



**Petrollü şeylerin element karakteristikleri ve organik maddenin paleo-sedimanter şartlarını kontrol eden faktörler; Çeltek formasyonu petrollü şeyleri, Sorgun-Yozgat/Türkiye**

*Factors controlling the paleo-sedimentary conditions of Çeltek oil shale, Sorgun-Yozgat/Turkey*

Berna YAVUZ PEHLİVANLI<sup>a\*</sup>

<sup>a</sup> Bozok Üniversitesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, 66900, Atatürk Yolu, Yozgat, Türkiye. [orcid.org/0000-0003-0127-8525](https://orcid.org/0000-0003-0127-8525)

*Araştırma Makalesi*

**Anahtar Kelimeler:**  
Paleo-ortam, paleo-tuzluluk, paleo-iklim, kimyasal alterasyon indeksi (CIA), Çeltek formasyonu petrollü şeyleri (ÇFPS), toplam organik karbon (TOC).

## ÖZ

İnceleme alanı Yozgat ili Sorgun ilçesinde bulunmakta ve yaklaşık 1000 km<sup>2</sup>lik bir alanı kapsamaktadır. Bölgede Paleozoyik, Kampaniyen-Maastrichtiyen, Eosen, Miyosen ve Kuvaterner yaşlı birimler bulunmaktadır. Bu birimler içinde Alt Eosen yaşlı Çeltek formasyonu bölgede özellikle kömür içeriği bakımından dikkat çekmiş olup aynı birim içinde petrollü şeyl olarak tanımlanan kayaçlar yer almaktadır. Dünyadaki petrol ve gaz verimliliği ve anoksik depolanma süreçleri dikkate alındığında organik madde birikimi açısından Eosen dönemi önemlidir. Çalışma alanı içerisinde derlenen 2 farklı sondaj ve bir adet yüzeyde yapılan ölçülü stratigrafik kesite (ÖSK) ait 29 adet örneğin toplam organik karbon (TOC) ve ana-iz element analizleri baz alınarak petrollü şeylerin paleo-sedimanter ortam ve karakteristikleri ile TOC miktarları arasındaki ilişkileri çalışılmıştır. Bu örnekler, %1.97 -16.17 (ortalama% 6.30) arasında TOC içeriğine sahiptir. Çeltek formasyonu petrollü şeylerine (ÇFPS) ait jeokimyasal verilerde V/Cr, V/(V+Ni), U/Th, δU ve Ötijenik Uranyum (AU) değerleri hesaplanarak, petrollü şeylerin değişken paleo-ortam koşullarına sahip olduğu tespit edilmiştir. Paleo-tuzluluk için Sr/Ba oranları hesaplanmış ve örneklerin genellikle tatlı su ortamında çöktüğü tespit edilmiştir. ÇFPS'nin paleo-iklim koşulları, kimyasal alterasyon indeksi (CIA) değerleri ve Sr/Cu oranlarına göre, kuru, sıcak ve zaman zaman nemli olarak belirlenmiştir. Fe/Ti ve (Fe+Mn)/Ti oranlarına göre ise petrollü şeylerin sedimantasyonu esasında ortamda hidrotermal bir etkinliğin olduğu söylenebilir. Ayrıca Zr/Rb oranları bakımından petrollü şeylerin çöktüğü dönemdeki paleo-hidrodinamiklerin oldukça zayıf olduğu yorumu yapılabilir. Sonuç olarak havzadaki bu farklı jeokimyasal şartlar, farklı paleo-ortam koşullarına neden olmaktadır.

Geliş Tarihi: 28.02.2018  
Kabul Tarihi: 25.09.201

## Keywords:

Paleo-environment, paleo-salinity, paleo-climate, chemical alteration index (CIA), Çeltek formation oil shales (ÇFOS), total organic carbon (TOC).

## ABSTRACT

The study field covering an area of about 1000 km<sup>2</sup> is located in Sorgun town of the city of Yozgat. In the region Paleozoic, Campanian-Maastrichtian, Eocene, Miocene and Quaternary units are exposed. Among these units, the lower Eocene Çeltek formation hosts coal beds and oil shale. The Eocene epoch is important for organic matter deposition regarding oil and gas productivity and anoxic depositional conditions. In order to examine the paleo-sedimentary conditions of oil shales in the study area and their relation to Total Organic Carbon (TOC) contents and major-trace element contents, a total of 29 samples were collected from two boreholes and one Measured Stratigraphic Section (MSS). Samples have TOC contents varying from 1.97 to 16.17 wt% (average 6.30 wt%). The V/Cr, V/(V+Ni), U/Th, δU and Authigenic Uranium (AU) values of the Çeltek formation oil shales (ÇFOS) reveal that the oil shales have been deposited under variable paleo-environmental conditions. For paleo-salinity the Sr/Ba ratios indicate mostly deposition in a freshwater environment. Chemical Alteration Index (CIA) values and Sr/Cu ratios indicate that paleo-climate conditions of ÇFOS were dry, hot and occasionally humid. The Fe/Ti and (Fe+Mn)/Ti ratios reveal hydrothermal activity during sedimentation of oil shales. Zr/Rb ratios of samples are indicative of very weak paleo-hydrodynamics during the deposition of oil shales. Such variable geochemical conditions in the basin resulted in variable paleo-environmental conditions.

\* Başvurulacak yazar: Berna YAVUZ PEHLİVANLI, [bernayavuz80@gmail.com](mailto:bernayavuz80@gmail.com)  
<http://dx.doi.org/10.19111/bulletinofmre.494703>

MTA Dergisi hem İngilizce hem Türkçe olarak yayımlanmakta olup makalelere yapılacak atıfların İngilizce baskısına yapılması gerekmektedir.

## 1. Giriş

Bazı iz elementler değişen redoks şartlarında hassas davranışlar sergilediği için sedimanterlerin çöktüğü paleo-redoks şartların tespit edilmesinde yaygın olarak kullanılmaktadır (Calvert ve Pedersen, 1993; Jones ve Manning, 1994; Wignall, 1994; Crusius, vd., 1996; Dean, 1993, 1997; Yarincik, vd., 2000; Morford, vd., 2001; Paillet, vd., 2002). Bu iz elementler, özellikle öksinik şartlar altında çökelmiş laminalı, organik maddece zengin fasiyeler içerisinde önemli miktarda zenginleşme göstermektedir. Fakat biyotürbasyonlu ve organik madde bakımından zayıf fasiyelerde ise aynı oranda zenginleşmediği tespit edilmiştir.

Petrollü şeyllerin TOC içeriği ile redoksa duyarlı iz elementler arasındaki ilişkileri ve redoks şartlarıyla alakalı pek çok çalışma yapılmıştır (Vine ve Tourtelot, 1970; Holland, 1984; Robl ve Barron, 1987; Özlük, 2010; Koca, vd., 2010; Sarı vd., 2010; Koca 2011; Yavuz Pehlivanlı, 2011; Sarı ve Koca, 2012; Yavuz Pehlivanlı, vd., 2013; Koralay ve Sarı, 2013; Sarı, vd., 2016).

Mesela uranyum, oksik-suboksik şartlar altında, çözülebilir  $U^{+6}$  olarak bulunmaktadır ve zenginleşmesi oksik ortamlarla sınırlıdır (Calvert ve Pedersen, 1993). Ayrıca uranyum anoksik şartlar altında,  $U^{+4}$  formuna indirgenmektedir. İndirgen şartlar altında sedimanter çökellerin içerisinde uranyum, hümik asit etkisiyle ligant oluşturarak ve sediman-su arayüzeyinde uranit ( $UO_2$ ) şeklinde zenginleşmektedir (Klinkhammer ve Palmer, 1991).  $U^{+6}$  indirgenmesinin Fe redoks reaksiyonlarıyla kontrol edildiği düşünülmeye rağmen ortamda bulunan  $H_2S$ 'in varlığı etkili olmakta ve bu nedenle de sülfat indirgenmesi gerçekleşmektedir (Langmuir, 1978; Klinkhammer ve Palmer, 1991; Zheng vd., 2002).

Vanadyum, nikel ve kobalt ise organik maddenin çöktüğü ortamların redoks koşullarının belirlenmesinde önemli olan elementlerden bazılarıdır. Vanadyum, oksik ortamlarda vanadat iyonları içinde V(5) şeklinde bulunur (Wehrli ve Stumm, 1989). Ortamda hümik ve fülvik asitlerin varlığı ile vanadattan vanadile olan indirgenme kolaylaşmaktadır (Templeton ve Chasteen, 1980). Ayrıca vanadyum  $V^{+4}$  formunda adsorplanarak veya organo-metalik ligantlar şeklinde sedimana taşınabilir (Morford ve Emerson, 1999). Daha güçlü indirgen şartlar altında V, serbest  $H_2S$ 'in varlığı ile  $V^{+3}$ 'e

indirgenecektir. Vanadyum, jeoporfirinler, katı oksit ( $V_2O_3$ ) veya hidroksit ( $V(OH)_3$ ) formda ortama girer (Breit ve Wanty, 1991). Ayrıca vanadyum iki adımda indirgenerek sülfid içermeyen anoksik şartlara karşı öksinik şartlarda farklı çözeltiler ile farklı vanadyum oluşum fazları oluşmasına neden olabilir (Calvert ve Pedersen, 1993).

Nikel genellikle Ni-karbonat bileşikler ( $NiCO_3$ ) şeklinde yada fülvik ve hümik asitlerle birlikte çözeltiler içinde bulunabilir (Achterberg vd., 1997). Oksik ortamlarda ise,  $Ni^{+2}$  veya  $NiCl^+$  iyonları şeklinde de bulunabilmektedir (Calvert ve Pedersen, 1993). Sedimanter ortama Ni'in taşınması organik madde etkisiyle hızlanmakta ve sediman-su ara yüzeyinde sedimentler içindeki gözenek sularında serbestleşmektedir. Ayrıca anoksik şartlar altında piritin bünyesinde katı çözeltiler şeklinde bulunabilir (Huerta-Diaz ve Morse, 1992; Morse ve Luther, 1999).

Kobalt ise oksik ortam şartlarında, çözülmüş kationlar ( $Co^{+2}$ ) veya hümik ve fülvik asitlerle bileşikler yapabilir (Achterberg vd., 1997) ve anoksik ortam şartlarında çözülmeyen sülfid ( $CoS$ ) formda bulunabilir (Huerta-Diaz ve Morse, 1992). Ayrıca Co, kinetik olarak daha yavaş absorblanabilmesinden dolayı ötijenik sülfidler içinde daha az miktarda olma eğilimindedir (Morse ve Luther, 1999).

