

## ÜST JURA DENİZEL FASİYESLERİNDE İZ ELEMENT BİRİKİMLERİNDE ORGANİK MADDE İÇERİĞİNİN ROLÜ (ORTA TOROSLAR, TÜRKİYE)

Ali SARI<sup>1</sup>, Derya KOCA<sup>2</sup>, Şükrü KOÇ<sup>1</sup>, Berna YAVUZ<sup>2</sup>, D.Banu KORALAY<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Ankara Üniversitesi, Müh.Fak.Jeo.Müh.Böl., 06100, Tandoğan, ANKARA

<sup>2</sup>Ankara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 06100, Tandoğan, ANKARA

**ÖZET:** Geç Jura zamanı Dünya ölçeğinde global deniz yükselmelerinin olduğu bir devir olup, bu zaman dilimi içerisinde gelişen anoksik olaylar neticesinde önemli kaynak kaya birikimleri gerçekleşmiştir. Orta Toroslar bölgesinde Akkuyu Formasyonu da bu dönem içerisinde çökelmiş olup, organik maddece zengin denizel karbonatlardan oluşur. Denizel kireçtaşlarının kaynak kaya potansiyeline sahip olabilmesi için organik madde miktarı 0.3 iken, Üst Jura Akkuyu Formasyonundaki bu değer ortalama 1.92 olup, 6.4 kez daha fazla organik maddeye sahiptir. Bu çalışmada kayaçlardaki organik madde zenginleşmesiyle elementler arasında çok açık bir ilişkinin var olduğu belirlenmiş olup, element zenginleşmeleriyle kayaçların litolojisi arasında doğrudan bir ilişki bulunmamaktadır. U, Ba, Cu, Ni, Cr, As, V, Zn, Sb, Co, Mo ve Cd elementleri organik maddece zengin Üst Jura Akkuyu Formasyonuna ait karbonat kayaç örneklerinde, organik maddece zengin şeyl örneklerine kıyasla daha fazla biriktirilmişlerdir. Örneğin Cd elementi Karadeniz sapropellerine kıyasla 14 kez, Co Peru kıyusal şelfi örneklerine göre 3 kez, Zn Namibya şelfi siyah şeyllere göre 7.22 kez, Karadeniz sapropellerine göre 3.89 kez, V Namibya şelfi siyah şeyllere göre 2.11 kez, Cr Karadeniz sapropellerine göre 3.47 kez, Ni Namibya şelfi siyah şeyllere göre 2.81 kez, U elementi ise Senomaniyen-Turoniyen Gubbio siyah şeyllere göre 2.06 kez daha fazla biriktirilmiştir.

**Anahtar kelimeler:** Akkuyu Formasyonu; Orta Toroslar; İz element; Organik madde; Element kaynağı

### The Role of Organic Matter In Trace Elements Accumulation of Upper Jurassic Marine Facies (Middle Taurus, Turkey)

**ABSTRACT:** In Late Jurassic which is a period that the global sea rising occurred in the world, important source rocks for oil beds had been occurred as a result of anoxic events. In Middle Taurus region Akkuyu formation which also is deposited during this period, consists of marine carbonates enriched in organic matter. While enough organic matter is % 0.3 for source rock potential of marine limestones, value average of Akkuyu formation is 1.92 that is more than 6.4 times. In this study an obvious relation was determined between organic matter enrichment and element, whereas there is no direct relation between elements enrichments and lithology of the rock. U, Ba, Cu, Ni, Cr, As, V, Zn, Sb, Co, Mo and Cd are accumulated in carbonates rocks enriched in organic matter of Upper Jurassic Akkuyu Formation more than in shale samples enriched in organic matter. For example, Cd is accumulated 14 times in comparison with the Black Sea sapropels; 3 times for Co to Peru Margin samples; 7.22 times for Zn to Namibian shelf black shale, 3.89 to Black Sea sapropels; 2.11 times for V to Namibian shelf black shale; 3.47 times for Cr to Black Sea sapropels; 2.81 times for Ni to Namibian shelf black shale; 2.06 times for U to Cenomanian-Turonian black shale.

**Keywords:** Akkuyu Formation; Middle Taurus; Trace element; Organic matter; Element source.

## GİRİŞ

Çalışma bölgesi Antalya ilinin kuş uçuşu 100 km KD'sunda yer alır (Şekil 1). Üst Jura yaşlı Akkuyu Formasyonu Orta Toroslar bölgesinde denizel karbonat platformunda çökelmiştir. Bu karbonat platformu tektonik aktiviteler nedeniyle faylanmış ve çeşitli tektonik dilimlere ayrılmıştır. Geç Jura Dünya ölçeğinde global ısınma sonucunda buzulların eridiği bir dönem olup, büyük denizel transgresyonların olduğu ve şelf bölgelerinde gelişen yüksek organik üretkenliğe bağlı olarak deniz tabanlarında da anoksik olayların meydana geldiği bir döneme karşılık gelir.

Akkuyu Formasyonu otokton veya paraotokton Geyikdağı Birliği içerisinde yer almakta olup, birimin taban seviyelerinde gri renkli, ince-orta tabakalı killi kireçtaşları, üste doğru da killi plakete kireçtaşlarından oluşur. Birim siyah renkli, bitümlü, yapraklı şeyl ara tabakalarına sahiptir (Şekil 2).

Orta Toroslar bölgesi ve yakın civarında genel jeoloji ve petrol jeolojisi konularında yapılmış pek çok çalışma bulunmaktadır (Blumenthal, 1951; Martin, 1969; Monod, 1977; Özgül, 1983; Acar, 1993; Toker ve diğ., 1993; Sonel ve diğ., 1993, 1995 ve Albayrak, 1995).

Denizlerin şelf bölgelerinde özellikle suda çözülmüş olan bol miktardaki fosfat ve nitrat tuzlarının varlığı ile sudaki yüksek oranda çözülmüş oksijen içeriği yüksek organik üretkenliğe yol açmaktadır. Deniz yüzeyindeki yüksek üretkenlik su kolonunda zamanla organizmaların ihtiyacı olan oksijeni karşılayamaz duruma gelir. Üst su kolonundaki oksijen ihtiyacının karşılanamaması sonucunda özellikle bitkisel ve hayvansal planktonlar kitleler halinde ölümlerle deniz tabanında birikirler. Tabandaki organik yığılım ve deniz tabanındaki oksijen eksikliği ve tabandaki su kolonunda H<sub>2</sub>S bollaşması ile anoksik/öksinik hale dönüşerek organik maddenin Akkuyu Formasyonunda korunmasına yol açmıştır.

Organik maddece zengin kayaçlar dünyada petrol ve gaz kaynağı olarak kullanılmalarının yanında, ekonomik bakımdan ihtiyaç duyulan asal ve iz elementleri biriktirme yönünden de büyük önem taşırlar. Dünyada organik maddece

zengin kayaçlardan günümüzde ekonomik olarak işletilen pek çok maden yatağı mevcuttur. Örneğin İsveç'te bitümlü şeyllerden uranyum zenginleştirilmektedir. Şeyllerdeki başlıca metal çökelleri Proterozoik'te Avustralya, Kuzey Amerika ve Afrika'da oluşmuştur. Afrika'da en önemli ve en çok bilinen çökeller Zambia bakır kuşağıdır. Burada bir seri stratiform bakır (Cu)-kobalt (Co) depolanmaları 120 km'lik bir kuşak şeklinde yer almaktadır (Fleischer ve diğ., 1976). İlk cevherleşme en az 30x10<sup>6</sup> metrik ton metalik bakır içerir (veya % 3 bakırda 10<sup>9</sup> metrik ton, kobalt % 0.1-0.3). Zambia bakırlı şeyl depolarının farklı tipleri Fleischer ve diğ. (1976) tarafından tanımlanmıştır.

