



BAKIR YATAKLARI İLE PETROL VE DOĞALGAZ BİRİKİMLERİ ARASINDAKİ İLİŞKİ

Adil ÖZDEMİR*

¹Adil Özdemir Mühendislik ve Danışmanlık, Ankara
adilozdemir2000@yahoo.com, ORCID: 0000-0002-3975-2846

ÖZET

Sedimanter havzalar, hem metalik maden yatakları hem de fosil enerji kaynakları için değerli depolanma alanları içermektedir. Hem petrol ve doğalgaz kaynak kayalarının hem de ham petrol ve ürünlerinin yüksek miktarda metal içeriğine sahip olduğu bilinmektedir. Öncel çalışmalarda, işletilebilir boyutta yatak oluşturabilmiş metalik maden yataklarının petrol ve doğalgaz birikimleri için sığ ve güvenilir bir belirteç olduğunu belirtmiş ve metalik maden yatakları ile hidrokarbon birikimleri arasındaki oluşum ve tektonik ilişkileri gösteren bir diyagram sunulmuştur. Ayrıca, güncel çalışmalarda, altın, kurşun ve çinko yatakları ile hidrokarbon birikimleri arasındaki ilişki gösterilmiş ve işletilebilir boyuttaki Au ve Pb-Zn yataklarının bulunduğu bölgelerin petrol ve doğalgaz aramak için iyi bir referans olarak kullanılabileceği belirtilmiştir. Bakır yatakları ile hidrokarbon birikimleri arasında yakın bir ilişki olduğu birçok çalışmada tespit edilmiştir. Bu çalışmada, bakır yatakları ile hidrokarbon birikimleri arasındaki ilişkinin literatürdeki çalışmalar esas alınarak incelenmesi amaçlanmıştır.

Anahtar Kelimeler: bakır yatağı, bakır cevherleşmesi, hidrokarbon, petrol, doğalgaz

RELATIONSHIP BETWEEN COPPER ORE DEPOSITS WITH OIL AND GAS ACCUMULATIONS

ABSTRACT

Sedimentary basins contain valuable depositional areas for both metallic ore deposits and fossil energy resources. It is known that both oil and gas source rocks and crude oil and its products have high metal content. Previous studies have been stated that metallic ore deposits that can form operable-size deposits are a shallow and reliable indicator for oil and

*Sorumlu Yazar (Corresponding Author)

Atıf (Citation): Özdemir, A., "Bakır Yatakları ile Petrol ve Doğalgaz Birikimleri Arasındaki İlişki", UMÜFED Uluslararası Batı Karadeniz Mühendislik ve Fen Bilimleri Dergisi, 3(2): 72-89, 2021.

Geliş (Received): 21/07/2021

Kabul (Accepted): 19/09/2021

Yayın (Published): 31/12/2021

gas accumulations, and a diagram is presented showing the occurrence and tectonic relationships between metallic ore deposits and hydrocarbon accumulations. Besides, recent studies have shown the relationship between gold, lead and zinc deposits and hydrocarbon deposits, and it has been stated that the regions with operable-size Au and Pb-Zn deposits can be used as a good reference for oil and gas exploration. It has been determined in many studies that there is a close relationship between copper deposits and hydrocarbon accumulations. In this study, it is aimed to examine the relationship between copper deposits and hydrocarbon accumulations on the basis of studies in the literature.

Keywords: copper deposit, copper mineralization, hydrocarbon, oil, natural gas

1. GİRİŞ

Sedimanter havzalar, hem enerji kaynakları hem de birçok metalik maden yatağı için önemli bir depodur. İşletilebilir boyutta yatak oluşturabilmiş metalik maden yataklarının, petrol ve doğalgaz birikimleri için sığ ve güvenilir bir belirteç olduğunu gösteren ve hidrokarbon birikimleri ile metalik maden yatakları arasındaki oluşum ve tektonik ilişkileri gösteren çalışmalar mevcuttur [1]. Altın, kurşun ve çinko yatakları ile hidrokarbon birikimleri arasındaki ilişki gösterilmiş ve işletilebilir boyuttaki Au ve Pb-Zn yataklarının bulunduğu bölgelerin petrol ve doğalgaz aramak için iyi bir referans olarak kullanılabileceği belirtilmiştir [2,3]. Hidrokarbonlar ile bakır yatakları arasında yakın bir ilişki olduğu birçok çalışmada tespit edilmiştir. Kıtalara göre ilgili çalışmalar şu şekildedir; Kuzey Amerika kıtası: [4-8], Güney Amerika kıtası: [9-19], Avrupa kıtası: [20-27], Afrika kıtası: [28-34], Asya kıtası: [35-37], Avustralya kıtası: [38]. Genel amaçlı çalışmalar ise, [39-43] nolu referanslarda sunulmuştur.

Hem petrol ve doğalgaz kaynak kayalarının hem de petrol kaynaklarının yüksek miktarda metal içeriğine sahip olduğu da birçok çalışmada belirlenmiştir. Bölgesel ölçekte, hem bakır yatakları hem de hidrokarbon rezervuarları veya emareleri genel olarak havzanın aynı tektonik birimleri tarafından sınırlandırılmakta ve benzer yapılar (özellikle bölgesel antiklinal, dom veya paleo-yükselimler) tarafından kontrol edilmektedir. Çalışmanın sonuçları, diyajenez sırasında sediman gözeneklerinden ayrılan hidrokarbonların ve bakır cevherlerinin aynı hidrotermal akışkan tarafından birlikte taşınması ve biriktirilmesi sonucunda oluştuğunu, dolayısıyla, bakır cevherleri ve yan kayaçlardaki organik maddenin