Ni/Co, V/Cr ve V/(V+Ni) oranları baz alınarak organik maddece zengin kayaçların paleo-ortam verileri daha önceki çalışmacılar tarafından kullanılmıştır (Hatch ve Leventhal, 1992; Jones ve Manning, 1994; Rimmer, 2004). Li vd., (2018) tarafından yapılan çalışmada V/Cr, V/(V+Ni), U/Th,  $\delta U$  ve Ötijenik Uranyum (AU) hesaplanarak paleo-ortam şartları tespit edilmiştir. Paleo-tuzluluk için Sr/Ba oranları, paleo-iklim verileri için kimyasal alterasyon indeksi (CIA) ve Sr/Cu oranları, sedimantasyonu esnasındaki hidrotermal etkinliği belirlemek için Fe/Ti ve (Fe+Mn)/Ti oranları ve petrollü şeyllerin paleo-hidrokinamiklerini hesaplamak için ise Zr/Rb oranları kullanılmıştır.

Bu makalede çalışma alanı içerisinde çökelen ve sadece petrollü şeyl olarak tanımlanan kayaçlara ait örneklerin organik maddenin miktarı, paleo-tuzluluk, paleo-iklim, hidrotermal depolanma şartları ve paleo-hidrokinamikleri gibi paleo-ortam şartlarını etkileyen koşulların belirlenmesi amaçlanmıştır. Ayrıca organik madde miktarı ve bu paleo-sedimanter ortamı kontrol eden faktörler korele edilmiştir. Çeltek formasyonu petrollü şeylleri içindeki organik madde miktarını

kontrol eden paleo-ortam faktörlerinin belirlenmesi ortama gelen malzemenin miktarını etkilediği için önem arz etmektedir. Bu nedenle gelecekte bu konularda yapılacak çalışmalara önemli katkı sağlayacaktır.

## 2. Jeolojik Durum

İnceleme alanı Yozgat ili Sorgun ilçesinde bulunmakta ve yaklaşık 1000 km<sup>2</sup>'lik bir alanı kapsamaktadır. Bölge Paleozoyik, Kampaniyen-Maastrichtiyen, Eosen, Miyosen ve Kuvaterner yaşlı birimlerden oluşmaktadır.

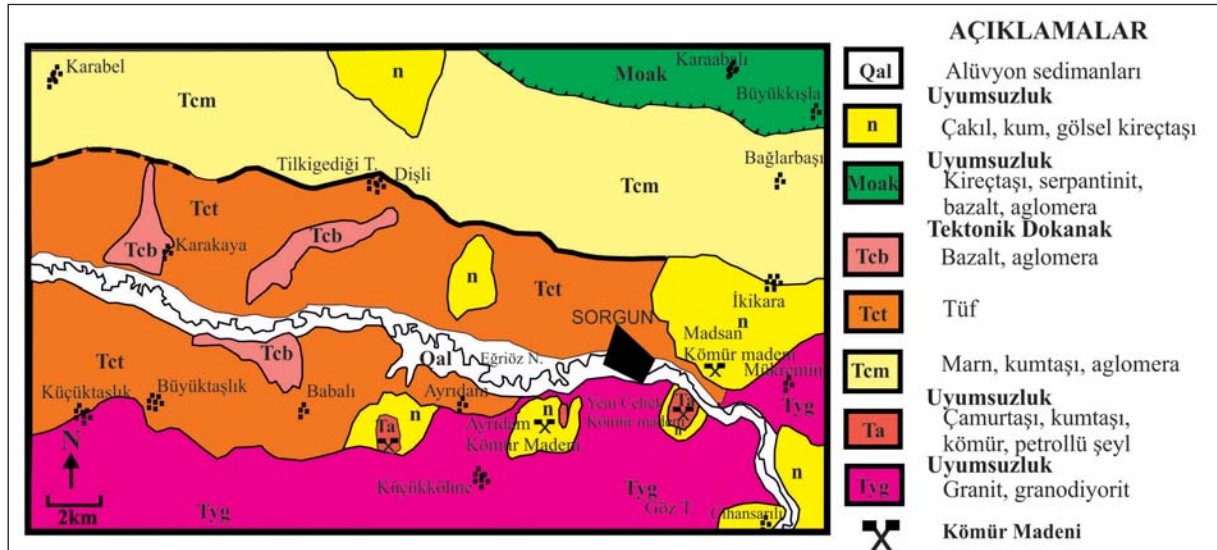
Çalışma alanı ve yakın çevresinde görülen en yaşlı birim, Orta Anadolu granitoidi olarak adlandırılan granitoidik kayalardır. Orta Anadolu granitoidlerinin üzerine, Alt Eosen yaşlı Çeltek formasyonu uyumsuz olarak gelir. Bu birim üzerine yine uyumsuz olarak Alt-Orta Eosen yaşlı Boğazköy formasyonu gelmektedir. İnceleme alanında ofiyolitik kayalardan oluşan ve İzmir-Ankara-Erzincan kenet kuşağı olarak tanımlanan birim, Lütesiyen sonu yatay hareketlere bağlı olarak Boğazköy formasyonu üzerine bindirmeyle gelir. Tüm bu birimler Neojen yaşlı çökeller tarafından örtülmektedir (Şekil 1 ve 2), (Cicioğlu, 1995; Beyazpirinç vd., 2014). Kızılırmak formasyonu, alttan üste doğru, karasal çakıltaşı, kumtaşı, silttaşı, kiltası, çamurtaşı ile kireçtaşıdan oluşmaktadır (Beyazpirinç vd., 2014). Daha sonra Orta Anadolu granitoidleri ve Boğazköy formasyonu üzerine gelen Pliyo- Kuvaterner yaşlı birimler tarafından örtülmektedir.

Yaş	Formasyon	Litoloji	AÇIKLAMALAR
Kuvaterner	Kuvaterner çökelleri		Alüvyal sedimanlar
Pliyosen	Ortū birim		Uyumsuzluk Çakıltaşı kumtaşı, çamurtaşı
Orta Miyosen	Kızılırmak		Uyumsuzluk Kireçtaşı, killi kireçtaşı, çakıltaşı, kumtaşı, silttaşı, kiltası, çamurtaşı
Üst Kretase	Artova Karmaşığı		Serpantin, çamurtaşı, radyolarit, gabro, diyabaz bazalt, kireçtaşı, mermer şist
	Dermik		Tektonik Dokanak Boyah Üyesi: volkanik ara katkılı çakıltaşı, kumtaşı, kiltası, çamurtaşı, killi kireçtaşı Volcanic Üyesi: Spilitik bazalt, bazaltik-andezitik lav and piroklastikler
Alt-Orta Eosen	Boğazköy		Tektonik Dokanak Aglomera, bazalt, andezit, dasit
			Killi kireçtaşı Marn, fosilli kireçtaşı Volkanik ara katkılı kumtaşı
	Çeltek	Kalınlık 50m	Uyumsuzluk Çakıltaşı Çamurtaşı, merceksi kumtaşı, petrolü şeyl, kömür, kumtaşı
Üst Kretase	Orta Anadolu Granitoidleri		Uyumsuzluk Granit, granitoid, hornblend granit, monzonit, siyenit, tonalit

Şekil 2- Sorgun havzasının genelleştirilmiş stratigrafik kesiti (Beyazpirinç vd., 2014; Cicioğlu, 1995'ten düzenlenmiştir).

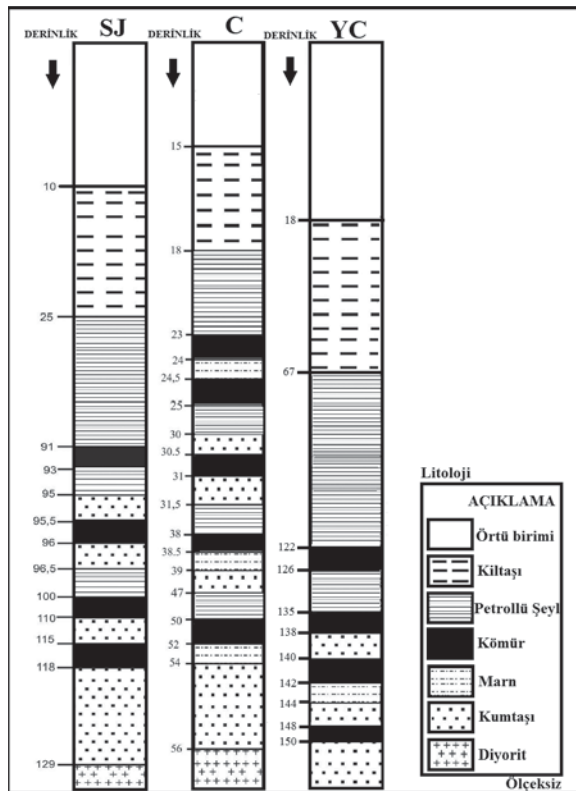
## 3. Materyal ve Metod

Çeltek formasyonu petrolü şeyllere ait örnekler (ÇFPS) Sorgun/Yozgat Yeni Çeltek Kömür



Şekil 1- Çalışma Alanının Jeoloji Haritası (Cicioğlu, 1995).

İşletmesi'ne ait sahadan bir adet yüzey (YÇ ÖSK=9 adet) ve iki adet sondaj (SJ=10 adet ve Ç Sondajı=10 adet) olmak üzere üç farklı noktadan alınmıştır. Yüzey örnekleri sistematik ölçülü stratigrafik kesit (ÖSK) çalışması ile sondajlara ait örnekler ise her metreden yaklaşık 10'ar cm olacak şekilde sistematik olarak derlenmiştir (Şekil 3). Değerlendirilen örneklerin ana ve iz element içerikleri, element zenginleşmeleri ve oluşum ortamının redoks şartlarının değerlendirebilmesi amacıyla Bozok Üniversitesi laboratuvarlarında 30 gr ağırlığındaki kayaç örnekleri yaklaşık 90 µ boyutunda öğütülmüştür. İz element ve nadir toprak element analizleri için 0.5 gr ağırlığındaki numuneler ICP-ES (ICP emission spectrometry) ve ICP-MS (ICP mass spectrometry) teknikleri kullanılarak Acme Analytical Laboratories Ltd (Kanada)'de yapılmıştır. Organik madde içeren bu 29 adet petrolü şeyl örneğine ait toplam organik karbon (TOC) içeriklerinin tespit edilmesi amacıyla piroliz analizleri TPAO Araştırma ve Geliştirme Merkezi Laboratuvarları'ndaki Rock-Eval VI cihazı kullanılarak yapılmıştır.



Şekil 3- SJ - Ç Sondajı ve YÇ ÖSK'sının tip kesiti (ölçeksiz).