Avustralya'da Proterozoik yaşlı Mt. Isa, Hilton, McArthur Nehri ve Lady Loretta gibi bazı büyük ve iyi bilinen şeyl ana kayalarında Pb-Zn-Ag depolanmıştır (Gustavson ve Williams, 1981). Kuzey Amerika'da iyi bilinen şeyl ana kayalı mineral depolanmaları Michigan'daki Proterozoik yaşlı White Pine bakır (Cu) cevherleşmeleri ve Britanya Kolombiya'sındaki Sullivan Pb-Zn yataklarıdır. White Pine bakır cevherleşmeleri, Keweenaw Rifti içerisindeki görsel çökeller olarak yorumlanmış olan Proterozoik Nonesuch şeylinde meydana gelir (Gustavson ve Williams, 1981).

Yukarıda verilen çalışmalardan da görüleceği gibi organik madde ile elementler arasında çok yakın ilişkilerin olduğu bilinmektedir. Özellikle kayaçlardaki organik madde miktarı yükseldikçe U, Ba, Sb, Cd, Mo, Rb, Se, As, Zn, Cu, Ni, Co, Cr ve V elementlerinde de zenginleşmelerin olduğu görülmektedir. Bu tür elementlerin organik maddece zengin kayaçlarda yan kayaçlara nazaran çok fazla birikmelerinin sebebi depolanma ortamdaki Eh ve pH koşulları, organik maddenin birincil üretimi, sedimentasyon hızı, sülfat indirgeyici bakterilerin faaliyetleri sonucu sülfidli bileşiklerin çökmesi, tabandaki sedimentleri karıştıran bakteriyal faaliyetlerin eksilmesi veya yok oluşuna bağlı olarak organik madde korunumu ve birikimi ile yakından ilişkilidir.

## MATERYAL VE METOD

Bu çalışmada Orta Toroslar bölgesinden derlenen Geç Jura yaşlı organik maddece zengin 10 adet kireçtaşı örnekleri çeşitli jeokimyasal ve organik jeokimyasal analizlere tabii tutulmuşlardır. Toplam organik karbon analizleri (% TOK) WR - 12 tipindeki karbon analiz cihazında yapılmıştır. TOK analizlerinin ardından piroliz cihazı (Oil Show Analyser) kullanılarak S<sub>1</sub>, S<sub>2</sub>, S<sub>3</sub>, T<sub>max</sub>, Oksijen İndeks (OI) ve Hidrojen İndeks (HI) değerleri elde edilmiştir. Piroliz analizlerinden elde edilen HI ve T<sub>max</sub> değerleri kullanılarak kerojen tipleri belirlenmiştir.

Akkuyu Formasyonuna ait organik karbonca (C<sub>org</sub>) zengin kireçtaşı örneklerinde U, Ba, Cu, Ni, Cr, As, V, Zn, Sb, Co, Mo ve Cd iz element incelemeleri Ankara Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Jeokimya Laboratuvarında Spectro "XLAB 2000 PEDXRF (Polarized Energy Dispersive XRF)" cihazında yapılmıştır. Kireçtaşı örneklerinde element dağılımlarının ortalaması ve zenginleşme faktörleri hesaplanarak tablo ve şekiller halinde sunulmuştur. Ayrıca element dağılımlarının ortalaması ve zenginleşme faktörleri dünyada bilinen çeşitli anoksik ortamlara ait organik maddece zengin kayaç örnekleriyle karşılaştırılmıştır.

### Organik Kayaçlardaki İz Element Zenginleşmelerinde Organik Karbonun Önemi

Organik madde ince taneli killi ya da kimyasal kayaçlar içerisinde birikir. Bunlar şeyller, kiltaşları ve kireçtaşlarıdır. Kil mineralleri organik moleküllerin tutunabildiği özel bir yüzeye sahiptir. Bu şekilde kil içerisinde biriken organik maddeler bozunmaya uğramadan birikebilirler.

Organik maddece zengin kayaçlar hidrokarbon üretmelerinin yanında organik madde ile ilişkili elementlerce de zengindirler. Organik maddelerin elementlerle ilişkileri hem kaynak kayalar içerisinde ekonomik olarak işletilen maden yatakları şeklindeki zengin element birikimlerinin oluşması, hem de kaynak kayalardan atılan petroler içerisindeki çok zengin element birikimleri şeklinde görülmektedir. Organik maddece çok zengin

petrol kaynak kayaları ve bunlardan üretilen petroler genellikle ortalamanın üzerinde U, Cu, Mo, V, Ni, Cr, P, Zn, Ba, Cd, Co konsantrasyonları içerirler.

Petrol içindeki hakim elementler V ve Ni'dir. Bu element bileşenleri üzerine yapılmış olan birçok çalışma V ve Ni'in porfirinlerde bulunmalarını göstermektedir. Örneğin, Venezüella ham petrolünde Vanadyum değeri 2000 ppm'e ulaşmaktadır (Tissot ve Welte, 1984).

V ve Ni dışında petroler içerisinde pek çok iz element zenginleşmelerinin varlığı bilinmektedir. Batı Kanada baseni petroleri için Co değerleri 184 adet örnekte ortalama 53.7 ppb ve maksimum 2000 ppb olarak, Molas Baseni petroleri için Co değerleri ortalama 130 ppb, maksimum 640 ppb olarak belirlenmiştir (Ellrich ve diğ., 1985).

Petrollerdeki belirgin element zenginleşmelerinin yanı sıra, şeyllerdeki element birikimlerinde de ekonomik olarak dünyanın en büyük bakır (Cu), kurşun (Pb), çinko (Zn) yataklarının ana kayasıdır. Bunlardan Avrupa'nın merkezindeki Kupferschiefer siyah şeyl çökelleri muhtemelen bilinen en geniş yataktır. Almanya'daki Kupferschiefer madenciliği günümüze kadar gelmiştir (Jung ve Knitschke, 1976) ve bugün Polonya'da Kupferschiefer madenciliği hala devam etmektedir (Oszczepalski, 1989). Çok ince olmasına rağmen Üst Permiyen Kupferschiefer siyah şeyli Polonya'dan İngiltere'ye kadar uzanan, 600.000 km<sup>2</sup>'lik bir alanı kapsayan transgresif bir çökeldir. Kupferschiefer alanında bazı metal içerikleri (Cu, Pb, Zn, Ag) % 2 ile 5 arasındadır (Gustavson ve Williams, 1981). Teksas'daki Üst Permiyen Creta bakırlı şeylleri muhtemelen Kupferschiefer'in Kuzey Amerika eşdeğeri olarak göz önünde bulundurulur (Huyck ve Chorey, 1991).

Orta Toroslardaki Üst Jura Akkuyu Formasyonu'na ait 10 adet kayaç örneğinin organik karbon (C<sub>org</sub>) içeriği 0.63 ile 4.44 arasında değişmekte olup, ortalama C<sub>org</sub> değeri % 1.92 wt'dir. Organik jeokimya bilindiği üzere denizel kökenli petrol üreten kayaların kaynak kaya potansiyeline sahip olabilmeleri için yeterli olan limit değer % 0.3 wt C<sub>org</sub>'dur. Akkuyu Formasyonu'na ait organik maddelerin kerojen tipleri Tip II ve Tip III'dür (Şekil 3). Akkuyu

Formasyonu'nun  $C_{org}$  değerleri denizel kireçtaşlarının organik madde zenginleşmeleri açısından oldukça yüksek değerlerini ifade eder. Bu durum Akkuyu Formasyonu'nun organik maddeye bağlı olarak U, Ba, Cu, Ni, Cr, As, V, Zn, Sb, Co, Mo ve Cd gibi çok önemli element zenginleşmelerin olabileceğini göstermektedir (Şekil 4, Tablo 1).