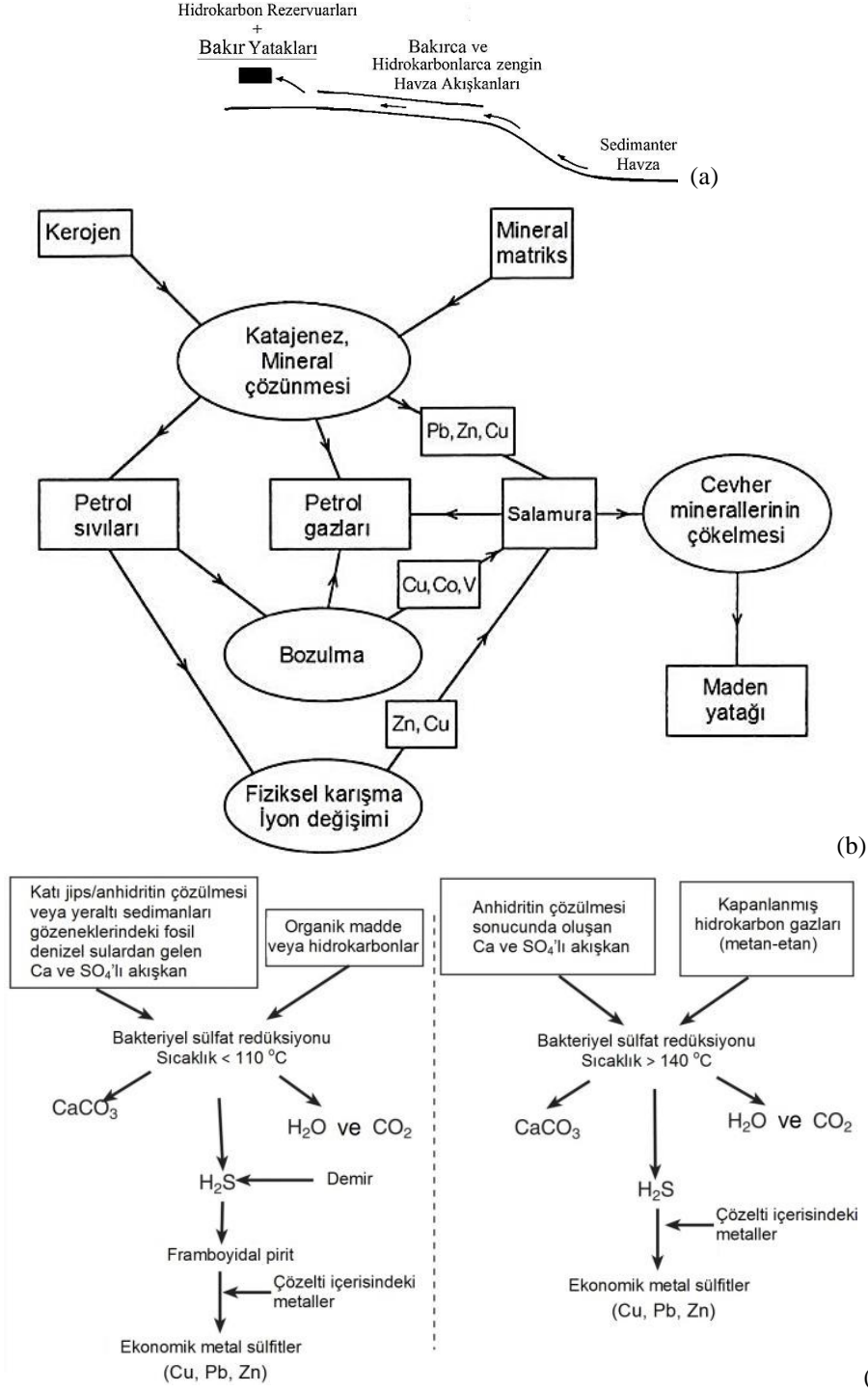
ortak bir kaynağa sahip olduğunu göstermektedir. Diğer bir ifade ile, bir sedimanter havzadaki organik maddece ve bakırca zengin sedimanlar, hem bakır yatakları hem de hidrokarbon rezervuarları için bir kaynak olarak kullanılmaktadır. Topoğrafik yükselme ve havzanın sıkışması sonucunda sıklaşan sedimanlardan türeyen bakır ve hidrokarbon içeren akışkanlar, akiferler boyunca göç etmekte; ana ve alt havzadaki faylar boyunca havzanın kenarlarına ve paleo-yükselime yönelmektedir. Böylece, farklı çökme ve kapanma mekanizmaları ile karakterize edilen havzanın farklı alt bölümlerindeki bakır yatakları ve hidrokarbon rezervuarlarını oluşturmaktadırlar. Bakır yatakları, faylar, kırık bölgeleri ve uyumsuzluk yüzeyleri ile cevherli akışkanların uygun jeokimyasal bariyerlerle karşılaştığı alanlarda çökmektedir. Hidrokarbonlar ise, stratigrafik, litolojik ve yapısal kapanlarda birikmektedir.

2. BAKIR YATAKLARI İLE HİDROKARBON BİRİKİMLERİ ARASINDAKİ İLİŞKİ

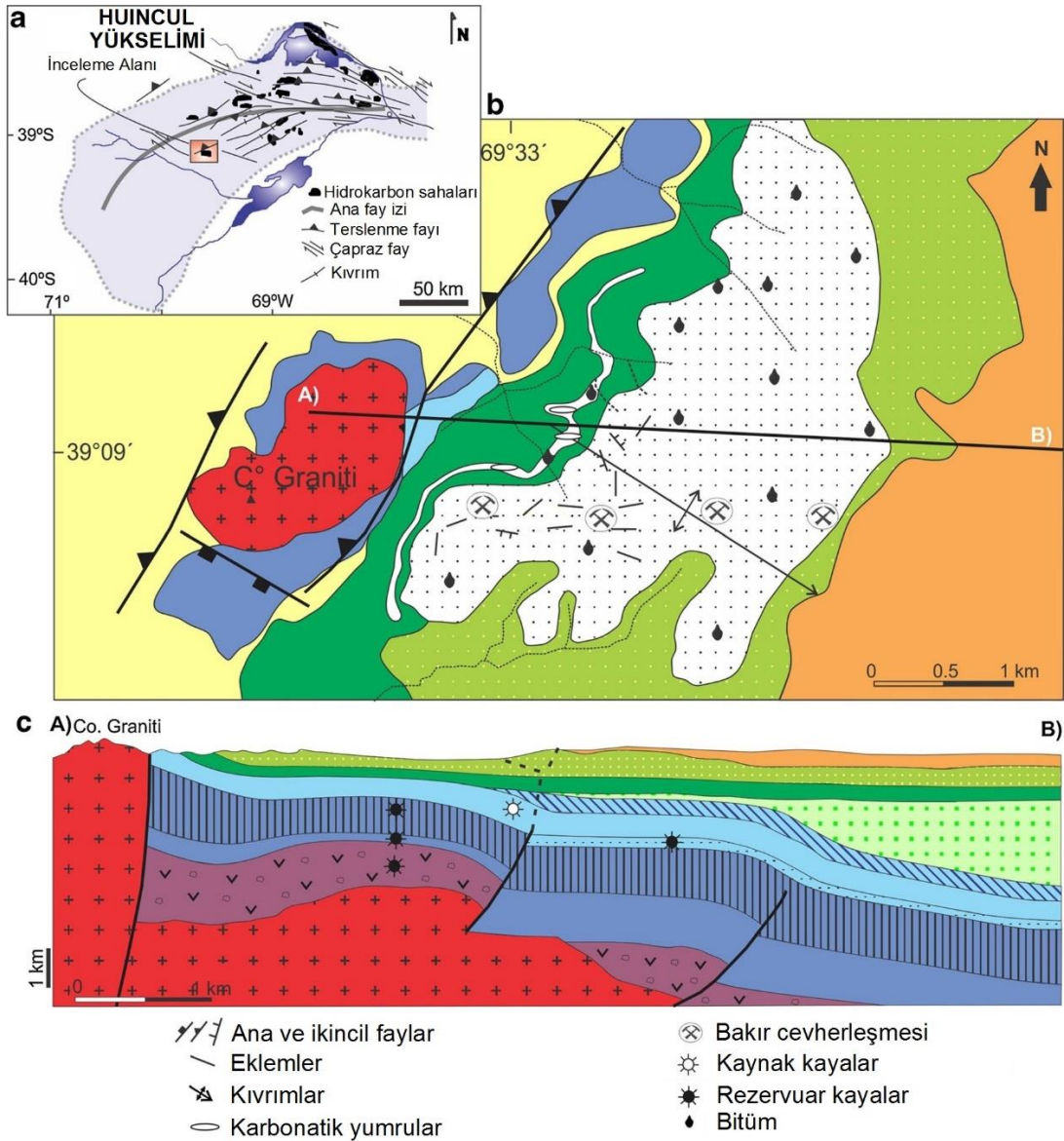
Öncel çalışmaların sonuçları ([1] ve giriş bölümündeki referanslar), aynı sedimanter havzadaki bakır yataklarının ve hidrokarbon rezervuarlarının, aynı sedimanter havzada oluşan bakır ve hidrokarbonların aynı akışkan tarafından havzaya birlikte taşınması ve biriktirilmesi sonucunda oluştuğunu göstermektedir (Şekil 1). Bir rift havzasında, derin su, organik madde ve bakırca zengin kayalar, hem bakır yatakları hem de hidrokarbon rezervuarları için kaynak olarak kullanılmıştır [1].