## 4. Bulgular ve Tartışma

### 4.1. Rock Eval Piroliz Analizi

Çeltek formasyonu petrolü şeyllerinin TOC (Toplam Organik Madde) değerleri minimum: 1.37, maksimum: 11.8 ve ortalama: 4.96'dır. Örneklerin HI-OI ve HI-Tmax değerlerine göre genellikle organik madde tipinin Tip-1 ve Tip-2 kerojen olduğu tespit edilmiştir (Şekil 4 a ve b). Piroliz analizlerinden elde edilen organik karbon yüzdelerine göre örneklerin ana kaya sınıflamaları çok iyi ile mükemmel ana kaya özelliği arasında değişmektedir (Çizelge 1). Tmax sınır değerlerine ve kerojen tipleri de dikkate alındığında örneklerin genellikle petrol penceresinde olduğu, örneklerin derinliğe bağlı değişimleri dikkatli incelendiğinde ise bazı seviyelerde olgunlaşmamış-erken olgun evrede olduğu tespit edilmiştir (Espitalie vd., 1984), (Çizelge 2).

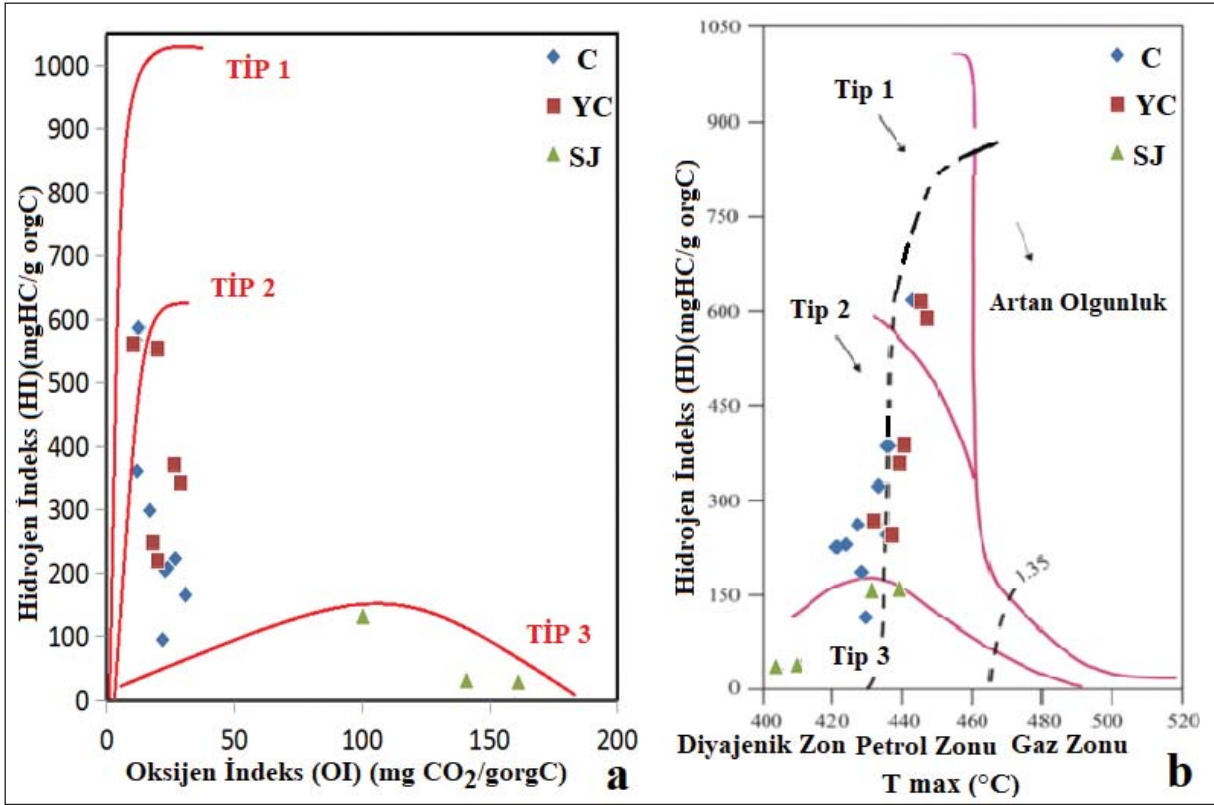
### 4.2. Element Jeokimyası

Major (>% 0.1), minör (> 100 ppm <% 0.1) ve iz (<100 ppm) elementlerin jeokimyasal dağılımı ortamda çökelen sedimanların jeokimyasal özelliklerini yansıtmaktadır. Oluşum ortamını belirlemede elementlerin bolluklarının kullanılması tek başına yeterli olmamasına rağmen (Degens vd., 1958), paleo-ortam koşullarını belirlemek için ortama element katılımına etkisi olan çevre sularından, organik ve inorganik maddelere kadar adsorblanan tüm etmenler göz önüne alınmaktadır. Zenginleşen bu elementler birincil mineraller içinde veya yakın çevredeki sular içinde oluşan organik maddeler içinde tutunarak, sedimantasyon esnasında ya da sedimantasyondan hemen sonra ötijenik minerallerin bünyesine katılabilir (Cody 1971)

Bu çalışmada değerlendirilen örneklerin hepsi organik maddece zengin petrolü şeyllerden oluşmaktadır. Sorgun Havzası ÇFPS örneklerinin ana ve iz element içeriklerinin tespit edilmesinde ICP-MS yöntemi kullanılmış ve çizelgelerde ortalama değerleri hesaplanmıştır (Çizelge 3-4).

### 4.3. Element Zenginleşmeleri

Sorgun Havzası ÇFPS örneklerinin element zenginleşmeleri ortalama şeyl değerleri (Turekian ve Wedepohl 1961) baz alınarak ve  $[ZF_{\text{element}} X = (X/AI)_{\text{örnek}} / (X/AI)_{\text{standart}}]$  (Brumsack, 2006) formülü kullanılarak hesaplanmıştır. Bu hesaplamalara göre 1'den büyük olan değerler element zenginleşmesini, 1'den küçük



Şekil 4- a) ÇFPS'nin Hidrojen indekse (HI) karşı Oksijen İndeks (OI) grafiği (Espitalie vd., 1977) ve; b) ÇFPS'nin Hidrojen indekse (HI) karşı  $T_{max}$  grafiği (Mukhopadhyay vd., 1995)

Çizelge 1- ÇFPS'nin Toplam Organik Karbon (TOC) içeriğine göre kaynak kaya özellikleri.

Peters ve Cassa (1994)		Tissot ve Welte (1984)		Jarvie (1991)		ÖRNEK	TOC (%)	Kaynak Kaya Kalitesi
Corg (%)	Petrol Potansiyeli	TOC (%)	Kaynak Kaya Kalitesi	TOC (%)	Kaynak Kaya Kalitesi			
0-0.5	Zayıf	0.1-0.5	Zayıf	0-0.5	Yetersiz			
0.5-1	Orta	0.5-1	Orta	0.5-1	Orta	C	1.97-16.17	İyi-Çok İyi
1-2	İyi	1-2	İyi	>1	Yeterli	YC	2.14-14.85	Çok İyi
2-4	Çok İyi	2-10	Zengin			SJ	2.48-3.13	Çok İyi

Çizelge 2- ÇFPS'nin Kerojen tiplerine göre değişen  $T_{max}$  sınır değerleri (Espitalie vd., 1984)

Tip I	Tip II	Tip III	Olgunlaşma Derecesi	ÖRNEK	TMAX (°C)
	<425 °C	<435 °C	Olgunlaşmamış-Erken olgun	C	418-436
440-448 °C	425-450 °C	435-465 °C	Petrol penceresi	YC	427-439
	>450 °C	>465 °C	Gaz penceresi	SJ	404-433

olan değerler ise tüketilmesini temsil etmektedir (Çizelge 5). Bu hesaplamalara göre Turekian ve Wedepohl (1961)'un ortalama şeyl verilerine göre Si, Pb, U, As elementleri değerlendirilen hemen hemen tüm örneklerde zenginleşme göstermiştir.

Hesaplamalara göre özellikle zenginleşen elementler içerisinde uranyum elementinin 1,19 ile 153,7 kat aralığında zenginleşmesi ve değerlendirilen tüm örnekler içerisinde zenginleşmesi dikkate değerdir (Çizelge 5).

Çizelge 3- Sorgun Havzası ÇFPS örneklerinin ana element ortalamaları.

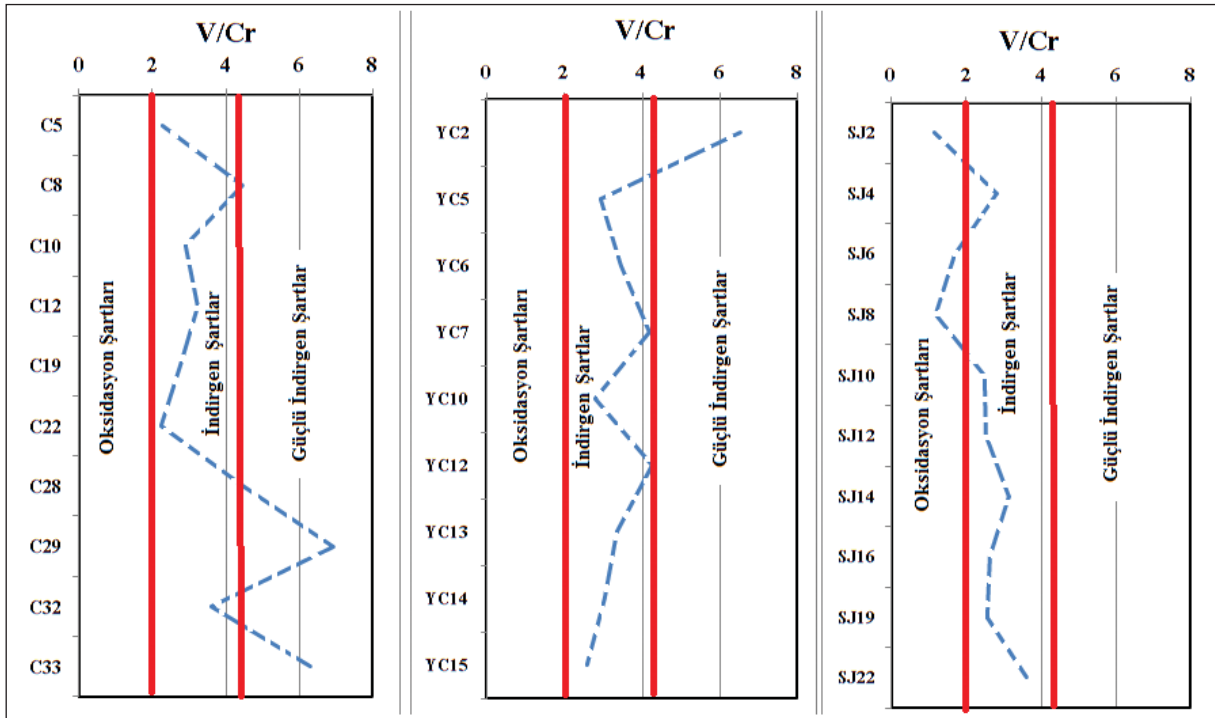
	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MgO	CaO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	TiO <sub>2</sub>	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	MnO	Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
Ç avr (n=10)	42.06	20.42	4.18	0.46	1.13	0.17	2.02	0.51	0.06	0.06	0.003
YÇ avr (n=9)	46.38	22.23	6.25	0.93	0.66	0.19	2.42	0.48	0.10	0.12	0.005
SJ avr (n=10)	59.94	13.72	4.63	1.28	4.73	1.14	3.91	0.52	0.10	0.06	0.005
ÇFPS Ortalaması	49.46	18.79	5.02	0.89	2.17	0.50	2.78	0.50	0.08	0.08	0.004