### Üst Jura Yaşlı Akkuyu Formasyonundaki Element Zenginleşmelerinin Kaynağı

Akkuyu Formasyonunda zenginleşme gösteren U, Ba, Cu, Ni, Cr, As, V, Zn, Sb, Co, Mo ve Cd elementlerinin element kaynaklarının deniz suyundan otijenik olarak mı, yoksa dış kaynaklı detritik kökenli mi olduğu araştırılmıştır (Tablo 2, Şekil 5, Şekil 6). İncelenen örneklerde elementlerin deniz suyu ve detritik köken olmak üzere iki ayrı kaynaktan beslendikleri belirlenmiştir. Elementlerin detritik kökenlerinin belirlenmesinde Brumsack (2006)'ın çalışmasından yararlanılmıştır.

U, Cu ve Ni elementlerinin element kaynakları ağırlıklı olarak detritik kökenlidir. U elementi için detritik kaynak 8.98 ppm, otijenik deniz suyu kaynağı 4.26 ppm olup, detritik kaynaktan beslenme 2.10 kez daha yüksektir. Cu elementi için detritik kaynak 16.33 ppm, otijenik deniz suyu kaynağı 9.70 ppm olup, detritik kaynaktan beslenme 1.68 kez daha yüksektir. Ni elementi için detritik kaynak 81.65 ppm, otijenik deniz suyu kaynağı 47.85 ppm olup, detritik kaynaktan beslenme 1.71 kez daha yüksektir.

Cr, As, V, Zn, Sb elementlerinin kaynaklarının ağırlıklı olarak deniz suyu olduğu, bunun yanı sıra ortama dışardan taşınmış bir miktar detritik element girdisinin de olduğu görülmektedir. Bu elementler için sonuçlar şu şekilde açıklanabilir. Cr elementi için otijenik deniz suyu kaynağı 104.44 ppm, detritik kaynak 44.90 ppm olup, deniz suyundan beslenme 2.33 kez daha yüksektir. As elementi için otijenik deniz suyu kaynağı 7.35 ppm, detritik kaynak 4.08 ppm olup, deniz suyundan beslenme 1.80 kez daha yüksektir. V elementi için otijenik deniz suyu kaynağı 210.04 ppm, detritik kaynak 81.65 ppm olup, deniz suyundan beslenme 2.58 kez daha yüksektir. Zn elementi için otijenik deniz suyu kaynağı 171.29 ppm, detritik kaynak 81.65 ppm olup, denizel

beslenme 2.10 kez daha yüksektir. Sb elementi için otijenik deniz suyu kaynağı 2.41 ppm, detritik kaynak 0.82 ppm olup, deniz suyundan beslenme 2.94 kez daha yüksektir.

Ba elementinin beslenme kaynağı olarak deniz suyu 41.61 ppm ve detritik kaynak 40.82 ppm arasında çok yakın bir orantı bulunmakta olup, deniz suyundan beslenme 1.02 kez daha yüksektir.

Co, Mo ve Cd elementlerinin element kaynaklarının ise özellikle deniz suyu olduğu görülmektedir. Co elementi için otijenik deniz suyu kaynağı 18.78 ppm, detritik kaynak 0.41 ppm olup, deniz suyundan beslenme detritik kaynağa göre 45.80 kez daha yüksektir. Mo elementi için otijenik deniz suyu kaynağı 45.82 ppm, detritik kaynak 1.22 ppm olup, deniz suyundan beslenme detritik kaynağa göre 37.55 kez daha yüksektir. Cd elementi için otijenik deniz suyu kaynağı 12.21 ppm, detritik kaynak 0.14 ppm olup, deniz suyundan beslenme detritik kaynağa göre 87.21 kez daha yüksektir.

İncelenen kayaç örneklerindeki metal kaynaklarının hem otijenik kökenli olarak deniz suyundan, hem de detritik kökenli oldukları belirlenmiştir. Çalışma alanımızdaki organik maddece zengin kayaçlardaki metal zenginleşmelerinin birincil kaynağı deniz suyudur. Detritik kökenli metal kaynakları olarak da akarsuların karalardan akarken geçtikleri güzergahlardaki ana kayalardan çözerek bünyelerine aldıkları metaller, rüzgarların depolanma ortamlarına getirmiş oldukları küller de metal olurlar.

Killi ve karbonatlı kayaçlardaki sinjenetik yerleşmede metallerin ortalama miktarları için en önemli metal kaynağı deniz suyudur. Hesaplamalar normal deniz suyunun sadece çok yavaş sedimantasyon oranını kapsayan ve metallerin yer değiştirmesinin verimliliği ile ilgili özel durumlarda iyi bir kaynak olduğunu göstermektedir. Metal mevcudiyetinin artması için seyrek su sirkülasyon modelleri olarak haliç tersi/nehir ağızı sirkülasyonları gibi mekanizmalar önerilmiştir. Diğer metal kaynak mekanizmaları ise volkanik küllerin hızlı filtrelenmesinden gelen ekstra metal girdisi ve deniz altı yarıklarından gelen hidrotermal aktiviteleridir (Leenthal ve Kepferle, 1982).

## TARTIŞMA

### Organik Maddece Zengin Denizel Kayaçlarda Biyolojik Biriktirme Oranları (BBO)

Yüksek organik karbon ve iz element içerikleri arasındaki ilişkinin varlığı Kretase, Mesozoyik ve Paleozoyik siyah şeylleri için söylenmiştir (Brumsack, 1980; Arthur ve diğ., 1990; Hatch ve Leventhal, 1992).

Organik madde zenginleşmelerinin çoğu oksijensiz, H<sub>2</sub>S'ce zengin ve bakteri faaliyetlerinin olmadığı öksinik koşullarda gerçekleşmektedir. Nispeten düşük H<sub>2</sub>S varlığında organik fazda V ve Ni'in düşük konsantrasyonlarda, sülfid fazda ise Cu, Zn, ve Ni'in yüksek konsantrasyonlarda birikmesi gerçekleşir (Ripley ve diğ., 1990).

Organik maddece zengin kayaçlarda U, P, V, Mo, Cu ve Pb gibi elementlerin zenginleşmeleri organik madde ile çok sıkı bir ilişki içerisindedir. Deniz tabanlarında gömülme ile artan sıcaklık sonucunda organik madde diyajenezde uğrayarak dereceli olarak bitüm ve benzeri hidrokarbon türevlerine dönüşür. Bu süreçte daha kararlı organik bileşiklerin artmasıyla beraber, organik madde miktarı ile orantılı olarak P, U, Mo, Cu, Ni, Mn, P, Fe, Bi, Co ve Ga gibi elementleri daha fazla biriktirilirler (Ross ve Degens, 1974).

Çökellerde U, P, Mo, Cu, Ni, Zn konsantrasyonlarının artması organik madde miktarının artışı ile gerçekleşir. Aynı zamanda diyajenezin oksitlenme fasiyesinde organik madde miktarının azalması ile Mo/C<sub>org</sub>, Cu/C<sub>org</sub>, Ni/C<sub>org</sub>, Pb/C<sub>org</sub> oranları da artmaktadır (Ross ve Degens, 1974).