Bakır ve hidrokarbonlar, diyajenez sırasında gözeneklerden ayrılmış ve akışkanlarla birlikte taşınmıştır. Topoğrafik yükselme ve havzanın sıkışması sonucunda sıklaşan sedimanlardan türeyen bakır ve hidrokarbon içeren akışkanlar, akiferler boyunca yatay olarak göç etmiş ve bakır cevherleşmesi ile hidrokarbon birikiminin farklı çökme ve kapanma mekanizmaları ile gerçekleştiği ana ve alt havzadaki faylar boyunca havzanın kenarlarına ve paleo-yükselime dikey olarak yönelmiş ve bakır yatakları ve hidrokarbon rezervuarlarını oluşturmuştur. Bakır; faylar, kırık bölgeleri ve uyumsuzluk yüzeylerinde cevherli akışkanların uygun jeokimyasal bariyerlerle karşılaştığı alanlarda çökmüştür. Hidrokarbonlar ise, stratigrafik, litolojik ve yapısal kapanlarda birikmiştir. Farklı çökme ve kapanma mekanizmaları nedeniyle, bakır cevherleşmeleri ve hidrokarbon rezervuarlarının çökme ve birikme alanları bir dereceye kadar konumsal olarak farklıdır. Genç orojenezler, havza yükselmesine ve kıvrımlanmasına, havzadaki hidrokarbon rezervuarlarının bir kısmının

yüzeylemesine ve tahribatına, yaygın olarak ta yüzeyde bitüme dönüşmesine sebep olmuştur. Cevher ve yan kayaçlardaki organik madde ortak bir kaynağa sahiptir (Şekil 2-4).



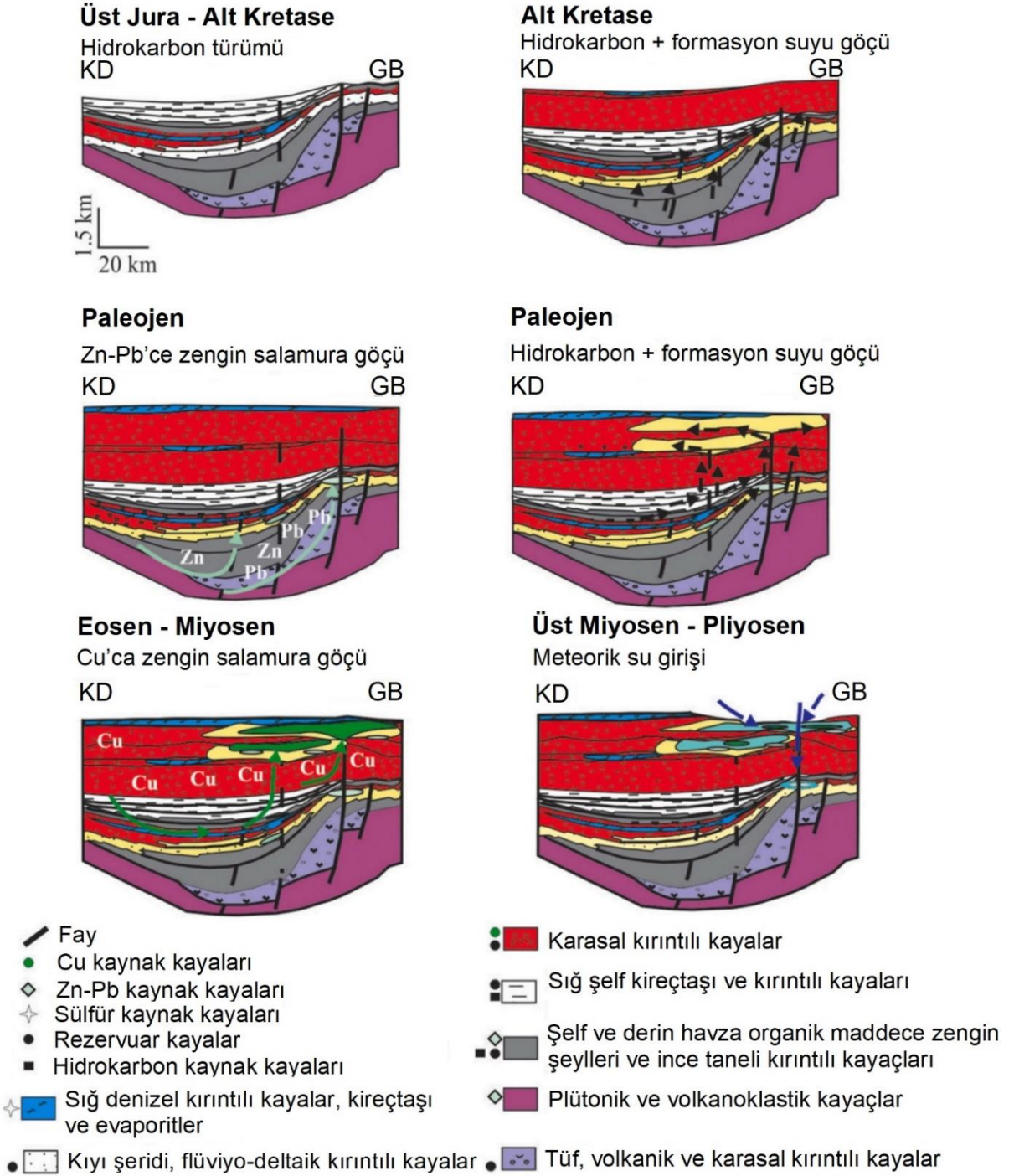
Şekil 1. (a) Sedimanter bir havzadaki oluşan bakırca ve hidrokarbonlarca zengin havza akışkanlarının göçü ile bakır yatakları ve hidrokarbon rezervuarlarının oluşumunun şematik gösterimi ([1]'den). (b) Hidrokarbonlar ve bakır yatakları arasındaki ilişki için önerilen modeller (b. [43]; c. [44]'den).