#### 4.4. Paleo-ortam Analizleri

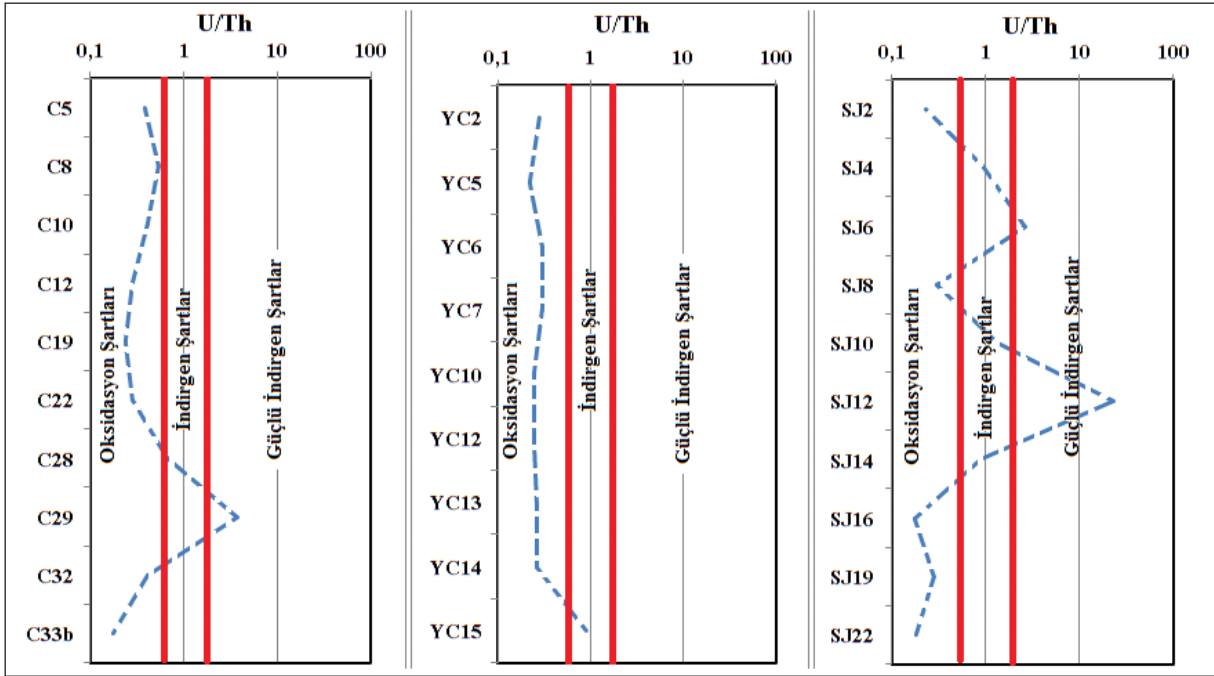
Paleo-ortam şartları organik maddenin korunumunda oldukça önemli rol oynamaktadır (Li vd., 2018). Bazı redoksa duyarlı iz elementler paleo-ortam şartlarını belirlemek için kullanılmaktadır. Bu makalede V/Cr, V/(V+Ni), U/Th,  $\delta U[\delta U=2U/(U+Th/3)]$  ve ötijenik uranyum ( $AU=U-Th/3$ ) gibi element oranları paleo-ortam şartlarını belirlemek için kullanılmıştır. V/Cr oranları 4.25'den büyükse güçlü indirgen şartları, 2-4.25 arasında ise indirgen şartları ve 2'den düşük ise oksidasyon ortamlarının temsil etmektedir (Teng vd., 2004). V/(V+Ni) oranı 0.5 den büyükse indirgen ortam, küçük ise oksidasyon şartlarını temsil etmektedir (Tribovillard vd., 2006). U/Th oranı 1.25 den büyükse güçlü indirgen şartları, 0.75-1.25 arası indirgen şartları ve 0.75 den düşük ise oksidasyon şartlarını temsil etmektedir (Ernst,

1970; Jones ve Manning, 1994).  $\delta U$  değerleri 1'in altında oksidasyon şartlarını 1'in üzerinde ise indirgen ortam şartlarını göstermektedir (Zhao vd., 2016). AU değerleri 12 ppm den fazla ise güçlü indirgen şartlarda, 5-12 ppm arasında indirgen şartlarda, 5 ppm'in altında ise oksidasyon şartlarındadır (Teng vd., 2005; Deng ve Qian, 1993).

Bütün bu parametrelere göre ÇFPS'nin paleo-ortam hesaplamaları çizelge 6'da listelenmiştir. ÇFPS örneklerinin ortalama V/Cr, V/(V+Ni), U/Th,  $\delta U$  ve AU değerleri sırasıyla 3.32; 0.89; 0.61; 1.10; 34.86 (Çizelge 6). Değerlendirme sonuçlarına ve V/Cr, U/Th'un derinliğe bağlı değişimlerine baktığımızda değişen sedimantasyon süreçlerinden ve şartlarından etkilenerek güçlü indirgen-indirgen ve oksidasyon şartlarına salınım gösterdiği görülmektedir (Şekil 5-6).



Şekil 5- V/Cr oranlarına göre ÇFPS'nin derinliğe bağlı redoks değişimleri.



Şekil 6- U/Th oranlarına göre ÇFPS'nin derinliğe bağlı redoks değişimleri.

#### 4.5. P4.5. Paleo-tuzluluk

Sr/Ba oranı çökel ortamının paleo-tuzluluğunu tespit etmek için kullanılmaktadır. Wang ve Wu (1983), Sr/Ba oranı 1'den büyük ise deniz suyunu, 1 ile 0.6 arasında acı suyu, 0.6'nın altında ise tatlı suyu ifade ettiğini belirtmişlerdir. ÇFPS örneklerinin Sr/Ba değeri 0.05 ile 1.27 arasında değişmekte olup havza ortalaması 0.57'dir. Bu değere göre havzaya genellikle tatlı suyun hakim olduğunu, zaman zamanda tuzlu ve acı suyunda etkili olduğu söylenebilir (Çizelge 6).

#### 4.6. Paleo-iklim

Paleo-iklim genellikle ayrışma, taşınma ve kaynak kaya kimyasından etkilenebilir (Zhang vd., 2011). Kimyasal alterasyon indeksi (CIA) paleo-iklim şartlarından etkilenebilir (Bai vd., 2015). CIA indeksi  $CIA=100 \times [Al_2O_3 / (Al_2O_3 + CaO^* + Na_2O + K_2O)]$  formülü ile hesaplanmaktadır (Cox vd., 1995).

CIA değeri 50-65 olduğunda sedimantasyon sırasında soğuk ve kurak iklim şartlarını yansıtmaktadır. 65-85 olan değer ılık ve nemli bir iklime işaret eder. Eğer bu değer 85 ile 100 arasında olursa ortam sıcak ve nemli iklim şartlarını temsil eder. ÇFPS örneklerinin CIA değerleri 32.98'den 96.55'e değişmektedir ve havza ortalaması ise 78.48'dir (Çizelge 6). Bu değer paleo-iklim şartlarının soğuk

ve kuraktan sıcak ve nemli ortama zaman zaman değiştiğini, ancak ortamın genellikle sıcak ve nemli bir iklim olduğunu göstermektedir.

Ayrıca Sr/Cu oranları paleo-iklim hakkında fikir verir, Sr/Cu oranı 1.3-5.0 ise, paleo-iklimin sıcak ve nemli olduğunu, 5'in üstünde olması paleo-iklimin kuru ve sıcak olduğunu ifade eder (Liang vd., 2015). ÇFPS örneklerinin Sr/Cu değerleri 3.46-114.04 arasında değişirken ortalama 20.87'dir. Bu değerlere göre paleo-iklimsel şartlar genellikle kuru ve sıcak ve zaman zamanda sıcak-nemli bir ortamı temsil etmektedir (Çizelge 6).

#### 4.7. Hidrotermal Depolanma Şartları

Hidrotermal akışkanlar ile alakalı sedimanlar hidrotermal depolanma olarak adlandırılmaktadır (Zhong vd., 2015). Hidrotermal akışkanların etkinliği sedimenter kayaçlar içerisine çökelen organik madde ve iz element konsantrasyonlarını etkileyebilir (Chu et al. 2016). Fe/Ti ve (Fe+Mn)/Ti oranları, sedimanlar içine hidrotermal bir katkıyı temsil etmektedir (Li vd., 2018). Fe/Ti oranı 20 den fazla ise ve (Fe+Mn)/Ti oranı  $20 \pm 5$ 'in üzerinde ise sedimanlara hidrotermal bir etkileşim söz konusudur (Boström, 1983). ÇFPS örneklerinin Fe/Ti ve (Fe+Mn)/Ti oranları dikkate alındığında zaman zaman hidrotermal akışkanların

Çizelge 4- Sorgun Havzası ÇFPŞ örneklerinin iz element ortalamaları.

