no: 12, Ankara.
- Erinç, S. 1957, Orta Ege Bölgesinin Jeomorfolojisi, *MTA Rapor no: 2217*, Ankara.
- Goldsmith, J. R., and Graf, D.L., 1958. Relations between lattice constants and compositions of the Ca-Mg carbonates, *American Mineralogist*, **43**, 84-101.
- Göktaş, F., Çakmakçoğlu, A., Tari, E., Sütçü, Y.F. ve Sarıkaya, H., 1988. Çivril-Çardak arasındaki jeolojisi, *MTA Rapor No: 8701*, Ankara.
- Graf, D.L. and Goldsmith, J.R., 1956. Some hydrothermal synthesis of dolomite and protodolomite. *Journal of Geology*, **64**, 173-186.
- Gromet, L. P., Haksin, L. A., Korotev, R. L. and Dymek, R. F., 1984. The North American Shale Composite: its compilation, major and trace element characteristics, *Geochimica et Cosmochimica Acta*, **48**, 2469-2482.  
[https://doi.org/10.1016/0016-7037\(84\)90298-9](https://doi.org/10.1016/0016-7037(84)90298-9)
- Gündoğdu, N.M., 1982. Neojen yaşlı Bigadiç sedimanter baseninin jeolojik, mineralojik ve jeokimyasal incelenmesi. Doktora Tezi, Hacettepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 386.
- Gürbüz, A., Boyraz, S., and Ismael, M.T., 2012. Plio-Quaternary development of the Baklan-Dinar graben: implications for cross-graben formation in SW Turkey. *International Geology Review*, **54**, 33-50.  
<https://doi.org/10.1080/00206814.2010.496543>
- Hardie, L.A. 1967. The gypsum-anhydrite equilibrium at one atmosphere pressure. *American Mineralogist*, **52**, 121-200.
- JCPDS, 1993. Mineral Powder Diffraction File Databook, Joint Committee on Powder Diffraction Standards, Swarthmore, Pennsylvania, 781.
- Karayiğit, A.İ., Oskay, R.G., Christanis, K., Tunoğlu, C. and Bulut, Y., 2015. Paleoenvironmental reconstruction of the Çardak coal seam, SW Turkey. *International Journal of Coal Geology*, **139**, 3-16.  
<https://doi.org/10.1016/j.coal.2014.04.009>
- Kayseri-Özer, M. and Emre, T., 2022. Palaeovegetation and paleoclimate in the SW Turkey - a study based on the early-middle Miocene coal-bearing sediments from the Büyük Menderes Graben. *Review of Palaeobotany and Palynology*, **297**, 104560.  
<https://doi.org/10.1016/j.revpalbo.2021.104560>
- Keller, W. D., 1976. Scan electron micrographs of kaolins collected from diverse environments of origin. *Clays and Clay Minerals*, **24**, 107-113.  
<https://doi.org/10.1346/CCMN.1976.0240301>
- Keller, W. D., 1977. Scan electron micrographs of kaolins collected from diverse environments of origin. IV. Georgia kaolin and kaolinizing source rocks. *Clays and Clay Minerals*, **25**, 311-345.  
<https://doi.org/10.1346/CCMN.1977.0250501>
- Koçyiğit, A., 1984. Güneybatı Türkiye ve yakın dolayında Levha içi yeni tektonik gelişim. *TJK Bülteni*, **27(1)**, 1-12.
- Konak, N., Akdeniz, N. ve Çakır, H., 1986, Çal-Çivril Karahallı Dolayının Jeolojisi. MTA Rapor No: 894, Ankara.
- Koralay, D.B., 2020. Deposition characteristics of Pliocene coals in the Denizli region (SW Turkey) via organic petrography, geochemistry, and stable isotope composition. *Journal of Natural Gas Science and Engineering*, **84**, 103619.  
<https://doi.org/10.1016/j.jngse.2020.103619>
- Korkmaz, A., 2018. Çivril, Karahallı (Denizli) arasında Bulunan Neojen Yaşlı Sedimanter Birimlerin Mineralojik ve Jeokimyasal Özelliklerinin İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Afyonkarahisar, 84.
- Özalp, S., Emre, Ö., Şaroğlu, F., Özaksoy, V., Elmacı, H. and Duman T.Y., 2018. Active fault segmentation of the Çivril Graben System and surface rupture of the 1 October 1995 Dinar Earthquake (Mw 6.2), Southwestern Anatolia, Turkey. *Journal of Asian Earth Sciences*, **166**, 136-151.  
<https://doi.org/10.1016/j.jseaes.2018.07.037>
- Özkul, M. Varol, B. and Alçiçek, M.C., 2002. Depositional environments and Petrography of Denizli Travertines. *Bulletin of the Mineral Research and Exploration*, **125**, 13-29.