Orta Toroslar'daki Üst Jura Akkuyu Formasyonu'na ait örneklerin iz element içerikleri ortalama karbonat kayaçlar (Turekian ve Wedepohl, 1961), Peru şelfi siyah şeylleri (Böning ve diğ., 2004), Namibya şelfi siyah şeylleri (Borchers et al., 2005), Akdeniz sapropelleri (Warning ve Brumsack, 2000), Karadeniz sapropelleri (Lüschen, 2004) Senomaniyen-Turoniyen (Demerara ve Gubbio) siyah şeylleri (Brumsack, 2006) için saptanmış olanlarla karşılaştırılmıştır. Orta Toroslar'daki Üst Jura Akkuyu Formasyonuna ait kayaç örneklerinde U, Ba, Cu, Ni, Cr, As, V, Zn, Sb, Co, Mo ve Cd elementlerindeki zenginleşmelerinin diğer bölgelerdeki element zenginleşmelerine

benzerlikler gösterdiği belirlenmiştir (Şekil 7, Tablo 1).

İncelenen kayaç örneklerindeki metal zenginleşmeleri yine organik maddece zengin çeşitli kayaçlarla kıyaslandıklarında çok çarpıcı bir şekilde yüksektir. Örneğin, U, Cr, V, Zn ve Mo elementlerindeki bolluk oranları aşağıdaki şekildedir. U elementinin Akkuyu Formasyonundaki ortalaması 13.24 ppm'dir. Akkuyu formasyonunda U elementi karbonat kayaçlara oranla 6.02 kez, Peru şelfi siyah şeyllere göre 1.26 kez, Namibya şelfi siyah şeyllere göre 0.44 kez, Akdeniz sapropellerine göre 0.85 kez, Karadeniz sapropellerine göre 1.21 kez, Senomaniyen-Turoniyen Demerara siyah şeyllere göre 1.24 kez ve Senomaniyen-Turoniyen Gubbio siyah şeyllere göre ise 2.07 kez daha fazla biriktirilmiştir.

Cr elementinin Akkuyu Formasyonundaki ortalaması 149.35 ppm'dir. Akkuyu formasyonunda Cr elementi karbonat kayaçlara oranla 13.5 kez, Peru şelfi siyah şeyllere göre 1.52 kez, Namibya şelfi siyah şeyllere göre 1.80 kez, Akdeniz sapropellerine göre 1.36 kez, Karadeniz sapropellerine göre 3.47 kez, Senomaniyen-Turoniyen Demerara siyah şeyllere göre 1.09 kez ve Senomaniyen-Turoniyen Gubbio siyah şeyllere göre ise 1.66 kez daha fazla biriktirilmiştir.

V elementinin Akkuyu Formasyonundaki ortalaması 291.68 ppm'dir. Akkuyu Formasyonunda V elementi karbonat kayaçlara oranla 14.58 kez, Peru şelfi siyah şeyllere oranla 1.92 kez, Namibya şelfi siyah şeyllere göre 2.11 kez, Akdeniz sapropellerine göre 0.56 kez, Karadeniz sapropellerine göre 1.49 kez, Senomaniyen-Turoniyen Demerara siyah şeyllere göre 0.27 kez ve Senomaniyen-Turoniyen Gubbio siyah şeyllere göre ise 0.48 kez daha fazla biriktirilmiştir.

Zn elementinin Akkuyu Formasyonundaki ortalaması 252.93 ppm'dir. Akkuyu Formasyonunda Zn elementi karbonat kayaçlara oranla 12.65 kez, Peru şelfi siyah şeyllere oranla 2.39 kez, Namibya şelfi siyah şeyllere göre 7.23 kez, Akdeniz sapropellerine göre 2.63 kez, Karadeniz sapropellerine göre 3.89 kez, Senomaniyen-Turoniyen Demerara siyah şeyllere göre 0.46 kez ve Senomaniyen-

Turoniyen Gubbio siyah şeyllere göre ise 0.44 kez daha fazla biriktirilmiştir.

Mo elementinin Akkuyu Formasyonundaki ortalaması 47.04 ppm'dir. Akkuyu Formasyonunda Mo elementi karbonat kayaçlara oranla 156.81 kez, Peru şelfi siyah şeyllere göre 1.12 kez, Namibya şelfi siyah şeyllere göre 1.18 kez, Akdeniz sapropellerine göre 0.45 kez, Karadeniz sapropellerine göre 0.92 kez, Senomaniyen-Turoniyen Demerara siyah şeyllere göre 0.59 kez ve Senomaniyen-Turoniyen Gubbio siyah şeyllere göre ise 1.74 kez daha fazla biriktirilmiştir.

Görüldüğü gibi Orta Toroslardaki Üst Jura Akkuyu Formasyonuna ait organik maddece zengin karbonat kayaç örneklerinde U, Ba, Cu, Ni, Cr, As, V, Zn, Sb, Co, Mo ve Cd elementlerinde çok yüksek zenginleşmeler meydana gelmiştir. Bu durum ortamdaki organik madde zenginleşmesi ve ortamın jeokimyasal koşullarıyla çok yakından ilişkilidir. Ortamın pH ve Eh koşulları organik maddenin korunmasında etkili olduğu gibi, ortamın anoksik yani zayıf sülfidik H<sub>2</sub>S'li olması ya da kuvvetli sülfidik H<sub>2</sub>S'li olması da kayaçların elementlerce zenginleşmelerinde etkindir. Çalışılan kayaç örneklerindeki U, Ba, Cu, Ni, Cr, As, V, Zn, Sb, Co, Mo ve Cd elementlerindeki zenginleşmelerin öncelikle organik maddeye bağlanmaları ikincil olarak da bu elementlerin daha çok sülfidler şeklinde çökelmeleri nedeniyledir.

Ortamdaki organik madde zenginleşmesiyle elementler arasında çok açık bir ilişkinin var olduğunu gösteren diğer bir delil ise element zenginleşmelerinin kayaçların litolojisiyle doğrudan bir ilişkisinin olmadığıdır. Orta Toroslar'daki Üst Jura Akkuyu Formasyonu'na ait organik maddece zengin kayaç örnekleri karbonat litolojisinde iken, bu çalışmada karşılaştırma amacıyla kullanılan Dünyanın değişik bölgelerine ait organik maddece zengin kayaç örnekleri ise kilitaşı ve şeyl litolojisine sahiptir. Karşılaştırmalardan da çok açık olarak görüldüğü gibi U, Ba, Cu, Ni, Cr, As, V, Zn, Sb, Co, Mo ve Cd elementlerinin tamamına yakını Orta Toroslar'daki Üst Jura Akkuyu Formasyonuna ait organik maddece zengin karbonat kayaç örneklerinde daha fazla biriktirilmişlerdir. Hatta çok dikkat çekici bir

şekilde, örneğin Cd elementi Karadeniz sapropellerine kıyasla 14.04 kez, Co elementi Peru kıyusal şelfi örneklerine göre 3.15 kez, Senomaniyen-Turoniyen Demerara siyah şeyllere göre 2.43 kez, Zn elementi Peru şelfi siyah şeyllere göre 2.39 kez, Akdeniz sapropellerine göre 2.63 kez, Namibya şelfi siyah şeyllere göre 7.23 kez, Karadeniz sapropellerine göre 3.89 kez, V elementi Peru şelfi siyah şeyllere göre 1.92 kez, Namibya şelfi siyah şeyllere göre 2.11 kez, Karadeniz sapropellerine göre 1.49 kez, Cr elementi Peru kıyusal şelfi örneklerine göre 1.52 kez, Namibya şelfi siyah şeyllere göre 1.80 kez, Akdeniz sapropellerine göre 1.36 kez, Karadeniz sapropellerine göre 3.47 kez, Senomaniyen-Turoniyen Gubbio siyah şeyllere göre ise 1.66 kez, Ni elementi Peru şelfi siyah şeyllere göre 1.75 kez, Namibya şelfi siyah şeyllere göre 2.82 kez, Karadeniz sapropellerine kıyasla 2.27 kez, Senomaniyen-Turoniyen Gubbio siyah şeyllere göre ise 1.05 kez, U elementi de Peru şelfi siyah şeyllere göre 1.26 kez, Karadeniz sapropellerine göre 1.21 kez, Senomaniyen-Turoniyen Demerara siyah şeyllere göre 1.24 kez ve Senomaniyen-Turoniyen Gubbio siyah şeyllere göre ise 2.07 kez daha fazla biriktirilmiştir.