	Ba	Sc	Co	Cs	Ga	Hf	Nb	Rb	Sn	Sr	Ta	Th	U	V	W	Zr	Mo	Cu	Pb	Zn	Ni	As	Cd	Sb	Bi
Ç avr (n=10)	724.1	7.1	10.6	22.5	25.1	5.0	18.2	142.9	4.5	228.8	1.0	63.0	45.6	74.1	34.5	187.0	3.3	18.7	104.1	100.5	7.9	28.6	0.3	0.8	2.7
YÇ avr (n=9)	370.4	12.0	17.4	20.8	26.9	3.8	13.7	153.3	4.5	185.9	0.8	49.4	13.4	112.6	27.8	132.9	4.0	27.8	72.0	166.0	12.4	34.5	0.4	0.5	2.4
SJ avr (n=10)	732.8	9.3	15.7	37.1	14.8	5.3	13.9	186.1	3.2	409.7	0.9	29.3	81.5	82.5	75.4	214.2	4.5	17.6	41.6	72.1	12.6	39.5	0.2	0.7	0.8
ÇFPŞ Ortalaması	609.1	9.5	14.5	26.8	22.2	4.7	15.3	160.8	4.1	274.8	0.9	47.2	46.9	89.7	45.9	178.0	3.9	21.4	72.6	112.9	11.0	34.2	0.3	0.7	2.0

Çizelge 5-Şeyl Ortalamasına göre element zenginleşmeleri (Turekian ve Wedepohl, 1961).

Şeyl Ortalamaya göre zenginleşme	Mn	Mg	Fe	Si	K	Ti	Ca	Na	Pb	Zr	P	Sr	Rb	U	Ba	Cu	Ni	As	V	Zn	Sb	Co	Mo	Cd
C5	0.75	0.24	0.42	<b>2.90</b>	0.85	0.74	0.62	0.31	<b>2.53</b>	<b>1.66</b>	0.31	0.73	<b>1.02</b>	<b>3.64</b>	0.89	0.26	0.08	<b>1.10</b>	0.40	0.67	0.17	0.51	0.08	0.28
C8	<b>2.27</b>	0.30	<b>1.33</b>	<b>3.24</b>	0.94	0.59	<b>2.40</b>	0.32	<b>2.97</b>	<b>1.47</b>	0.49	<b>1.48</b>	<b>1.09</b>	<b>5.68</b>	<b>1.21</b>	0.44	0.17	<b>3.82</b>	0.62	0.84	0.53	0.97	0.30	0.44
C10	0.27	0.23	0.70	<b>2.07</b>	0.54	0.52	0.16	0.10	<b>3.18</b>	0.76	0.55	0.58	0.81	<b>4.16</b>	0.52	0.46	0.18	<b>2.42</b>	0.50	<b>1.43</b>	0.38	0.64	0.15	0.67
C12	<b>1.19</b>	0.17	0.55	<b>2.15</b>	0.57	0.52	0.12	0.09	<b>2.46</b>	0.77	0.43	0.57	0.79	<b>2.65</b>	0.61	0.32	0.11	<b>1.98</b>	0.47	<b>1.41</b>	0.32	0.50	0.08	0.46
C19	0.37	0.15	0.43	<b>2.10</b>	0.57	0.61	0.08	0.07	<b>3.01</b>	0.90	0.20	0.52	0.81	<b>2.35</b>	0.60	0.29	0.11	<b>2.12</b>	0.46	0.57	0.21	0.54	0.06	0.21
C22	0.06	0.13	0.41	<b>2.89</b>	0.77	0.83	0.07	0.17	<b>3.49</b>	<b>2.08</b>	0.19	0.62	0.94	<b>2.92</b>	<b>1.00</b>	0.28	0.12	<b>1.71</b>	0.46	<b>1.33</b>	0.36	0.63	0.11	0.39
C28	0.03	0.07	0.14	<b>1.41</b>	0.22	0.44	0.06	0.02	<b>2.84</b>	0.42	0.15	0.36	0.67	<b>9.00</b>	0.21	0.34	0.01	0.28	0.21	0.13	0.34	0.04	0.20	0.07
C29	0.10	0.07	0.95	<b>1.27</b>	0.12	0.22	0.17	0.02	<b>19.69</b>	0.33	0.72	0.74	0.37	<b>85.78</b>	<b>7.34</b>	0.32	0.11	<b>3.99</b>	0.89	<b>2.22</b>	<b>1.97</b>	0.52	<b>1.07</b>	<b>2.15</b>
C32	0.07	0.07	0.41	<b>1.40</b>	0.25	0.49	0.09	0.02	<b>2.28</b>	0.60	0.05	0.40	0.66	<b>5.80</b>	0.22	0.15	0.03	<b>1.86</b>	0.32	0.29	0.29	0.23	0.33	0.15
C33b	0.04	0.06	0.16	<b>1.37</b>	0.18	0.38	0.07	0.02	<b>3.10</b>	0.30	0.10	0.34	0.54	<b>2.87</b>	0.18	0.26	0.03	<b>0.29</b>	0.33	0.19	0.14	0.15	0.27	0.17
YC2	0.05	0.08	0.46	<b>1.44</b>	0.21	0.40	0.07	0.02	<b>2.92</b>	0.32	0.17	0.27	0.57	<b>4.60</b>	0.20	0.36	0.05	<b>1.77</b>	0.44	<b>2.17</b>	0.36	0.77	0.70	0.67
YC5	<b>2.86</b>	0.32	<b>1.22</b>	<b>2.03</b>	0.52	0.60	0.32	0.06	<b>2.77</b>	0.88	0.51	0.50	0.74	<b>2.18</b>	0.55	0.26	0.09	0.97	0.46	0.71	0.20	0.50	0.07	0.25
YC6	0.48	0.16	0.39	<b>2.10</b>	0.54	0.56	0.11	0.06	<b>2.62</b>	0.82	0.41	0.47	0.79	<b>2.92</b>	0.54	0.32	0.13	<b>1.30</b>	0.47	0.75	0.26	0.55	0.11	0.32
YC7	0.18	0.19	0.52	<b>2.28</b>	0.59	0.55	0.15	0.08	<b>2.54</b>	0.87	0.65	0.56	0.82	<b>3.01</b>	0.61	0.42	0.11	<b>1.65</b>	0.49	<b>2.14</b>	0.20	0.99	0.14	0.99
YC10	0.36	0.28	0.52	<b>1.89</b>	0.53	0.41	0.14	0.11	<b>2.34</b>	0.39	0.58	0.32	0.72	<b>1.44</b>	0.36	0.62	0.20	<b>1.67</b>	0.73	0.59	0.29	0.77	0.16	0.21
YC12	0.56	0.32	0.74	<b>2.44</b>	0.56	0.39	0.17	0.08	<b>2.17</b>	0.46	0.43	0.48	0.80	<b>1.95</b>	0.47	0.39	0.15	<b>2.63</b>	0.69	0.71	0.20	0.56	0.33	0.25
YC13	0.84	0.26	0.63	<b>1.83</b>	0.51	0.39	0.12	0.09	<b>1.91</b>	0.40	0.32	0.38	0.74	<b>2.05</b>	0.37	0.45	0.12	<b>2.80</b>	0.68	0.68	0.21	0.42	0.28	0.21
YC14	0.64	0.35	0.56	<b>2.15</b>	0.59	0.50	0.12	0.27	<b>2.37</b>	0.45	0.28	0.42	0.79	<b>1.69</b>	0.42	0.51	0.13	<b>1.62</b>	0.73	<b>1.83</b>	0.22	0.43	0.18	0.33
YC15	0.17	0.35	0.70	<b>2.10</b>	0.59	0.44	0.13	0.13	<b>2.17</b>	0.42	0.51	0.43	0.82	<b>5.67</b>	0.41	0.59	0.21	<b>1.52</b>	0.74	0.51	0.09	<b>1.23</b>	0.12	0.56
SJ2	0.61	0.53	0.65	<b>4.69</b>	<b>1.42</b>	0.84	<b>3.16</b>	<b>1.11</b>	<b>1.49</b>	<b>1.60</b>	0.70	<b>1.67</b>	<b>1.37</b>	<b>1.78</b>	<b>1.94</b>	0.32	0.33	<b>1.12</b>	0.53	0.45	0.33	0.65	0.06	0.21
SJ4	<b>3.23</b>	<b>1.32</b>	<b>1.27</b>	<b>5.41</b>	<b>1.97</b>	0.70	<b>7.92</b>	0.25	<b>4.73</b>	<b>3.24</b>	0.74	<b>2.38</b>	<b>2.25</b>	<b>24.85</b>	<b>1.29</b>	0.42	0.22	<b>1.21</b>	0.76	<b>1.31</b>	0.45	<b>1.34</b>	0.05	0.28
SJ6	0.68	0.82	0.78	<b>3.92</b>	<b>1.35</b>	0.89	1.82	<b>1.58</b>	<b>2.51</b>	<b>1.49</b>	<b>1.03</b>	<b>1.49</b>	<b>1.55</b>	<b>23.10</b>	<b>1.65</b>	0.45	0.30	<b>2.44</b>	0.84	<b>1.05</b>	0.28	0.88	0.01	0.34
SJ8	<b>1.62</b>	0.74	0.94	<b>3.78</b>	<b>1.11</b>	<b>1.08</b>	<b>7.07</b>	<b>2.64</b>	<b>2.85</b>	<b>1.85</b>	<b>1.39</b>	<b>3.85</b>	<b>1.21</b>	<b>3.13</b>	<b>1.57</b>	0.23	0.18	<b>1.93</b>	0.74	0.61	0.53	<b>1.00</b>	0.01	0.44
SJ10	0.15	0.49	<b>1.09</b>	<b>3.02</b>	0.96	0.73	0.21	0.12	<b>3.25</b>	0.98	0.35	0.90	<b>1.47</b>	<b>9.62</b>	0.69	0.62	0.33	<b>6.90</b>	0.73	<b>1.96</b>	0.50	<b>1.12</b>	0.48	<b>1.25</b>
SJ12	0.07	0.37	0.55	<b>3.18</b>	0.96	0.72	0.17	0.18	<b>2.42</b>	<b>1.09</b>	0.28	0.90	<b>1.18</b>	<b>153.7</b>	0.74	0.66	0.17	<b>6.88</b>	0.71	0.82	<b>1.88</b>	0.64	<b>3.22</b>	0.59
SJ14	0.09	0.31	0.30	<b>5.97</b>	<b>1.54</b>	0.66	0.12	<b>1.03</b>	<b>1.19</b>	<b>1.41</b>	0.38	<b>1.36</b>	<b>1.49</b>	<b>5.32</b>	<b>1.67</b>	0.14	0.07	<b>4.87</b>	0.41	0.36	0.33	0.81	0.07	0.18
SJ16	0.18	0.43	<b>1.05</b>	<b>4.80</b>	<b>1.27</b>	0.92	0.13	0.62	<b>1.16</b>	<b>1.83</b>	0.28	<b>1.08</b>	<b>1.50</b>	<b>1.26</b>	<b>1.11</b>	0.30	0.09	<b>3.37</b>	0.77	0.54	0.59	0.55	0.04	0.17
SJ19	0.23	0.47	0.59	<b>3.78</b>	<b>1.62</b>	0.88	0.18	0.88	<b>1.51</b>	<b>1.55</b>	<b>1.09</b>	<b>1.58</b>	<b>1.67</b>	<b>2.11</b>	<b>2.13</b>	0.32	0.15	<b>1.79</b>	0.62	0.63	0.25	0.63	0.02	0.14
SJ22	0.17	0.54	0.55	<b>4.88</b>	<b>1.55</b>	0.71	0.17	<b>1.61</b>	<b>1.32</b>	<b>1.37</b>	0.78	<b>1.57</b>	<b>1.36</b>	<b>1.19</b>	<b>2.04</b>	0.20	0.07	<b>1.74</b>	0.38	0.53	0.28	0.61	0.01	0.16
ÇFPŞ Ortalaması	0.63	0.34	0.66	<b>2.84</b>	0.81	0.61	0.90	0.42	<b>3.10</b>	<b>1.06</b>	0.48	0.93	<b>1.02</b>	<b>12.98</b>	<b>1.09</b>	0.37	0.14	<b>2.34</b>	0.57	0.95	0.42	0.66	0.30	0.43
Dünya Ortalama Şeyl (Element/Al)	96.00	0.19	0.59	0.91	0.33	0.05	0.28	0.12	2.50	20.00	0.01	37.50	17.50	0.46	72.50	5.63	8.50	1.63	16.25	11.8	0.19	2.38	1.38	0.08