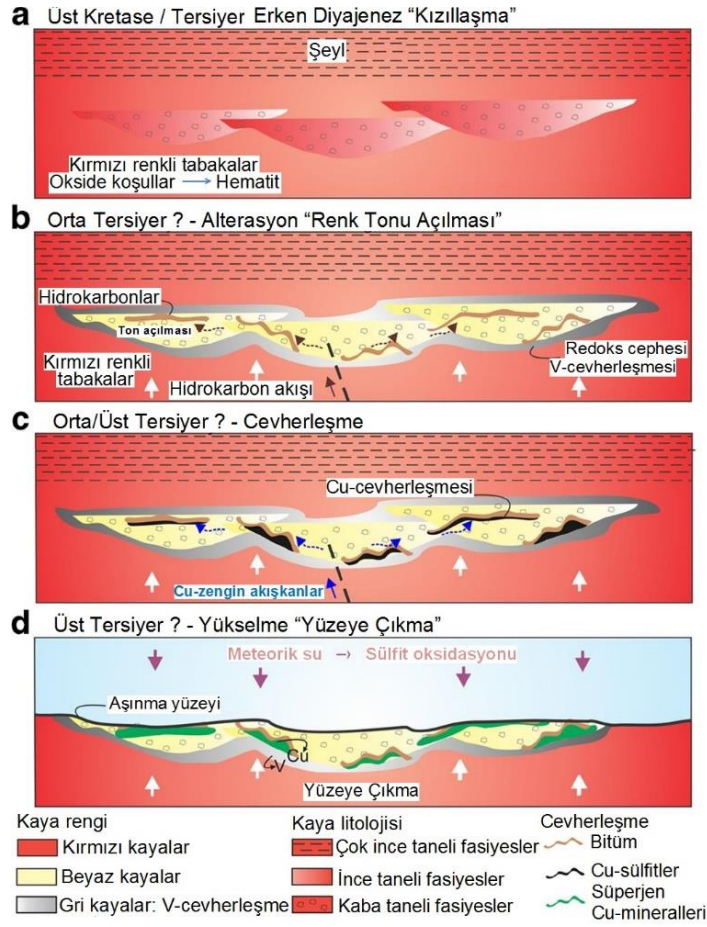
Şekil 2. Neuquén Havzası'nda (Arjantin) hidrokarbon birikimleri ile bakır cevherleşmesi arasındaki ilişkisi ([15,16]'den).

Yatakta, el numunesinde ve mikroskop ölçeğinde, bakır cevherleri konumsal olarak hidrokarbonlarla ilişkilendirilebilmektedir. Hidrokarbonlar, metalik maden yataklarında kerojen, bitüm, katı karbon, hidrokarbon gazı ve dahası kırıklarda ve sıvı kapanımlarda önemli miktarlarda serbest petrol gibi farklı biçimlerde ortaya çıkabilmektedir (Şekil 5) [4,6,7,9,14-16,19,35,45,46]. Bakır cevherleşmesi ile hidrokarbonlar/bitüm arasında parajenetik olarak çok yakın bir ilişki olduğu da bazı çalışmalarda belirlenmiştir (Şekil 6 - 8) [14-17,19,34]. Orta Pontidler'deki önemli rezervler içeren Türkiye'nin iki bakır işletmesinden ham cevher örnekleri alınmıştır. Alınan örneklerinde yapılan gaz kromatografi (GC)

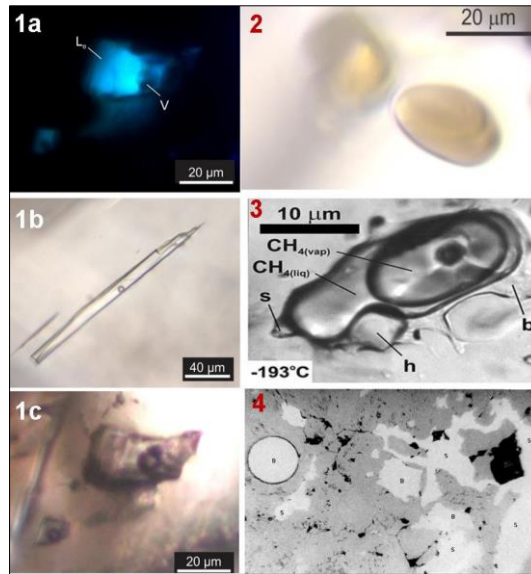
analizlerinde, örneklerin gaz kromatogramlarında C10 - C40 aralığında önemli miktarda petrol hidrokarbonları (Toplam Petrol Hidrokarbonları, TPH) tespit edilmiştir (Şekil 9) [46].