## SONUÇLAR

1. İz elementlerin kayaçlar içerisinde biriktirilmelerinde kayaç litolojileri etken rol oynamazlar. Çünkü Akkuyu Formasyonu'na ait kireçtaşı örneklerinin element içeriklerinin karbonat kayaçlarla olan kıyaslamaları dikkate alındığında, Akkuyu örneklerindeki U, Ba, Cu, Ni, Cr, As, V, Zn, Sb, Co, Mo ve Cd elementlerindeki zenginleşmelerin karbonat kayaçlara kıyasla 6-353 kez daha yüksek oldukları görülmektedir (Tablo 1).

2. Kayaçlardaki iz element zenginleşmelerinde kayaçların kil içeriklerinin tek etkili faktör olmadığı görülmektedir. Üst Jura Akkuyu Formasyonu'na ait kireçtaşı örneklerinde U, Ba, Cu, Ni, Cr, As, V, Zn, Sb, Co, Mo ve Cd elementlerindeki zenginleşmeler dünyanın değişik bölgelerine ait killi ve şeylli organik maddece zengin kayaçlarla kıyaslandığında Akkuyu örneklerindeki U, Ba,

Cu, Ni, Cr, As, V, Zn, Sb, Co, Mo ve Cd element zenginleşmelerinin çok daha yüksek oldukları görülmektedir.

3. O halde kayalardaki iz element zenginleşmelerinde: çökelme ortamında oksijensiz ve etkili H<sub>2</sub>S'ce zengin olan anoksik/öksinik koşullar altında yüksek orandaki organik maddenin korunumunun olmasının yanında, ortamda Fe içeriğinin düşük olmasına bağlı olarak zayıf pirit oluşumları ve

yüksek S fazlalığı ile elementlerin sülfidleri oluşturması (Örneğin MnS, CoS, VS, NiS vb.) etkindir.

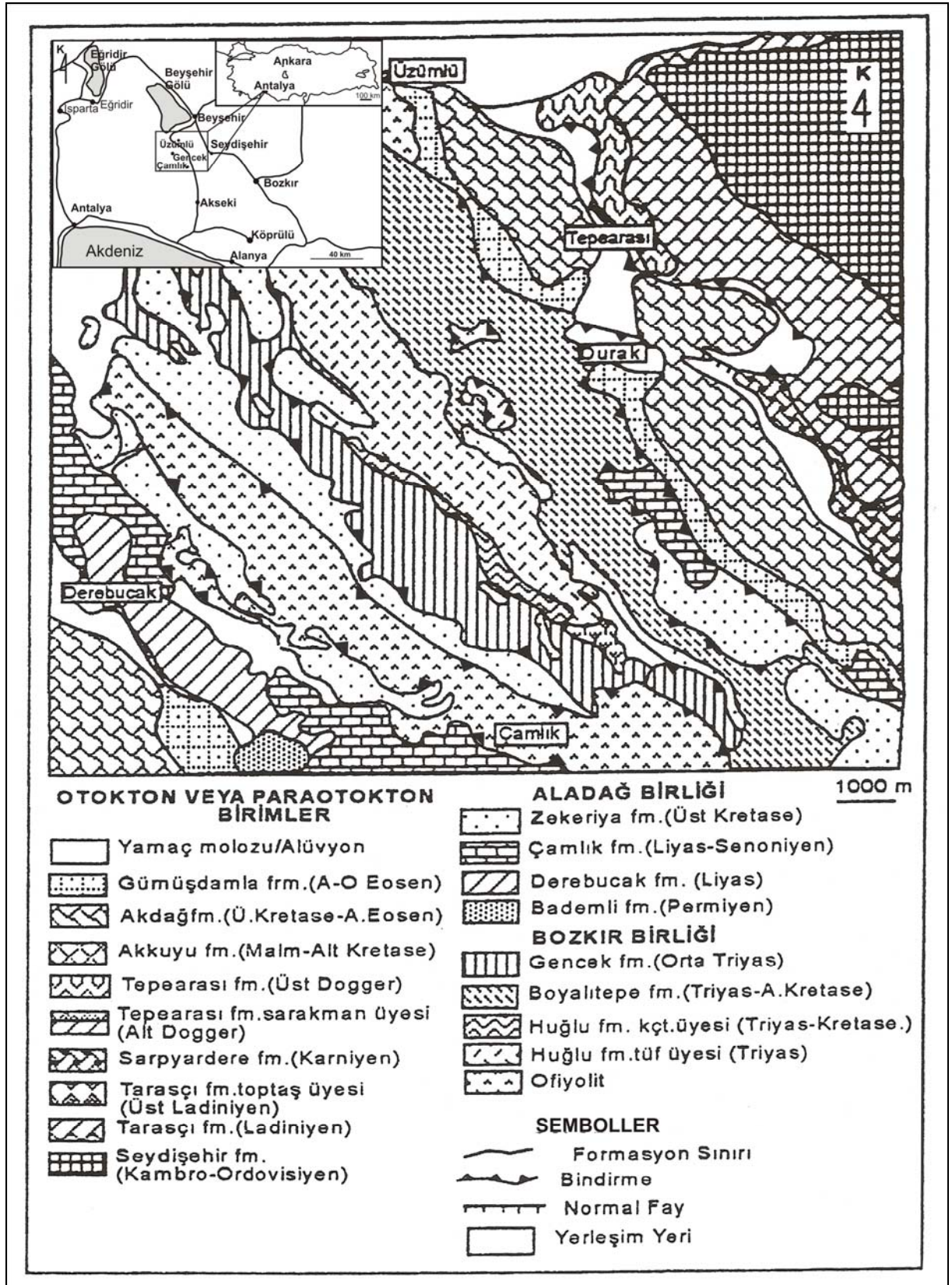
4. Yüksek organik madde içeriğe bağlı olarak özellikle de V, Ni, Cu vb. gibi organometalik elementlerin yüksek sülfidik öksinik ve kısmen daha zayıf sülfidik olan anoksik koşullarda oksik koşullara oranla daha fazla zenginleştikleri belirlenmiştir.