Çizelge 6- ÇFPŞ örneklerine ait tüm örneklerin paleo-sedimanter ortam parametreleri.

	V/Cr	V/(V+Ni)	U/Th	δU	AU	Sr/Ba	CIA	Sr/Cu	Fe/Ti	(Fe+ Mn)/Ti	Zr/Rb
C5	2.30	0.90	0.38	1.07	2.07	0.42	75.66	18.44	6.43	6.65	1.85
C8	4.46	0.87	0.54	1.23	6.07	0.63	58.84	22.34	24.97	25.82	1.54
C10	2.92	0.84	0.41	1.10	3.53	0.59	88.06	8.52	14.94	15.05	1.08
C12	3.25	0.89	0.28	0.91	-2.73	0.48	87.88	11.87	11.58	12.08	1.11
C19	2.75	0.89	0.24	0.83	-5.53	0.45	87.99	11.80	7.96	8.09	1.28
C22	2.25	0.88	0.28	0.92	-2.53	0.32	84.30	14.76	5.52	5.54	2.53
C28	4.46	0.97	0.65	1.32	35.00	0.87	94.70	6.96	3.43	3.45	0.72
C29	6.92	0.94	3.69	1.83	224.23	0.05	96.55	15.45	48.32	48.42	1.00
C32	3.62	0.95	0.41	1.10	4.40	0.97	93.34	18.29	9.36	9.39	1.05
C33b	6.31	0.95	0.18	0.69	-18.47	1.00	95.28	8.81	4.76	4.78	0.63
YC2	6.54	0.95	0.29	0.92	-4.17	0.69	94.88	5.04	12.92	12.94	0.65
YC5	2.96	0.91	0.22	0.80	-5.47	0.47	86.07	12.94	22.84	23.91	1.37
YC6	3.47	0.88	0.31	0.96	-1.47	0.45	88.79	9.83	7.75	7.94	1.18
YC7	4.19	0.89	0.31	0.96	-1.27	0.48	87.73	8.86	10.68	10.75	1.21
YC10	2.80	0.87	0.25	0.86	-2.90	0.46	88.61	3.46	14.00	14.19	0.61
YC12	4.28	0.90	0.25	0.85	-3.27	0.54	87.34	8.30	21.19	21.52	0.65
YC13	3.36	0.91	0.27	0.89	-3.07	0.53	88.46	5.62	18.15	18.63	0.61
YC14	3.05	0.91	0.26	0.88	-2.63	0.52	85.97	5.49	12.53	12.82	0.65
YC15	2.59	0.87	0.91	1.46	19.67	0.54	87.33	4.84	17.73	17.81	0.58
SJ2	1.15	0.76	0.23	0.82	-2.27	0.45	49.55	35.32	8.60	8.77	1.34
SJ4	2.83	0.87	0.97	1.49	35.33	0.96	32.98	37.38	20.16	21.18	1.64
SJ6	1.71	0.84	2.67	1.78	72.30	0.47	56.88	22.33	9.79	9.96	1.10
SJ8	1.19	0.89	0.30	0.95	-0.83	1.27	34.98	114.04	9.68	10.01	1.75
SJ10	2.48	0.81	1.33	1.60	28.57	0.68	80.30	9.71	16.67	16.72	0.76
SJ12	2.53	0.89		1.97	634.80	0.63	80.35	9.10	8.41	8.43	1.06
SJ14	3.14	0.92	0.90	1.46	10.07	0.42	70.16	66.42	4.97	5.00	1.08
SJ16	2.63	0.94	0.18	0.69	-3.70	0.51	74.64	24.02	12.62	12.66	1.40
SJ19	2.57	0.89	0.29	0.93	-1.37	0.38	70.51	33.06	7.38	7.43	1.06
SJ22	3.62	0.92	0.18	0.71	-3.50	0.40	67.92	52.12	8.58	8.63	1.15
ÇFPŞ Ortalaması	3.32	0.89	0.61	1.10	34.86	0.57	78.48	20.87	13.17	13.40	1.13

sedimentasyon esnasında element zenginleşmelerine katkı sağladığı görülmektedir (Çizelge 6).

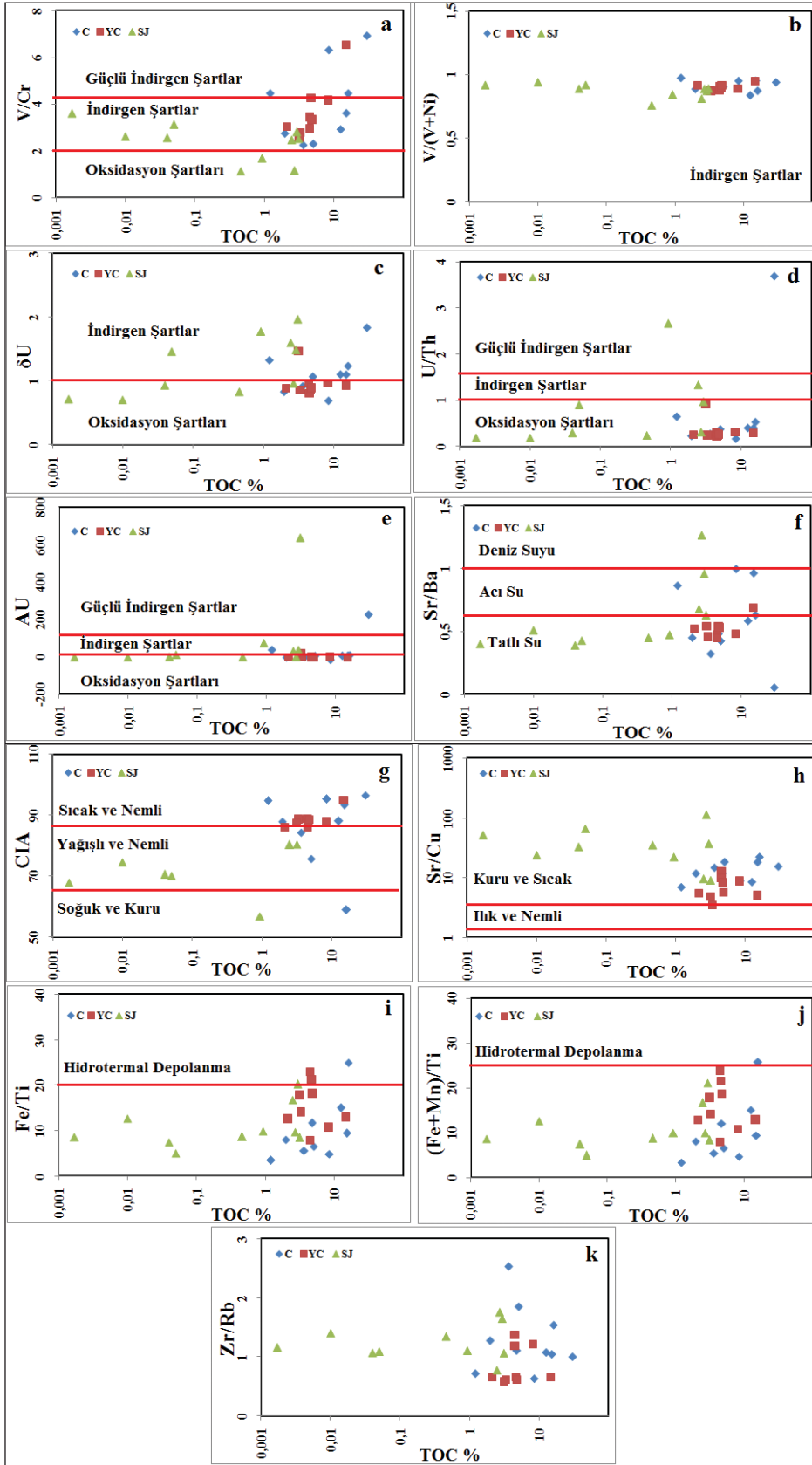
#### 4.8. Paleo-hidrokinamikler

Zirkon, tipik karasal ve sığ su ortamlarında çökelen inert bir elementtir. Aktif kimyasal özellikleri nedeniyle Rb yüksek enerji ile derin sular içine göç etme ve depolanma eğilimindedir (Teng vd., 2005). Bu nedenle su derinliğinde meydana gelebilecek değişikliklerin değerlendirilmesinde Zr/ Rb oranı kullanılabilir. Zr/Rb oranının daha düşük olması, daha derin sedimanter su döngüsü ve daha zayıf hidrokinamik kuvvetten kaynaklanmaktadır. Daha önceden yapılan çalışmalarda Zr/Rb oranı 0.92 civarında zayıf hidrokinamik gücü temsil ettiği, göreceli olarak daha yüksek olan 1.25 ve 4.76 gibi değerler ise güçlü paleo-hidrokinamik bir ortamı temsil ettiği şeklinde yorumlanmıştır (Teng, 2004; Zhao vd., 2016). ÇFPŞ örneklerinin Zr/Rb oranı 0.58

ile 2.53 arasında değişmekte olup havza ortalamasında 1.13 civarındadır. Bu değerlere göre havza içinde sedimentasyon esnasında zaman zaman zayıf zaman, zaman çok güçlü hidrokinamik gücün etkili olduğu görülmektedir (Çizelge 6).