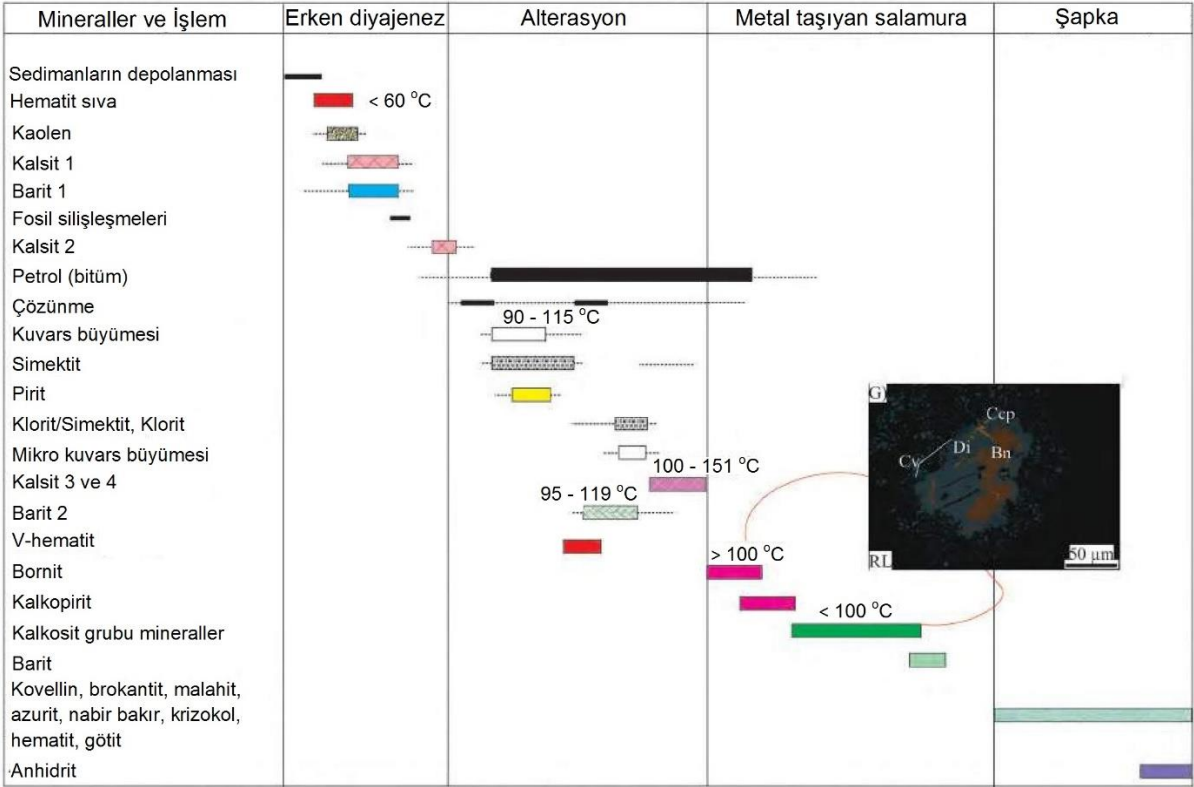
Şekil 3. Neuquen Havzası'nın (Arjantin) evrimini ve akışkan göç aşamalarını gösteren şematik diyagram [19].



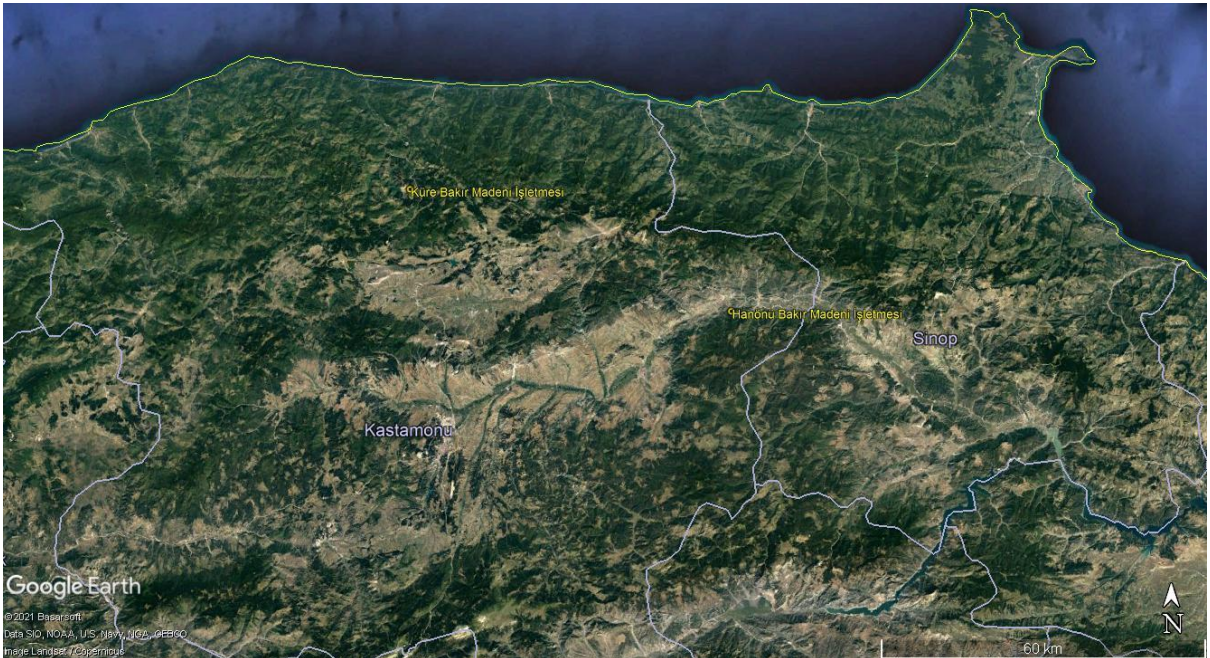
Şekil 4. Neuquén Havzası'ndaki (Arjantin) bakır yataklarının oluşum aşamaları ([15]'dan).



Şekil 5. Bakır yataklarındaki mikroskopik ölçekte görülen hidrokarbonlar. Hidrokarbon içeren sıvı kapanımların fotomikrografikleri (1a,b,c: [15]; 2: [45]; 3: [7]) ve bitüm (petrol) kalıntıları (4: [9]).



Şekil 8. Tordillos bakır yatağındaki parajenezin özeti [14].



Şekil 9. Alınan ham bakır cevheri örneklerinde C10 - C40 aralığında önemli miktarda petrol hidrokarbonları (Toplam Petrol Hidrokarbonları, TPH) tespit edilen Orta Pontidler'deki iki bakır işletmesi [46].

3. BAKIR YATAKLARI VE HİDROKARBONLARIN YAŞLARININ DOĞRUDAN BELİRLENMESİ VE BİRBİRİ İLE İLİŞKİLENDİRİLMESİ İÇİN RE-OS İZOTOP SİSTEMİNİN KULLANILMASI

Bakır yatakları ile hidrokarbonlar ilişkilendirilirken, kaynaklar ve yan kayaçlar arasındaki ilişkiyi bilmek önemlidir. Bakır ve hidrokarbon kaynakları, yaşıt veya farklı yaşlı olabilirler. Re-Os izotop sistemi, bu durumda belirli ölçülerde metamorfizma ve orojenezin (dağ oluşumunun) yapısal ilişkileri bozduğu sahalarda başarıyla kullanılabilir. Re-Os izotop sistemi, hem bakır yataklarının, hem de organik maddece zengin kayaçlar ile hidrokarbonların/petrollerin yaşlarının belirlenmesi için kullanılmaktadır [47-50]. Re-Os izotop sistemi, birçok çalışmada bakır yataklarının yaşlarının belirlenmesinde kullanılmıştır [51-65]. Bakır cevherleşmesi yaşının hidrokarbon türüm yaşı ile uyumlu olduğunu Re-Os izotop sistemi kullanılarak belirlendiği çalışmalarda vardır [51].

4. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada, bakır yatakları ile hidrokarbonların oluşumuna yol açan tektonik ve magmatik süreçlerin oldukça uyumlu olduğu görülmüştür. Dolayısıyla, bakır yatakları ile hidrokarbonların oluşumunun birbiri ile yakın ilişkili olduğu belirlenmiştir. Bu sayede, aynı havzada/bölgede bulunan bakır yatakları, hidrokarbon aramacılığında sıg ve güvenilir bir belirteç olarak kullanılabilir. Aynı havzadaki/bölgedeki bakır yatakları ile hidrokarbonlarda yapılacak Re-Os izotop analizlerinin birlikte değerlendirilmesi sonucunda, hem bakır yataklarının hem de hidrokarbonların jeolojik yaşlarının belirlenebileceği ve birbirleri ile ilişkilendirilebileceği kanaatine ulaşılmıştır. Ayrıca, Re-Os izotop analizleri ile hem bakır yataklarının hem de hidrokarbonların oluştuğu tektonik ortamlar hakkında da faydalı bilgiler elde edilebilir.

KAYNAKÇA

- [1] Özdemir, A., Palabıyık, Y., A shallow and reliable indicator for deep oil and gas accumulations in the subsurface: Metallic ore deposits. IV. Uluslararası Bilimsel ve Mesleki Çalışmalar Kongresi - Mühendislik Bilimleri (BILMES EN), 07 - 10 Kasım 2019, Ankara, 40-57, 2019.

- [2] Özdemir, A., Altın yatakları ile hidrokarbon birikimleri arasındaki ilişki. MTA Doğal Kaynaklar ve Ekonomi Bülteni, 31, 41-49, 2021.
- [3] Özdemir, A., Kurşun ve çinko yataklarının hidrokarbon aramacılığındaki rolü. Caucasian Journal of Science, 7 (1), 56-71, 2020.
- [4] Kelly, W.C., Nishioka, G.K., Precambrian oil inclusions in late veins and the role of hydrocarbons in copper mineralization at White Pine, Michigan. *Geology*, 13, 334-337, 1985.
- [5] Schmitt, L.J., A Review of the Association of Petroliferous Materials with Uranium and Other Metal Deposits in Sedimentary Rocks in the United States. U.S. Geological Survey Report, No. 1798, 18 p., 1988.
- [6] Mauk, J.L., Hieshima, G.B., Organic matter and copper mineralization at White Pine, Michigan, U.S.A. *Chemical Geology*, 99, 189-211, 1992.
- [7] Hanley, J.J., Mungall, J.E., Pettke, T., Spooner, E.T.C. and Bray, C.J., Ore metal redistribution by hydrocarbon-brine and hydrocarbon-halide melt phases, North Range footwall of the Sudbury Igneous Complex, Ontario, Canada. 40, 237-256, 2005.
- [8] Whitehead, A., Comparison of Sediment-Hosted Cu Mineralization Lisbon and Moab Fault Systems, Utah. The University of Arizona, MSc. Thesis, 64 p., 2019.
- [9] Zentilli, M., Munizaga, F., Graves, M.C., Boric, R., Wilson, N.S.F., Mukhopadhyay, P.K., Lloyd, R., Snowdon, L.R., Hydrocarbon involvement in the genesis of ore deposits: An example in Cretaceous stratabound (manto-type) copper deposits of Central Chile. *International Geology Review*, 39(1), 1-21, 1997.
- [10] Wilson, N.S.F., Zentilli, M., Spiro, B., A sulfur, carbon, oxygen, and strontium isotope study of the volcanic-hosted El Soldado manto-type Cu deposit, Chile: The essential role of bacteria and petroleum. *Economic Geology*, 98, 163-174, 2003.
- [11] Wilson, N.S.F., Zentilli, M., Association of pyrobitumen with copper mineralization from the Uchumi and Talcuna districts, central Chile. *International Journal of Coal Geology*, 65, 158-169, 2006.
- [12] Cisternas, M.E., Hermosilla, J., The role of bitumen in strata-bound copper deposit formation in the Copiapo area, Northern Chile. *Miner Deposita*, 41, 339-355, 2006.

- [13] Rieger, A., Schwark, L., Cisternas, M.E., Miller, A.H., Genesis and evolution of bitumen in Lower Cretaceous lavas and implications for strata-bound copper deposits, North Chile. *Economic Geology*, 103, 387-404, 2008.
- [14] Pons, M.J., Franchini, M.B., Rainoldi, A.L., Cesaretti, N.N., Giusiano, A., The roll of hydrocarbons in the copper, zinc and lead mineralization of Mesozoic rocks from Neuquén Basin (Argentina). XX Congreso Geologico Argentino, San Miguel de Tucuman, August 2017 (Tam metin bildiri ve poster), 2017.
- [15] Rainoldi, A.L., Franchini, M.B., Boyce, A.J., Giusiano, A., Cesaretti, N.N., Pons, J., Ríos, F.J., Stable isotope and fluid inclusion study of sediment-hosted stratiform copper deposits from the Neuquén Basin, Argentina. *Mineralium Deposita*, 54(3), 415-436, 2019.
- [16] Rainoldi, A.L., Franchini, M., Beaufort, D., Mozley, P., Giusiano, A., Nora, C., Patrier, P., Impiccini, A., Pons, J., Mineral reactions associated with hydrocarbon paleomigration in the Huincul High, Neuquén Basin, Argentina. *GSA Bulletin*, 127 (11-12), 1711-1729, 2015.
- [17] Rainoldi, A.L., Franchini, M., Beaufort, D., Patrier, P., Mozley, P., Giusiano, A., Impiccini, A., Pons, J., Large-scale bleaching of red beds related to upward migration of hydrocarbons: Los Chihuidos High, Neuquen Basin, Argentina, *Journal of Sedimentary Research*, 84, 373-39, 2014.
- [18] Herazo, A., Reich, M., Barra, F., Morata, D., del Real, I., Pagès, A., Assessing the role of bitumen in the formation of stratabound Cu-(Ag) deposits: Insights from the Lorena deposit, Las Luces district, northern Chile. *Ore Geology Reviews*, <https://doi.org/10.1016/j.oregeorev.2020.103639>, 2020.
- [19] Pons, M.J., Franchini, M., Rainoldi, A.L., Giusiano, A., Cesaretti, N.N., Montagna, A.O., and Herrington, R., Base metal mobility linked to brine and hydrocarbon migration at the Huincul High in the Neuquen Basin, Argentina: Implications for the formation of sediment-hosted base metal deposits. *Journal of Geochemical Exploration*, 226, 106778, 2021.
- [20] Jowett, E.C., Genesis of Kupferschiefer Cu-Ag deposits by convective flow of Rotliegend brines during Triassic rifting. *Economic Geology*, 81, 1823-1837, 1986.