### KAYNAKLAR

- Acar, A.**, 1993, Akseki – Aydıncık (Antalya) civarının petrol kapanlanmasında etkili olan yapısal özelliklerinin belirlenmesi; Yüksek lisans tezi, Ankara Üniv. Fen Bil. Enst., 137 (yayınlanmamış).
- Albayrak, M.**, 1995, Akseki – Aydıncık (Antalya) arasının jeolojisi ve petrol olanakları; Yüksek Lisans Tezi, Ankara Üni. Fen Bilimleri Enst., 176 (yayınlanmamış).
- Arthur, M.A., Jenkyns, H.C., Brumsack, H.J., and Schlanger, S.O.**, 1990, Stratigraphy, geochemistry, and paleoceanography of organic carbon-rich Cretaceous sequences; In Ginsburg, R.N. and Beaudoin, B. (Eds.), Cretaceous Resources, Events and Rhythms: Background and Plans for Research. NATO ASI Ser., Ser. C, 304, 75–119.
- Blumenthal, M.M.**, 1951, Batı Toroslarda Alanya ard ülkesinde jeolojik araştırmalar; MTA dergisi, n.5, 194.
- Böning, P., Brumsack, H.-J., Böttcher, M.E., Schnetger, B., Kriete, C., Kallmeyer, J., Borchers, S.L.**, 2004, Geochemistry of Peruvian near-surface sediments; Geochim. Cosmochim. Acta, Cilt 68, 4429–4451.
- Borchers, S.L., Schnetger, B., Böning, P., Brumsack, H.-J.**, 2005, Geochemical signatures of the Namibian diatom belt: Perennial upwelling and intermittent anoxia; Geochemistry Geophysics Geosystems 6 doi:10.1029/2004GC000886.
- Brumsack, H.-J.**, 1980, Geochemistry of Cretaceous black shales from the Atlantic Ocean (DSDP Legs 11, 14, 36 and 41); Chemical Geology, 31, 1–25.
- Brumsack, H.J.**, 2006, The trace metal content of recent organic carbon-rich sediments: Implications for Cretaceous black shale formation; Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology, Cilt 232, 344–361.
- Ellrich, J., Hirner, A. and H. Stark, H.**, 1985, Distribution of trace elements in crude oils from southern Germany; Chemical Geology, v 48, 313–323.
- Fleischer, V.D., Garlick, W.G., and Haldane, R.**, 1976, Geology of the Zambian Copperbelt; In: K.H. Wolf (ed.), Handbook of Stata-Bound and Stratiform Ore Deposits, vol. 6. Elsevier, Amsterdam, 223–352.
- Gustavson, L.B., and Williams, N.**, 1981, Sediment-hosted stratiform deposits of copper, lead, and zinc; In: B.J. Skinner (ed.), Seventy-Fifth Anniversary Volume, The Economic Geology Publishing Co., Yale, 139–178.
- Hatch, J.R. and Leventhal, J.S.**, 1992, Relationship between inferred redox potential of the depositional environment and geochemistry of the Upper Pennsylvanian (Missourian) Stark Shale Member of the Dennis Limestone, Wabaunsee County, Kansas, U.S.A.; Chemical Geology, 99, 65–82.
- Huyck, H.L.O., and Chorey, R.W.**, 1991, Stratigraphic and petrographic comparison of the Creta and Kupferschiefer copper shale deposits; Mineralium Deposita, 26, 132–142.

- Jung, W., and Knitschke, G.**, 1976, Kupferschiefer in the German Democratic Republic (GDR) with special reference to the Kupferschiefer deposits in the southeastern Harz foreland; In: K.H. Wolf (ed.), Handbook of Stata-bound and Stratiform Ore Deposits, v 6, Elsevier, Amsterdam, 353–406.
- Lüschen, H.**, 2004, Vergleichende anorganisch geochemische Untersuchungen an phanerozoischen Corg.-reichen Sedimenten: Ein Beitrag zur Charakterisierung ihrer Fazies, PhD-Thesis, University of Oldenburg, 186.
- Martin, C.**, 1969, Akseki kuzeyindeki bir kısım Torosların stratigrafik ve tektonik incelemesi; MTA dergisi, no.72, 157–175.
- Monod, O.**, 1977, Recherches géologiques dans les Taurus occidental au sud de Beyşehir (Turquie). Thèse de Doctorat, Université Paris – Sud (Orsay), 442 (yayınlanmamış).
- Oszczepalski, S.**, 1989, Kupferschiefer in southwestern Poland: sedimentary environments, metal zoning, and ore controls; In: R.W. Boyle, A.C. Brown, E.C. Jowett, and R.V. Kirkham (eds.), Sediment-Hosted Stratiform Copper Deposits, Geol. Assoc. Canada Special Paper 36, 571–600.
- Özgül, N.**, 1983, Alanya bölgesinin jeolojisi; Doktora Tezi, İstanbul Üniv. Fen Bil. Enst. Jeol. Müh., 135 (yayınlanmamış).
- Özgül, N.**, 1984, Stratigraphy and tectonic evolution of the Central Taurides; In: O. Tekeli and M.C. Göncüoğlu (Editors), Geology of the Taurus Belt, Mineral research and Exploration Ins. Turkey, Ankara, 77–90.
- Ripley, E.M., Shaffer, N.R. and Gilstrap, M.S.**, 1990, Distribution and geochemical characteristics of metal enrichment in the New Albany Shale (Devonian–Mississippian), Indiana; Economic Geology, 85, 1790–2807.
- Ross, D.A. ve Degens, E.T.**, 1974, Recent sediments of the Black Sea; In: Degens, E.T. and Ross, D.A. ed. The Black Sea - Geology, Chemistry and Biology, AAPG, Memoir 20, 183–199.
- Sarı, A., Sonel, N. Ve Doğan A.O.**, 1997, Üzümlü-Çamlık arasında kalan bölgenin Stratigrafisi (Beyşehir Güneyi, Konya); SDÜ. Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 2, 17–38.
- Sonel, N., Albayrak, M., Ayyıldız, T., Acar, A.**, 1993, Aydinkent (Antalya) civarının petrol imkanları. TÜBİTAK proje no.: TBAG-921/YBAG-009 (yayınlanmamış), Ankara.
- Sonel, N., Sarı, A., Doğan, A.O., Bozüyük, İ.**, 1995, Üzümlü (Beyşehir) civarının kaynak kaya fasiyesleri ve petrol oluşumunun organik jeokimyasal yöntemlerle incelenmesi; Türkiye Jeoloji Kurultayı Bülteni, 10, s. 34–40.
- Tissot, B. P. and Welte, D. H.**, 1984, Petroleum formation and occurrence; New York, Springer-Verlag, 299.
- Toker, V., Sonel, N., Ayyıldız, T., Albayrak, M.**, 1993, Akseki Kuzeyi – Üzümdere (Antalya) civarının stratigrafisi; Türkiye Jeoloji Kurultayı Bülteni, Cilt 36, 57–71.
- Turekian K.K. Wedepohl K.H.**, 1961, Distribution of the elements in some major units of the earth's crust; Geological Society of America Bulletin, Cilt 72, 175–192.
- Warning, B., Brumsack, H.-J.**, 2000, Trace metal signatures of eastern Mediterranean sapropels; Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology, Cilt 158, 293–309.