#### 4.9. Petrollü Şeyller İçindeki Toplam Organik Karbonun (TOC) Birikiminde Paleo-ortam Şartlarını Kontrol Eden Faktörler

ÇFPŞ'ye ait paleo-ortam verileri (V/Cr, V/(V+Ni), U/Th, δU, Ötijenik Uranyum (AU), Sr/Ba, CIA, Sr/Cu, Fe/Ti, (Fe+Mn)/Ti ve Zr/Rb oranları) ortamda bulunan petrollü şeyllerin toplam organik karbon (TOC) içeriği ile tek tek ilişkilendirilmiştir (Şekil 7 a-k). Farklı noktalardan ve derinliklerden alınan örneklerin TOC ile olan ilişkisi farklılık sunmaktadır. Şekil 7 incelendiğinde V/Cr (a), CIA (g), Sr/Ba (f), Fe/Ti (i) ve (Fe+Mn)/Ti (j) oranlarının TOC ile pozitif korelasyona sahip olduğu görülmektedir. Bu verilere



Şekil 7- ÇFPŞ örneklerinin TOC (%) değerlerine karşı a) V/Cr, b) V/(V+Ni), c)  $\delta U$ , d) U/Th, e) Ötijenik Uranyum (AU), f) Sr/Ba, g) Kimyasal Alterasyon İndeksi (CIA), h) Sr/Cu, i) Fe/Ti, j) (Fe+Mn)/Ti ve k) Zr/Rb gibi paleo-sedimanter ortam parametreleri (Li vd., 2018).

göre ÇFPS örneklerinin organik madde korunumu ve yüksek indirgen ortam şartları ile uyumlu olduğu belirlenmiştir.

## 5. Sonuçlar

Çelték formasyonu petrollü şeyllere (ÇFPS) ait 29 adet örneğin toplam organik karbon (TOC) ve analiz element analizleri baz alınarak petrollü şeyllerin paleo-sedimanter ortam ve karakteristikleri ile paleo-sedimanter ortam ve toplam organik karbon (TOC) arasındaki ilişkileri değerlendirilmiştir. Örnekler %1.97 -16.17 (ortalama% 6.30) arasında TOC içeriğine sahiptir. Örneklerin organik karbon yüzdeleri baz alınarak kaynak kaya değerlendirmesi yapılmış ve buna göre çok iyi kaynak kaya özelliğine sahip olduğu, Tmax değerlerine göre ise genellikle petrol penceresinde ve olgunlaşmamış-erken olgun evreyi temsil ettiği belirlenmiştir. Turekian ve Wedepohl (1961)'un ortalama şeyl verilerine göre Si, Pb, U As elementleri hemen hemen tüm seviyelerdeki örnek noktalarında zenginleşme göstermiştir. Uranyum'un Oksik-suboksik şartlar altında, çözülebilir  $U^{+6}$  olarak bulunmaktadır. Bu da ortamda U'un zenginleşmesinin oksik ortamlarla sınırlı olmasını gerektirir. Fakat şekil 6'da çok yüksek katsayıda zenginleşen U'un güçlü indirgen şartlar ile uyumlu olduğu görülmektedir.

ÇFPS ait jeokimyasal verilerde V/Cr, V/(V+Ni), U/Th,  $\delta U$  ve Ötijenik Uranyum (AU) değerlerine göre, petrollü şeyllerin değişken paleo-ortam şartlarında çökeldiği te tespit edilmiştir. Paleo-tuzluluk için Sr/Ba oranları hesaplanmış ve örneklerin genellikle tatlı su ortamında çökeldiği tespit edilmiştir. ÇFPS'nin paleo-iklim verileri kimyasal alterasyon indeksi (CIA) ve Sr/Cu oranlarıyla hesaplanmış ve genellikle kuru-sıcak ortam koşullarında ve sıcak-nemli ortamlar içinde çökeldiği belirlenmiştir. Kimyasal ayrışma tipik olarak, sıcaklık arttıkça ve yağmur yağdıkça artar, bu da sıcak ve yağışlı iklimlerde bulunan kayaçların, soğuk ve kuru iklimlerde bulunan kayaçlardan daha hızlı kimyasal ayrışma oranları yaşadığı anlamına gelir. Ortam içindeki Fe/Ti ve (Fe+Mn)/Ti oranları ise, petrollü şeyllerin sedimantasyonu esnasındaki hidrotermal katkısından kaynaklanmaktadır. Zr/Rb oranları bakımından sedimantasyon dönemdeki paleo-hidrokinamikler zayıftır. TOC ve redoks element oranları arasındaki ilişkiler, paleo-ortam koşulların organik maddenin çökelişi için etkili rol oynadığına işaret eder. Değerlendirilen petrollü şeyl örnekleri içerisinde farklı jeokimyasal redoks koşullarının olması, ortamın su kimyası, çevre-iklim koşulları ve

göl yüzeyindeki organik üretkenliğin değişmesine neden olmaktadır.

## Katkı Belirtme

Bu çalışma Bozok Üniversitesi Proje Koordinasyon Uygulama Ve Araştırma Merkezi (Bilimsel Araştırma Projeleri Komisyonu) tarafından desteklenen 2015 MMF/180 kodlu Alt Eosen Yaşlı Çelték formasyonu (Sorgun Yozgat Türkiye) Oil Şeyllerin Organik Jeokimyası ve Nadir Toprak Element (NTE) Karakteristikleri projesi kapsamında çalışılmış olup katkı sağladığı için kurumuma teşekkür ederim.

## Değınilen Belgeler

- Achterberg, E. P., Van Den Berg, C. M. G., Boussemart, M., Davison W. 1997. Speciation and Cycling of Trace Metals in Esthwaite Water: A Productive English Lake With Seasonal Deep-Water Anoxia. *Geochim. Cosmochim. Acta*, Vol. 61, pp. 5233–5253.
- Bai, Y., Liu, Z., Sun, P., Liu R., Hu, X., Zhao, H., Xu, Y., 2015. Rare earth and major element geochemistry of Eocene fine-grained sediments in oil shale- and coal-bearing layers of the Meihe Basin, Northeast China. *J Asian Earth Sci.*, 97, Vol., 97, pp. 89–101.
- Beyazpırınç, M., Akçay, A.E., Tarhan, N., Sönmez, M.K., Havzoğlu, T., Bilgiç, T., Bademler, F., Ünal, M. 2014. Akdağmadeni masifi nin jeolojisi ve jeodinamik evrimi projesi 2011-2012 yıllarına ait ara rapor. Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü Rapor No: 11763, Ankara (yayımlanmamış).
- Boström, K. 1983. Genesis of ferromanganese deposits- diagnostic criteria for recent and old deposits. *Hydrothermal Processes at Seafloor Spreading Centers*, Springer, Berlin, pp 473–489
- Breit, G. N., Wanty, R. B. 1991. Vanadium accumulation in carbonaceous rocks: a review of geochemical controls during deposition and diagenesis. *Chemical Geology*, Vol. 91, pp. 83-97.
- Brumsack, H. J. 2006. The trace metal content of recent organic carbon-rich sediments: Implications for Cretaceous black shale formation; *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, Vol. 232, pp. 344–361.
- Calvert, S. E., Pedersen, T. F. 1993. Geochemistry of Recent oxic and anoxic marine sediments: implications for the geological record. *Marine Geology*, Vol. 113, pp. 67-88.

- Cicioğlu, E. 1995. Sorgun (Yozgat) Kömürlerinin Kimyasal ve Petrografik Özelliklerinin İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Hacettepe Üniversitesi, ANKARA
- Chu, C. L., Chen, Q. L., Zhang, B., Shi, Z., Jiang, H. J., Yang, X. 2016. Influence on formation of Yuertusi Source Rock by hydrothermal activities at Dongergou section, Tarim Basin. *Acta Sedimentol Sin.*, 34, Vol. 4, pp. 803–810.
- Cody, R. D. 1971. Adsorption and the reliability of trace elements as environmental indicators for shales. *J. Sediment. Petrol.*, Vol. 41, pp. 461-471.
- Cox, R., Lowe, D. R., Cullers, R. L. 1995. The influence of sediment recycling and +<sup>27</sup> States. *Geochim Cosmochim Acta*, 59, Vol. 14, pp. 2919–2940.
- Crusius, J., Calvert, S., Pedersen, T., Sage, D. 1996. Rhenium and molybdenum enrichments in sediments as indicators of oxic, suboxic and sulfidic conditions of deposition. *Earth Planet Science Letter*, Amsterdam, Vol. 145, pp. 65–78.
- Dean, W. E. 1993. Physical properties, mineralogy, and geochemistry of Holocene varved sediments from Elk Lake, Minnesota. In Bradbury J. P. and W. E. Dean (eds.), *Elk Lake, Minnesota: Evidence for Rapid Climate Change in the North-Central United States*. *Geol. Soc. America Spec. Paper* 276, Boulder (CO), pp. 135–157.
- Dean, W. E. 1997. Rates, timing, and cyclicity of Holocene eolian activity in north-central United States: Evidence from varved lake sediments. *Geology*, Vol. 25, pp. 331–334.
- Degens, E. T., Williams, E. G., Keith, M. L. 1958. Environmental studies of carboniferous sediments: part II. Application of geochemical criteria. *Bull J Immunol*. Vol. 42, pp. 981–997.
- Deng, H. W., Qian, K. 1993. Sedimentary geochemistry and environmental analysis. *Gansu Science And Technology Press*, Gansu (in Chinese).
- Dönmez, M., Bilgin, Z. R., Akçay, A. E., Kara, H., Yergök, A. F., Esentürk, K. 2005. *Türkiye Jeoloji Haritaları, Kırşehir-İ31 Paftası*, No: 46, Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü Yayını, Ankara.
- Erlor, A., Bayhan, H. 1993. *Orta Anadolu Granitoidleri*, Hacettepe Üniversitesi, Yer Bilimleri 25. Yıl Sempozyumu, Tebliğ, 20. Sayfa, Ankara.
- Ernst, T. 1970. *Geochemical Facies Analysis*, Elsevier, Amsterdam, pp. 152.
- Espitalie, J., Marquis, F., Borsony, I. 1984. Geochemical logging, in Voorhees, K. J., ed., *Analytical pyrolysis*: London, Butterworth and Co., Ltd., p. 276-304.
- Espitalie, J., Madec, M., Tissot, B., Mennig, J. J., Leplat, P. 1977. Source rock characterization method for exploration: *Proceedings, Ninth Annual Offshore Technology Conference*, Vol. 3, p. 439-444.
- Hatch, J. R., 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*, Vol. 99, pp. 65–82.
- Holland, H. D. 1984. *The Chemical Evolution of the Atmosphere and the Oceans*. Princeton University Press, 598 pp.
- Huerta-Diaz, M. A., Morse, J. W. 1992. Pyritization of trace metals in anoxic marine sediments. *Geochim. Cosmochim. Acta.*, Vol. 56, pp. 2681-2702.
- Jarvie, D. M. 1991. Total Organic Carbon TOC Analysis. Merrill, R. K., ed., *Source and Migration Processes and Evaluation Techniques*, Tulsa, American Association of Petroleum Geologists, pp. 113-118.
- Jones, B., Manning, D.A.C. 1994. Comparison of geochemical indices used for the interpretation of depositional environments in ancient mudstones. *Chem Geol.*, 111, Vol. 1–4, pp. 112–129.
- Klinkhammer, G.P., Palmer, M.R. 1991. Uranium in the oceans: Where it goes and why. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, Vol. 55, pp. 1799-1806.
- Koca, D. 2011. Nallıhan (Ankara, Türkiye) civarı bitümlü şeyllerinde organik madde ve iz element zenginleşmeleri. *Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı, Doktora tezi*, pp.392.
- Koca, D., Sarı, A., Engin, H., Koç, Ş., Yavuz, B. 2010. Şeyl türü kayaçların (Tekirler-Nallıhan/Ankara) redoks depolanma koşulları. 35. Yıl Jeoloji Sempozyumu, s. 111-112, 4-7 Ekim 2010, Konya.
- Koralay, D. B., Sarı, A. 2013. Redox Conditions and Metal-Organic Carbon Relations of Eocene Bituminous Shales (Veliler/Mengen-Bolu/Turkey). *Energy Sources, Part A*, Vol., 35, pp.1597-1607.
- Langmuir, D. 1978. Uranium solution metal equilibria at low temperatures with applications to sedimentary ore deposits. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, Vol. 42, pp. 547-569.
- Li, D., Li, R., Zhu, Z., Xu, F. 2018. Elemental characteristics of lacustrine oil shale and its controlling factors of palaeo-sedimentary environment on oil yield: a case from Chang 7 oil layer of Triassic Yanchang Formation in southern Ordos Basin. *Acta Geochim*, Vol. 37, 2, pp. 228–243.