- [21] Rasilainen, K., Hydrocarbons in the Säviä volcanic schist zone, central Finland. Bulletin of the Geological Society of Finland, 59 (1-2), 109-115, 1987.
- [22] Sawlowicz, Z., Organic matter and its significance for the genesis of the copper-bearing shales (Kupferschiefer) from the Fore-Sudetic monocline (Poland). In: J. Parnell et al. (eds). Bitumens in are Deposits, Springer-Verlag, Berlin, 431-446, 1993.
- [23] Sawlowicz, Z., Significance of metalloporphyrins for the metal accumulation in the copper-bearing shales from the Zechstein copper deposits, Poland. Mineralogia Poland, 16(2), 35-42, 1985.
- [24] Sun, Y.Z., Püttmann, W., The role of organic matter during copper enrichment in Kupferschiefer from the Sangerhausen basin, Germany. Organic Geochemistry, 31, 1143-1161, 2000.
- [25] Sawlowicz, Z., Gize, A.P., Rospondek, M., Organic matter from Zechstein copper deposits (Kupferschiefer) in Poland. in: M. Glikson and M. Mastalerz (eds.) Organic Matter and Mineralisation: Thermal Alteration, Hydrocarbon Generation and Role in Metallogenesis, 220-242, 2000.
- [26] Spieth, V., Schleuter, H.D., Kopp, J., Keith, S., and Swan, M., Permian Zechstein Kupferschiefer Black Shale in Germany – Drilling a Resource for Metals associated with Hydrocarbons. 2nd International Symposium on Energy Challenges & Mechanics, 19-21 August 2014, Aberdeen, Scotland, UK (Özet bildiri), 2014.
- [27] Oszczepalski, S., Speczik, S., Zieliński, K., Chmielewski, A., The Kupferschiefer deposits and prospects in SW Poland: Past, present and future. Minerals, 9, 592, 2019.
- [28] Selley, D., Broughton, D., Scott, R., Hitzman, M., Bull, S., Large, R., McGoldrick, P., Croaker, M., Pollington, N., Barra, F., A new look at the geology of the Zambian Copperbelt. In: Hedequist, J.W., Thompson, J.F.H., Goldfarb, R.J., Richards, J.P. (eds), Economic Geology One Hundredth Anniversary Volume 1905-2005. Society of Economic Geologists, 845-890, 2005.
- [29] Scott, R.J., David, S., Stuart, B., David, B., Murray, H., David, C., Ross, L., Peter, M., A hydrocarbon replacement model for the Zambian Copperbelt deposits, ASEG Extended Abstracts, 1, 1-7, DOI: 10.1071/ ASEG2006ab160, 2006.

- [30] Pons, H.A., Muchez, Ph., Dewaele, S., Boutwood, A., Tyler, R., The Stratiform copper mineralization of the Lufukwe Anticline, Lufilian Foreland, Democratic Republic Congo. *Geologica Belgica*, 10(3-4), 148-151, 2007.
- [31] Taylor, C.D., Causey, J.D., Denning, P.D., Hammarstrom, J.M., Hayes, T.S., Horton, J.D., Kirschbaum, M.J., Parks, H.L., Wilson, A.B., Wintzer, N.E., Zientek, M.L., Descriptive models, grade-tonnage relations, and databases for the assessment of sediment-hosted copper deposits-With emphasis on deposits in the Central African Copperbelt. Democratic Republic of the Congo and Zambia. U.S. Geological Survey Scientific Investigations, Report 2010-5090-J, 154 p., 2013.
- [32] Oummouch, A., Essaifi, A., Zayane, R., Maddi, O., Zouhair, M., Maacha, L., Geology and metallogenesis of the sediment-hosted Cu-Ag deposit of Tizert (Igherm Inlier, Anti-Atlas Copperbelt, Morocco). *Geofluids*, Article ID 7508484, 19 p., 2017.
- [33] Broughton, D.W., Geology and ore deposits of the Central African Copperbelt, Colorado School of Mines, PhD. Thesis, 174 p., 2014.
- [34] El Desouky, H.A., Muchez, Ph., Dewaele, S., Boutwood, A., Tyler, R., The Stratiform copper mineralization of the Lufukwe Anticline, Lufilian Foreland, Democratic Republic Congo. *Geologica Belgica*, 10(3-4), 148-151, 2007.
- [35] Glasby, G.P., Yamanaka, T., Yamamoto, J., Sato, H., and Notsu, K., Kuroko and hydrocarbon deposits from Northern Honshu, Japan: A possible common hydrothermal/magmatic origin?. *Resource Geology*, 54(4), 413-424, 2004.
- [36] Wang, F.D., Zhu, X.D., Wang, Z.G., Madouzi-type (nodular) sedimentary copper deposit associated with the Emeishan basalt. *Sci. China Earth. Sci.*, 54, 1880-1891, 2011.
- [37] Box, S.E., Syusyura, Boris, Seltmann, Reimar, Creaser, R.A., Dolgoplova, Alla, Zientek, M.L., Dzhezkazgan and associated sandstone copper deposits of the Chu-Sarysu Basin, central Kazakhstan. in Hedenquist, J.W., Harris, Michael, Camus, Francisco, eds., *Geology and genesis of major copper deposits and districts of the World-A tribute to Richard H. Sillitoe: Society of Economic Geologists Special Publication 16*, 303-328, 2013.

- [38] Rasmussen, B. and Krapez, B., Evidence of hydrocarbon and metalliferous fluid migration in the Palaeoproterozoic Earahedy Basin of Western Australia. *Journal of the Geological Society*, 157(2), 355-366, 2000.
- [39] Eugster, H.P., Oil shales, evaporites and ore deposits. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 49, 619-635, 1985.
- [40] Sverjensky, D.A., Oil field brines as ore-forming solution. *Economical Geology*, 17, 23-37, 1984.
- [41] Sverjensky, D.A., The role of migrating oil field brines in the formation of sediment-hosted Cu-rich deposits. *Economic Geology*, 82, 1130-1141, 1987.
- [42] Gorzhevskiy, D.I., On the role of organic matter in ore formation. *International Geology Review*, 29(2), 207-217, 1987.
- [43] Manning, D.A.C., Gize, A.P., The role of organic matter in ore transport processes. In *Organic Geochemistry: Principles and Applications*, M.H. Engel and S.A. Macko (eds), 547-563, 1993.
- [44] Warren, J.K., Evaporites, brines and base metals: low-temperature ore emplacement controlled by evaporite diagenesis. *Australian Journal of Earth Sciences*, 30, 179-208, 2000.
- [45] Birkeland, A., Ore petrography and fluid evolution in the Cu-(Zn) VMS deposits at Sulitjelma, Northern Norway. The Arctic University of Norway, Department of Geology, MSc. Thesis, 80 p., 2018.
- [46] Palabıyık, Y., Özdemir, A., Karataş, A., Özyağcı, M., Kastamonu ve Sinop (Orta Karadeniz) Civarının Petrol ve Doğal Gaz Potansiyelinin Suda TPH (Toplam Petrol Hidrokarbonları) Analizi Kullanılarak Belirlenmesi. İstanbul Teknik Üniversitesi, Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi, Proje No: MGA-2020-42587 (Yayımlanmamış), 2021.
- [47] Cohen, A.S., The rhenium-osmium isotope system: applications to geochronological and paleoenvironmental problems. *Journal of the Geological Society* 161, 729-734, 2004.