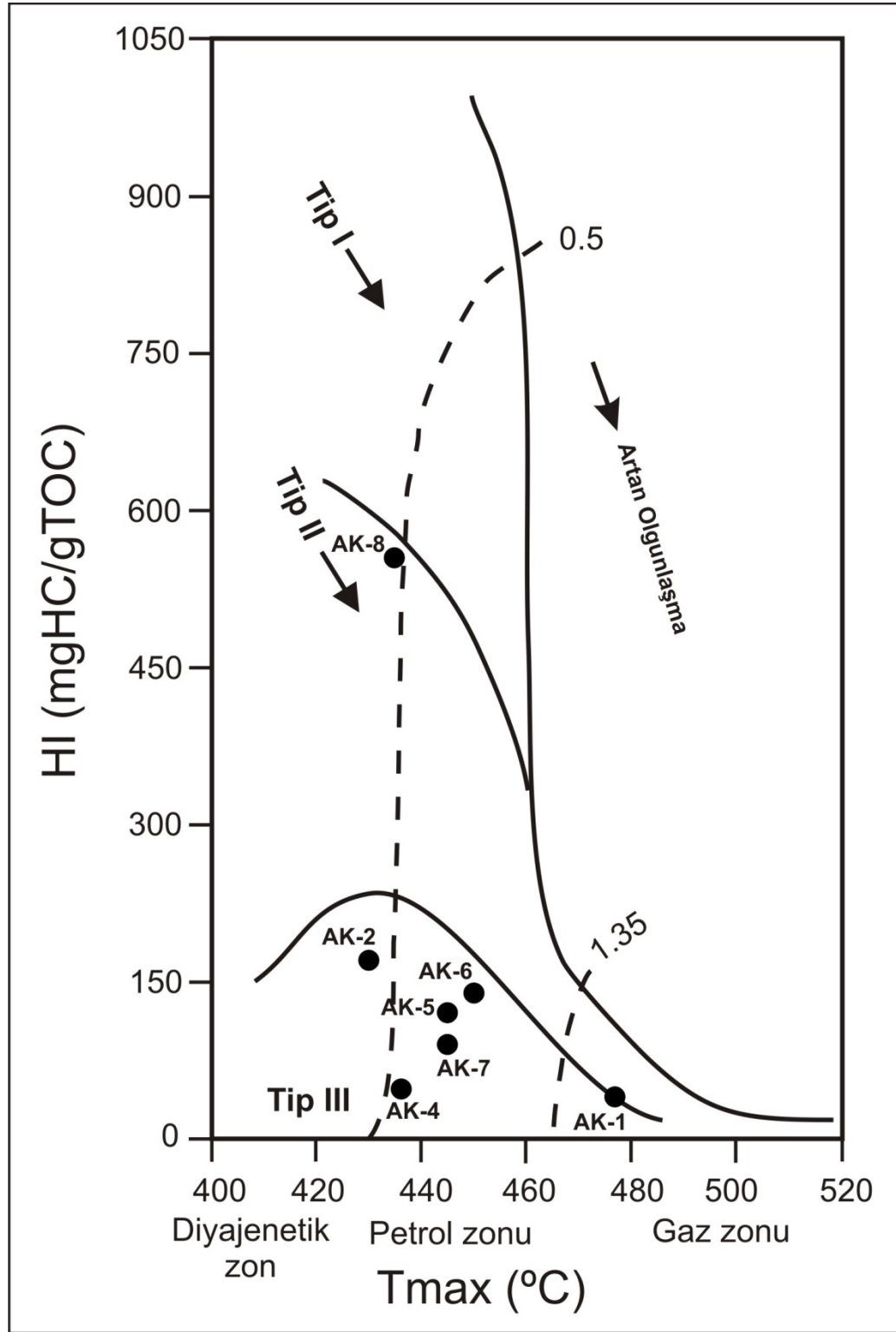


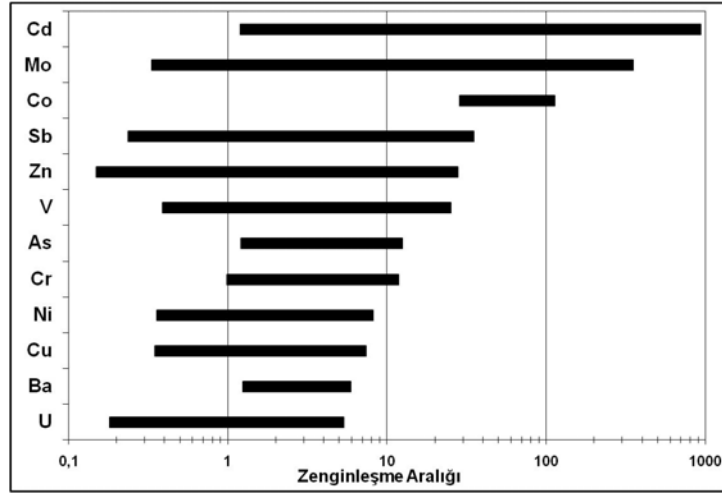
Şekil 1. İnceleme alanına ait jeoloji haritası (Sarı ve diğ., 1997).

Figure 1. Geology map of the study area (Sarı et al., 1997).

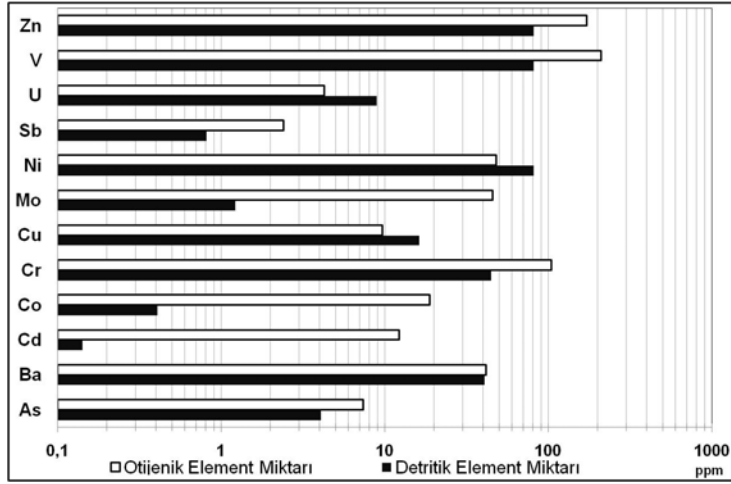
PALEOZOYİK		MESOZOYİK					SENOZOYİK			Üst Sistem
Kambriyen - Ordovisiyen		Triyas		Jura		Kretase		Tersiyer		Sistem
Seydişehir		Orta	Üst	Dogger	Malm	Alt Kretase	Üst Kretase	Paleosen	Eosen	Seri
		Ladiniyen	Kamiyen							Kat
		Taraşı	Sarıyaredere	Tepearası	Akkuyu	Akdag				Formasyon
		Toptaş		Sarak						Üye
1000-1200		300	20	140-160	20	100-300	30-90	800-1000	200-300	Kalınlık (m)
Şeyl, kuvarsit, kireçtaşı		Siyah renkli yumru kireçtaşı	Resifal Kireçtaşı	Kumtaşı, kireçtaşı, marn ardalanması	Kireçtaşı	Dolomit	Bitümlü kireçtaşı ve şeyl	Gri-beyaz renkli, masif kireçtaşı	Dolomit ve kireçtaşı ardalanması	Beyaz, açık gri renkli masif kireçtaşı
Brachiopoda Eulama latireps Nileus Paradoxides Neseurotus		Tautoporella nodosa Cryptocoelina zitteli Protrachyceras Iberites Daonella böeckhi Francites	Gruonevaldia Pinno Franticularia	Meandropsinidae Protopeneroplis Meyendorfina Nautiloculina oolithica Haurinia amiji	Trocholina alpina Protopeneroplis striata	Miscellanea miscella Siderolites calcitropoides Orbitoides medius Valvulinidae Miliolidae Textularidae Cumeclina lauretti Ostrocada Ophthalmidiidae Protopeneroplis trochangulata	Kumtaşı, marn, ince tabakalı kireçtaşı	Acarinina bulibroaki Globigerinidae Morozovella aff. sipinulos		
Litoloji		Açıklamalar		Fosil İçeriği						

Şekil 2. Çalışma alanı ve yakın civarının stratigrafik kolon kesit (Monod, 1977; Özgül 1984).  
Figure 2. Stratigraphy column section of study area and its close environ (Monod, 1977; Özgül 1984).

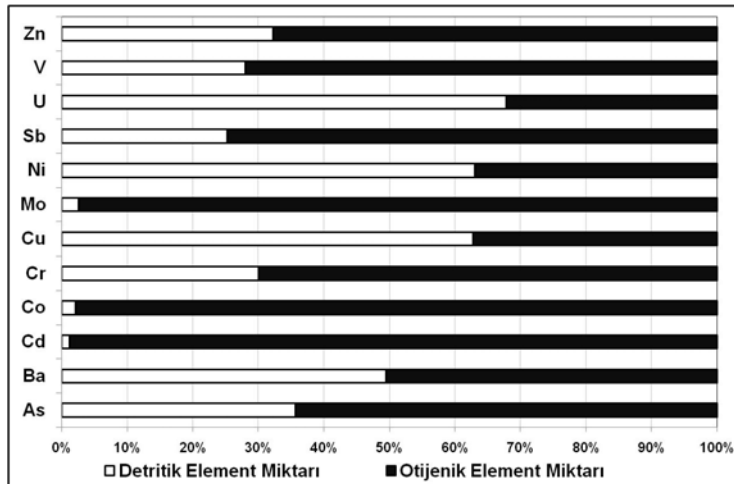
Şekil 3. HI -  $T_{max}$  grafiği.Figure 3. HI- $T_{max}$  graphics.