- Liang, W. J., Xiao, C. T., Xiao, K., Lin, W. 2015. The relationship of Late Jurassic paleoenvironment and paleoclimate with geochemical elements in Amdo Country of northern Tibet. *Geol China*, 42, Vol. 4, pp.1079–1091 (in Chinese with English abstract)
- Morford, J. L., Emerson, S. 1999. The geochemistry of redox sensitive trace metals in sediments. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, Vol. 63, pp. 1735-1750.
- Morford, J. L., Russell, A. D., Emerson, S. 2001. Trace metal evidence for changes in the redox environment associated with the transition from terrigenous clay to diatomaceous sediment, Saanich inlet, B. C. *Marine Geology*, Vol. 174, pp. 355-369.
- Morse, J. W., Luther, G.W. 1999. Chemical influences on trace metal-sulfide interactions in anoxic sediments. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, Vol. 63, pp. 3373-3378.
- Mukhopadhyay, P. K., Wade, J. A., Kruge, M. A. 1995. Organic Facies and Maturation of Jurassic/Cretaceous Rocks and Possible Oil-Source Rock Correlation Based on Pyrolysis of Asphaltenes, Scotian Basin, Canada. *Organic Geochemistry*, Vol. 221, pp. 85-104.
- Özlük, M. 2010. Himmetoğlu Formasyonu (Bolu) Bitümlü Şeyllerinde Organik Karbon ve Cr, Fe, Mo, Mn ve V Elementlerinin İlişkilerinin İncelenmesi. Ankara Üniversitesi FBE, Jeoloji Mühendisliği ABD. Yüksek Lisans tezi 109s.
- Paillet, D., Bard, E., Rostek, F., Zheng, Y., Mortlock, R., Geen, A. 2002. Burial of redox-sensitive metals and organic matter in the equatorial Indian Ocean linked to precession. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, Vol. 66, pp. 849-865.
- Peters, K. E., Cassa, M. R. 1994. Applied source rock geochemistry. In: *The petroleum system- from source to trap*, L. B. Magoon and W. G. Dows eds., AAPG, Vol. 60, pp. 93-117.
- Rimmer, S. M. 2004. Geochemical paleoredox indicators in the Devonian Mississippian black shales, Central Appalachian Basin USA. *Chemical Geology*, Vol. 206, pp. 373-391.
- Robl, T. L., Barron, L. S. 1987. The geochemistry of black shales in central Kentucky and its relationship to inter-basinal correlation and depositional environment. In: *McMillan, A. F., Embry, A. F., Glass, D. G. (Eds.), Devonian of the World, Vol. II: Sedimentation*. Mem. Can. Soc. Pet. Geol., Vol.14, pp.377-396.
- Sarı, A., Koca, D. 2012. Jura - Kretase yaşlı Akkuyu Formasyonunun (Orta Toroslar/ Türkiye) provenans, tektonik ve redoks koşullarına bir yaklaşım. *Maden Tetkik ve Arama Dergisi*, Sayı 144, S.51-73.
- Sarı, A., Yavuz Pehlivanlı, B., Koca, D., Koç, Ş. 2010. During Triassic Paleoredox and Provenance Investigation of Rich Organic Matter Tarasçı Formation (Middle Taurus/Turkey), *Elec Lett Sci Eng*, Vol. 6, pp. 9-24.
- Sarı, A., Akkaya, P., Özakar, E. 2016. Kürnüç/Göynük-Bolu Alt Eosen Bitümlü Kayaçlarının Depolanma Ortamı ve Organik Jeokimyasal Karakteristikleri. *MTA Dergisi*, Sayı 152, S. 1-17.
- Templeton, G. D., Chasteen, N. D. 1980. Vanadium–fulvic acid chemistry conformational and binding studies by electron spin probe techniques. *Geochim. Cosmochim. Acta*, Vol. 44, pp. 741.
- Teng, G. E. 2004. The Distribution of elements, carbon and oxygen isotopes on Marine Strata and environmental correlation between them and hydrocarbon source rocks formation an example from Ordovician Basin, China. Graduate School of Chinese Academy of Sciences (Lanzhou Institute of Geology), Lanzhou.
- Teng, G. E., Hui, L. W., Xu, Y. C., Chen, J. F. 2005. Correlative study on parameters of inorganic geochemistry and hydrocarbon source rocks formative environment. *Adv Earth Sci.*, 20, Vol. 2, pp.193-200
- Teng, G. E., Liu, W. H., Xu, Y. C., Chen, J. F. 2004. Identification of effective source rocks of Ordovician marine sediments in Ordos Basin. *Prog Nat Sci.*, 14, Vol. 11, pp. 1249–1252 (in Chinese).
- Tissot, B., Welte, D. H. 1984. *Petroleum formation and occurrence: 2. edition* Springer-Verlag, Berlin, pp. 699.
- Tribouillard, N., Algeo, T. J., Lyons, T., Riboulleau, A. 2006. Trace metals as paleoredox and paleoproductivity proxies an update. *Chem Geol*, 232, Vol. 1–2, pp.12–32.
- Turekian, K. K., Wedepohl, K. H. 1961. Distribution of the elements in some major units of the Earth's crust. *Bull. Geol. Soc. America*, 72, Vol. 2, pp. 175-192
- Vine, J., Tourtelot, E. 1970. Geochemistry of black shale deposits a summary report. *Econ. Geo.*, Vol. 65, pp. 253-272.
- Wang, Y. Y., Wu, P. 1983. Geochemical criteria of sediments in the coastal area of Jiangsu and Zhejiang Provinces. *J Tongji Univ (Nat Sci)*, Vol. 4, pp.82–90 (in Chinese with English abstract)
- Wehrli, B., Stumm, W. 1989. Vanadyl in natural waters: Adsorption and hydrolysis promote oxygenation. *Geochim. Cosmochim. Acta*, Vol. 53, pp. 69–77.

- Wignall, P. B. 1994. Black Shales. Oxford Monographs on Geology and Geophysics No. 30, Oxford Scientific Publications, Oxford, U.K., pp.127.
- Yarincik, K. M., Murray, R. W., Lyons, T. W., Peterson, L.C., Haug, G.H. 2000. Oxygenation history of bottom waters in the Cariaco Basin, Venezuela, over the past 578,000 years: results from redox-sensitive metals (Mo, V, Mn, and Fe) Paleocyanography, 15, Vol. 6, pp.593–604. doi:10.1029/1999PA000401
- Yavuz Pehlivanlı, B. 2011. Hırka Formasyonu (Beypazarı, Ankara, Türkiye) Bitümlü şeyllerinin İnorganik element depolanmaları ve organik-inorganik elementler arasındaki kökensel ilişkiler. Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı, Doktora tezi, pp. 550
- Yavuz Pehlivanlı, B., Koç, Ş., Sarı, A. 2013. Geochemical Paleoredox Variations Dependent upon Depth of Samples Contain Rich Organic Matter in Hırka Formation, Beypazarı-Ankara, Turkey”, 33rd Oil Shale Symposium, October 14-18 2013. Colorado School of Mines Golden Colorado, USA. 49. p.
- Zhang, C. L., Gao, A. L., Liu, Z., Huang, J., Yang, Y. J., Zhang, Y. 2011. Study of character on sedimentary water and Palaeoclimate for Chang 7 oil layer in Ordos Basin. Nat Gas Geosci, 22, Vol. 4, 582–587 (in Chinese with English abstract).
- Zhao, B. S., Li, R. X., Wang, X. Z., Wu, X. Y., Wang, N., Qin, X. L., Cheng, J. H., Li, J. J. 2016. Sedimentary environment and preservation conditions of organic matter analysis of Shanxi formation mud shale in Yanchang exporation area, Ordos Basin. Geol Sci Technol Inf 35, Vol. 6, pp.103–111 (in Chinese with English abstract).
- Zheng, Y., Anderson, R. F., van Geen, A., Fleischer, M. Q. 2002. Remobilization of authigenic uranium in marinesediments by bioturbation. Geochimica et Cosmochimica Acta, Vol. 66, pp. 1759-1772.
- Zhong, D. K., Jiang, Z. K., Guo, Q., Sun, H. T. 2015. A review about research history, situation and prospects of hydrothermal sedimentation. Palaeogeogr 17, Vol. 3, 285–296 (in Chinese with English abstract).