- [48] Marques, J.C., Overview on the Re-Os isotopic method and its application on ore deposits and organic-rich rocks. *Geochimica Brasiliensis*, 26(1), 49-66, 2012.
- [49] Stein, H., Hannah, J., Rhenium-Osmium Geochronology: Sulfides, Shales, Oils, and Mantle. *Encyclopedia of Scientific Dating Methods*. 1-25, DOI 10.1007/978-94-007-6326-5_36-1, 2014.
- [50] Özdemir, A., Palabıyık, A. Organik Maddece Zengin Kayaların ve Hidrokarbonların/Petrollerin Yaşlarının Doğrudan, Oluşum, Göç ve Birikme Koşullarının Belirlenmesi için Kullanılan İki Yeni İzotop Sistemi: Re-Os ve İyot-129 İzotopları. Doğru, M.S. (Editör), *Bilimin Doğası Üzerine Bir İnceleme*, İksad Yayınevi, 85-137, 2020.
- [51] Jingwen, M., Andao, D., The 982 Ma Re-Os age of copper-nickel sulfide ores in the Baotan area, Guangxi and its geological significance. *Science in China (Series D)*, 45(10), 911-920, 2002.
- [52] Requia, K., Stein, H., Fontboté, L., Chiaradia, M., Re-Os and Pb-Pb geochronology of the Archean Salobo iron oxide copper-gold deposit, Carajás mineral province, northern Brazil. *Mineralium Deposita*, 38(6), 727-738, 2003.
- [53] Selley, D., Broughton, D., Scott, R., Hitzman, M., Bull, S., Large, R., McGoldrick, P., Croaker, M., Pollington, N., Barra, F., A new look at the geology of the Zambian Copperbelt. In: Hedequist, J.W., Thompson, J.F.H., Goldfarb, R.J., Richards, J.P. (eds), *Economic Geology One Hundredth Anniversary Volume 1905-2005*. Society of Economic Geologists, 845-890, 2005.
- [54] Mathur, R., Titley, S., Ruiz, J., Gibbins, S. and Frieauf, K., A Re-Os isotope study of sedimentary rocks and copper-gold ores from the Ertsberg District, West Papua, Indonesia. *Ore Geology Reviews*, 26, 207-226, 2005.
- [55] Zheng, Y., Zhang, G., Xu, R., Gao, S., Pang, Y., Cao, L., Du, A., Shi, Y. Geochronologic constraints on magmatic intrusions and mineralization of the Zhunuo porphyry copper deposit in Gangdese, Tibet. *Chin. Sci. Bull.*, 52(22), 3139-3147, 2007.
- [56] Gregory, M.J., Wilde, A.R., Schaefer, B.F. and Keays, R.R., Potassic alteration and veining and the age of copper emplacement at Mount Isa, Australia. in Mao, J. and

- Bierlein, F.P. (Eds.), Mineral Deposit Research: Meeting the Global Challenge, 755-758, 2008.
- [57] Selby, D., Kelley, K.D., Hitzman, M.W., Zieg, J., Re-Os sulfide (bornite, chalcopyrite, and pyrite) systematics of the carbonate-hosted copper deposits at Ruby Creek, Southern Brooks Range, Alaska. *Economic Geology*, 104, 437-444, 2009.
- [58] Box, S.E., Syusyura, Boris, Seltmann, Reimar, Creaser, R.A., Dolgoplova, Alla, Zientek, M.L., Dzhezkazgan and associated sandstone copper deposits of the Chu-Sarysu Basin, central Kazakhstan. in Hedenquist, J.W., Harris, Michael, Camus, Francisco, eds., *Geology and genesis of major copper deposits and districts of the World-A tribute to Richard H. Sillitoe: Society of Economic Geologists Special Publication 16*, 303-328, 2013.
- [59] Mirnejad, H., Mathur, R., Hassanzadeh, J., Shafie, B., Noural, S., Linking copper mineralization to host porphyry emplacement: Re-Os ages of molybdenites versus U-Pb ages of zircons and sulfur isotope compositions of pyrite and chalcopyrite from the IJU and Sarkuh porphyry deposits in southeast Iran. *Economic Geology*, 108, 861-870, 2013.
- [60] Zhang, Y., Xing, S., Song, Q., Wang, Y., Yu, Z., Du, X., Ma, Y., Zhang, Z., Re-Os and U-Pb geochronology of porphyry and skarn types copper deposits in Jilin Province, NE China. *Resource Geology*, 65(4), 394-404, 2015.
- [61] Zhang, P., Zhao, Y., Kou, L., Yang, H., Yang, F., Zircon U-Pb and molybdenite Re-Os geochronology of copper-molybdenum deposits in southeast Liaoning Province, China. *International Geology Review*, 58(12), 1481-1491, 2016.
- [62] Akbulut, M., Oyman, Tolga, Çiçek, M., Selby, D., Özgenç, I., Tokçaeer, M., Petrography, mineral chemistry, fluid inclusion microthermometry and Re-Os geochronology of the Küre volcanogenic massive sulfide deposit (Central Pontides, Northern Turkey). *Ore Geology Reviews*, doi: 10.1016/j.oregeorev.2016.01.002, 2016.
- [63] Del Rio-Salas, R., Ochoa-Landin, L., Valencia-Moreno, M., Calmus, T., Meza-Figueroa, D., Salgado-Souto, S., Kirk, J., Ruiz, J., Mendivil-Quijada, H., New U-Pb and Re-Os geochronology of Laramide porphyry copper mineralization along the

- Cananea lineament, northeastern Sonora, Mexico: Contribution to the understanding of the Cananea copper district. *Ore Geology Reviews*, 81(3), 1125-1136, 2017.
- [64] Günay, K., Dönmez, C., Oyan, V., Baran, C., Çiftçi, E., Parlak, O., Yıldırım, N., Deng, X., Li, C., Yıldırım, E., Özkümüş, S., *Geology, geochemistry and Re-Os geochronology of the Jurassic Zeybek volcanogenic massive sulfide deposit (Central Pontides, Turkey)*. *Ore Geology Reviews*, 111, <https://doi.org/10.1016/j.oregeorev.2019.102994>, 2019.
- [65] Saintilan, N.J., Selby, D., Creaser, R.A., Dewaele, S., *Sulphide Re-Os geochronology links orogenesis, salt and Cu-Co ores in the Central African Copperbelt*. *Scientific Reports*, 8, 14946, 2018.