- Özkul, M., Kele, S., Gökgöz, A., Shen, C.C., Jones, B., Baykara, M.O., Fórizs, I., Németh, T., Chang, Y.W. and Alçiçek, M.C., 2013. Comparison of the Quaternary travertine sites in the Denizli extensional basin based

- on their depositional and geochemical data. *Sedimentary Geology*, **294**, 179-204.  
<https://doi.org/10.1016/j.sedgeo.2013.05.018>
- Özsayın, E., Tekin, U.K., Üner, S. ve Bayram. L., 2020. Dinar Fayının Kinematik Özellikleri ve Bölge Depremselliğindeki Önemi (pp, 1-43). Scientific Projects Coordination Unit project, No: FHD-2018-17203. Hacettepe University, Ankara.
- Öztürk, E. ve Öztürk Z., 1989. Balçıkhisar, Karadilli Afyon Dereköy Isparta Dolayının Jeolojisi. MTA Rapor No: 8946, Ankara.
- Savaşçın, M.Y. and Güleç, N., 1990, Neogene volcanism of Western Anatolia, Field Excursion B3, Intern. Earth Sci. Con. On Aegean Region, *IESCA Publ. No. 3*, 78.
- Savaşçın, M.Y., Güleç, N. and Tankut, A., 1990. Geochemical character and tectonic significance of Neogene volcanism extending from Aegean to Central Anatolia, IAVGE. Mainz 1990, *Inter. Vol. Cong. Abstracts*.
- Sholkovitz, E. and Szymezak, R., 2000. The estuarine chemistry of rare earth elements: comparison of the Amazon, Fly, Sepik and Gulf of Papua systems. *Earth and Planetary Science Letters*, **179(2)**, 299–309.  
[http://dx.doi.org/10.1016/S0012-821X\(00\)00112-6](http://dx.doi.org/10.1016/S0012-821X(00)00112-6)
- Sun, S.S. and McDonough, W.F., 1989. Chemical and isotopic systematics of oceanic basalts: implications for mantle composition processes. Pp. 313–345 in: Magmatism in the Ocean Basins (A.D. Saunders and M.J. Norry, editors). *Special Publication 42, Geological Society*, London.
- Taylor, S.R. and McLennan, S.M., 1985. The continental Crust: Its Composition and Evolution, Blackwell, London, 312.
- Tagliasacchi, E., Kayseri-Özer M.S, and Altay, T., 2024, Environmental, vegetational and climatic investigations during the Plio-Pleistocene in SW-Anatolia: A case study from the fluvio-lacustrine deposits in Uşak-Karahallı area, *Palaeobiodiversity and Palaeoenvironments*, **104**, 29-51.  
<https://doi.org/10.1007/s12549-023-00590-2>
- Toker, E., 2009, Acıgol-Cardak (Denizli) Grabeninin kuzeyindeki Tersiyer Çökellerinin Tektono-Sedimanter Gelişiminin İncelenmesi, Doktora Tezi, Suleyman Demirel Üniveristesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Isparta, 242.
- Toker, E., 2017. Quaternary fluvials tufas of Sarıkavak area, southwestern Turkey: Facies and depositional systems. *Quaternary International*, **437**, 37-50.  
<https://doi.org/10.1016/j.quaint.2016.06.034>
- Toulkeridis, T., Podwojewski, P. and Clauer, N., 1998. Tracing the source of gypsum in New Caledonian soils by REE contents and S–Sr isotopic compositions. *Chemical Geology*, **145**, 61–71.  
[https://doi.org/10.1016/S0009-2541\(97\)00160-5](https://doi.org/10.1016/S0009-2541(97)00160-5)
- Ünal, D., 1981. Denizli-Çivril-Tokça kömürlü Neojen havzası jeoloji raporu, *MTA Rapor No: 7016*, Ankara.
- Wronkiewichz, D. J. and Condie, K. C., 1987. Geochemistry of Archean shales from the Witwaterstrand Supergroup, South Africa; source-area weathering and provenance. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, **51**, 2401-2416.  
[https://doi.org/10.1016/0016-7037\(87\)90293-6](https://doi.org/10.1016/0016-7037(87)90293-6)
- Wronkiewichz, D. J. and Condie, K. C., 1989. Geochemistry and provenance of sediments from the Pangola Supergroup, South Africa: Evidence for a 3.0 Ga-old continental craton. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, **53**, 1537-1549.  
[https://doi.org/10.1016/0016-7037\(89\)90236-6](https://doi.org/10.1016/0016-7037(89)90236-6)
- Yağmurlu, F., Şentürk, M. ve Altay, T., 2017, Türkiye Kömür İşletmeleri Batı ve Orta Anadolu Kömür Araştırma Projesi Raporu: Denizli Çevresi Sahaları, *TKİ Raporu*, 94, Ankara.