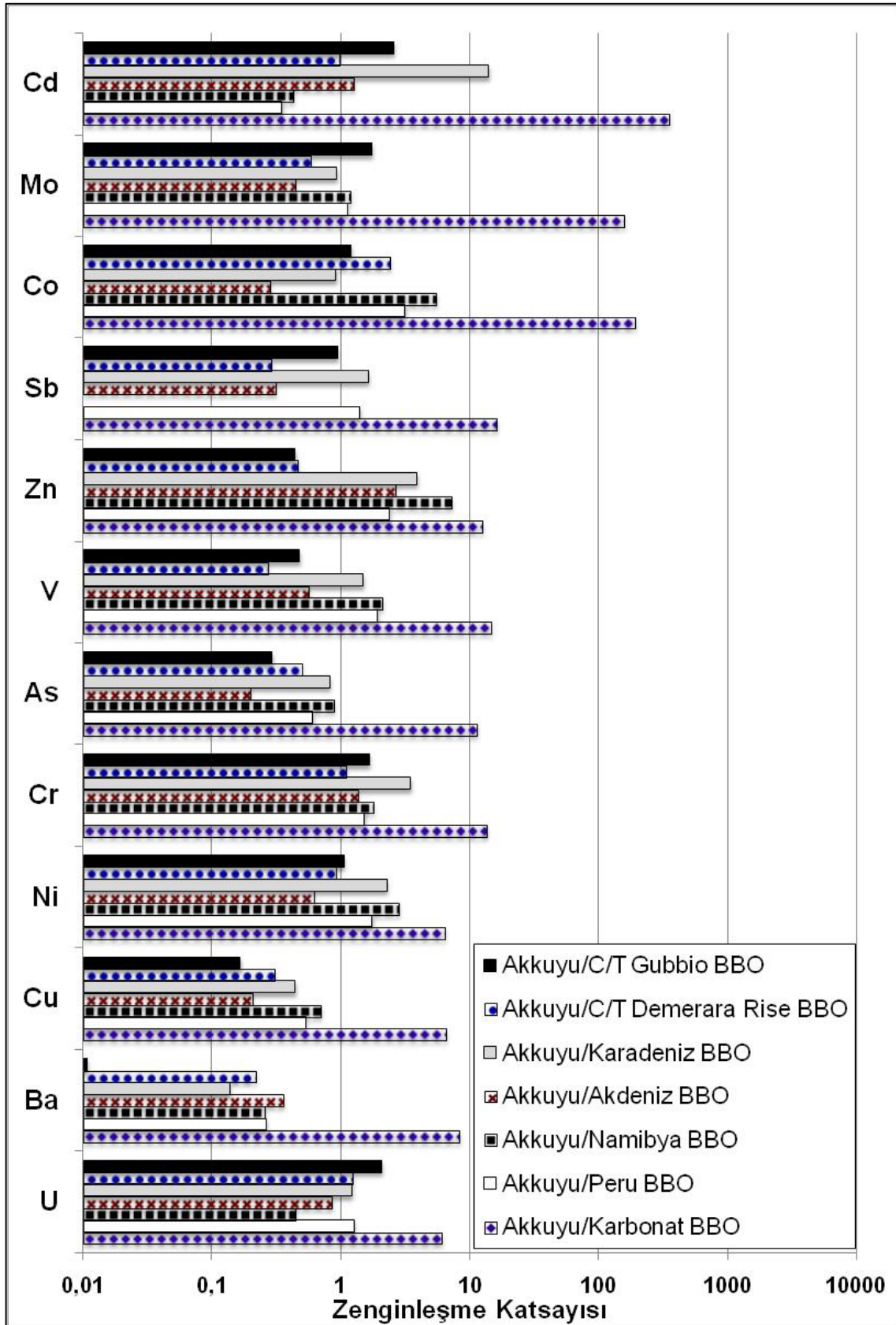
Şekil 4. Elementlerin zenginleşme aralığı.  
Figure 4. Enrichment range of elements.



Şekil 5. Elementlerin detritik – otijenik miktarı.  
Figure 5. Detrital – authigenic amounts of elements.



Şekil 6. Elementlerin detritik – otijenik % oranları.  
Figure 6. Detrital – authigenic percentage rate of elements.



Şekil 7. Elementlerin Biyolojik Biriktirme Oranları (BBO).

Figure 7. Biological Accumulation Rate (BAR) of Elements.

**Tablo 1.** Akkuyu ve değişik bölge örneklerinin Biyolojik Biriktirme Oranları (BBO).  
**Table 1.** Average Biological Accumulation Rate (BAR) of samples from Akkuyu and different area.

Element	Akkuyu	Karbonat		Peru Kıyısı		Namibya çamurları		Akdeniz sapropelleri		Karadeniz sapropelleri		C/T Demerara Rise		C/T Gubbio	
		Ort. (ppm)	Ort. (ppm)	BBO	Ort. (ppm)	BBO	Ort. (ppm)	BBO	Ort. (ppm)	BBO	Ort. (ppm)	BBO	Ort. (ppm)	BBO	Ort. (ppm)
U	13,24	2,2	6,02	10,5	1,26	30	0,44	15,5	0,85	10,9	1,21	10,7	1,24	6,4	2,07
Ba	82,42	10	8,24	314	0,26	324	0,25	228	0,36	604	0,14	379	0,22	7713	0,01
Cu	26,03	4	6,51	49	0,53	37	0,70	127	0,20	59	0,44	85	0,31	157	0,17
Ni	129,49	20	6,47	74	1,75	46	2,82	208	0,62	57	2,27	142	0,91	123	1,05
Cr	149,35	11	13,57	98	1,52	83	1,80	110	1,36	43	3,47	137	1,09	90	1,66
As	11,44	1	11,44	19	0,60	13	0,88	58	0,20	14	0,82	23	0,50	39	0,29
V	291,68	20	14,58	152	1,92	138	2,11	518	0,56	196	1,49	1066	0,27	613	0,48
Zn	252,93	20	12,65	106	2,39	35	7,23	96	2,63	65	3,89	545	0,46	573	0,44
Sb	3,23	0,2	16,14	2,3	1,40	n.d.	n.d.	10,3	0,31	1,98	1,63	11,1	0,29	3,44	0,94
Co	19,19	0,1	191,90	6,1	3,15	3,5	5,48	68	0,28	21	0,91	7,9	2,43	16	1,20
Mo	47,04	0,3	156,81	42	1,12	40	1,18	105	0,45	51	0,92	80	0,59	27	1,74
Cd	12,35	0,04	353,06	35,4	0,35	29	0,43	9,81	1,26	0,88	14,04	12,7	0,97	4,82	2,56

**Tablo 2.** Akkuyu Formasyonunda Ortalama, Detritik ve Otijenik Element Miktarları.  
**Table 2.** Mean, detrital and authigenic contents of elements at Akkuyu Formation.

Elementler	Akkuyu Formasyonu		
	Ortalama Element Miktarı (ppm)	Detritik Element Miktarı (ppm)	Otijenik Element Miktarı (ppm)
As	11,44	4,08	7,35
Ba	82,43	40,82	41,61
Cd	12,36	0,14	12,21
Co	19,19	0,41	18,78
Cr	149,35	44,90	104,45
Cu	26,03	16,33	9,70
Mo	47,04	1,22	45,82
Ni	129,50	81,65	47,85
Sb	3,23	0,82	2,41
U	13,24	8,98	4,26
V	291,69	81,65	210,04
Zn	252,93	81,65	171,28