



Yenisofça Opal Oluşumlarının Jeolojisi ve Mineralojik Özellikleri - Eskişehir, KB Türkiye
Geology and Mineralogy of Yenisofça Opal Occurrences, Eskişehir – NW Turkey

Ayten Çalık

*Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü
Çanakkale, Türkiye*

• Geliş/Received: 20.12.2021 • Düzeltilmiş Metin Geliş/Revised Manuscript Received: 08.03.2022 • Kabul/Accepted: 08.03.2022
• Çevrimiçi Yayın/Available online: 13.05.2022 • Baskı/Printed: 31.08.2022

Araştırma Makalesi/Research Article

Türkiye Jeol. Bül. / Geol. Bull. Turkey

Öz: Bu çalışmada Yenisofça Köyü'nün (Eskişehir) kuzey batısında yüzeylenen Pliyosen yaşlı karbonatlı çakıltaşlarının içinde oluşmuş opal nodüllerinin (yumrularının) jeolojisi, mineralojik ve jeokimyasal özellikleri verilmiştir. Opal nodüllerine ev sahipliği yapan bej renkli karbonatlı çakıltaşları başlıca opal, ultramafik kayalar (başlıca serpantinitle) ve mikritik kireçtaşlarına ait çakıllardan oluşur. Başlıca süt beyaz, şeffaf ve gri renklerde olan opal nodülleri 2-30 cm boyutlarındadır. X-ışınları Difraksiyon (XRD) analiz sonuçlarına göre opallerin mineralojik bileşimi Opal-CT, kuvars, dolomit ve sepiyolit olarak belirlenmiştir. Opallerin taramalı elektron mikroskop (SEM) görüntülerinde küresel doku ile birlikte lifsi doku tespit edilmiştir. Opallerin SEM görüntülerindeki lifsi doku, sepiyolit minerallerinin lifsi dokularına benzerlik göstermektedir. Opal nodüllerine ait SEM ve tüm kayacın jeokimyasal analiz sonuçlarına göre opallerin bileşimi silikat olup, MgO değerleri diğer ana oksit değerlerine göre daha yüksek değerdedir. Arazi çalışmaları, jeokimyasal analiz sonuçları ve mineralojik veriler, opal nodüllerinin fay sistemleri boyunca hareket eden düşük sıcaklıklı, silis bakımından zengin hidrotermal akışkanlar tarafından sepiyolit nodüllerinin yerlerinin alınması ile oluştuğunu göstermektedir. Bu sonuç, Eskişehir – Kütahya bölgesinde mevcut ve bilimsel olarak çalışılmış opal oluşumlarının özellikleri ve oluşum şekilleri ile benzer ve uyumludur.

Anahtar Kelimeler: Eskişehir, Opal, sepiyolit, Yenisofça.

Abstract: This study presents the geology and mineralogy of the opal nodules which occur in the Pliocene carbonated conglomerates, NW of the Yenisofça village (Eskişehir, NW Turkey). The host-rock of opals consist of well-rounded pebbles, mainly opal, ultramafics (mainly serpentinites), and micritic limestones. The mainly white, transparent and grey colored opal nodules range from 2 to 30 cm in diameter. The X-ray diffraction (XRD) analyses revealed opal-CT, quartz, dolomite and sepiolite as the main mineral components of opals. Scanning electron microscope (SEM) images show that sphere and fibrous textures are found in opal nodules. The comparison of fibrous textures observed in the opal nodules with those observed in sepiolite nodules based on SEM images showed that there is a similarity between them. The major element composition of the opal by SEM and whole rock geochemical analyses reveal that the concentration of the MgO is higher than the other oxides in the opals. Field studies, geochemical analyses, and mineralogical data suggest that the Yenisofça opals could have formed by sepiolite replacement by low temperature silica-rich hydrothermal solutions that circulated along the fractures systems. This result is similar and coherent with the properties and formation of opal and cryptocrystalline quartz occurrences outcropping in the Eskişehir and Kütahya regions.

Keywords: Eskişehir, Opal, sepiolite, Yenisofça.

GİRİŞ

Süstaşları grubu içinde yer alan mineral ve kayaçlar, jeolojik açıdan ilginç olmalarının yanı sıra takı ve kuyumculuk sektörünün ana malzemesi olması nedeniyle de tüm dünyada ilginin her geçen gün arttığı grubu oluştururlar. Bu grup içinde yer alan ve özellikle eski çağlardan beri mücevher ve kuyumculuk sektöründe yaygın olarak kullanılan opal, $\text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$ formülü ile amorf (opal-A) veya düzensiz kristobalit/tridimit yapılarına (opal CT –Opal C) sahip doğal sulu silikadır. Opal yapısındaki %4-5 su içeriği %20' e kadar değişebilir. Opal, gemolojik olarak başlıca asil opal (has opal), ateş opal ve adi opal olmak üzere üç grupta gruplandırılır. Asil opal, sahip olduğu silis küreciklerinin diziliminden kaynaklanan kırmızı, turuncu, yeşil ve mavi renklerde parlak renk oyunu göstermesi nedeniyle değerlidir. Ateş opal, turuncu ve kırmızı arasında renk gösteren, adi opal ise süt beyaz, sarı, yeşil gibi renklerde olan opaldır ve renk oyunu göstermezler. Dünya'da en önemli asil opal (has opal) yatakları Avustralya (Queensland ve New South Wales) bölgesinde olup dünya üretiminin %95'ini karşılamaktadır. Diğer önemli ülkeler Meksika ve Macaristan'dır. Ateş opal ise Meksika (Querétaro bölgesi) başta olmak üzere Amerika Birleşik Devletleri, Türkiye, Avustralya, Endonezya, Somali, Kazakistan, Kanada ve Brezilya'da (Simoni vd., 2010) bulunur.

Opal mineralizasyonları ülkemizde özellikle volkanik arazilerde, başlıca; Eskişehir, Ankara, Kütahya ve Afyon olmak üzere KB Orta Anadolu'da birçok bölgede mevcuttur. Eskişehir bölgesi ve çevresi kriptokristalen kuvars (kalsedon, agat vb.) mineralizasyonlarında olduğu gibi opal mineralizasyonu bakımından da zengin bir bölgedir (Çalık ve Arzoğulları, 2014; Çalık, 2021). Bu yataklardan Eskişehir - Sivrihisar (Dumruca, Karacaköy, Karkın) çevresinde yüzeylenen opal ve agat yatakları (Atakay, 2002), Eskişehir –Dereyalak agat ve opalleri (Arzoğulları, 2007; Çalık ve Arzoğulları, 2008 ve 2014), Belkavak opalleri (Çalık, 2017), Kütahya -

Şaphane ve Karamancı köyü ateş opalleri (Esenli vd. 2001; Hatipoğlu, 2009; Uslu, 2011) ve Yazlıca agat ve opalleri (Çalık, 2021) ile ilgili birçok çalışma vardır.

Bu çalışma, Eskişehir ilinin güneybatısında yer alan Yenisoğça köyünün kuzeybatısında (Şekil 1) bulunan opal oluşumlarını kapsamaktadır. Yenisoğça opalleri olarak isimlendirilen opallerin jeolojisi, mineralojisi ve jeokimyasal özellikleri ilk olarak bu çalışma ile çalışılarak sonuçları verilmiştir.

TEMEL JEOLJİ

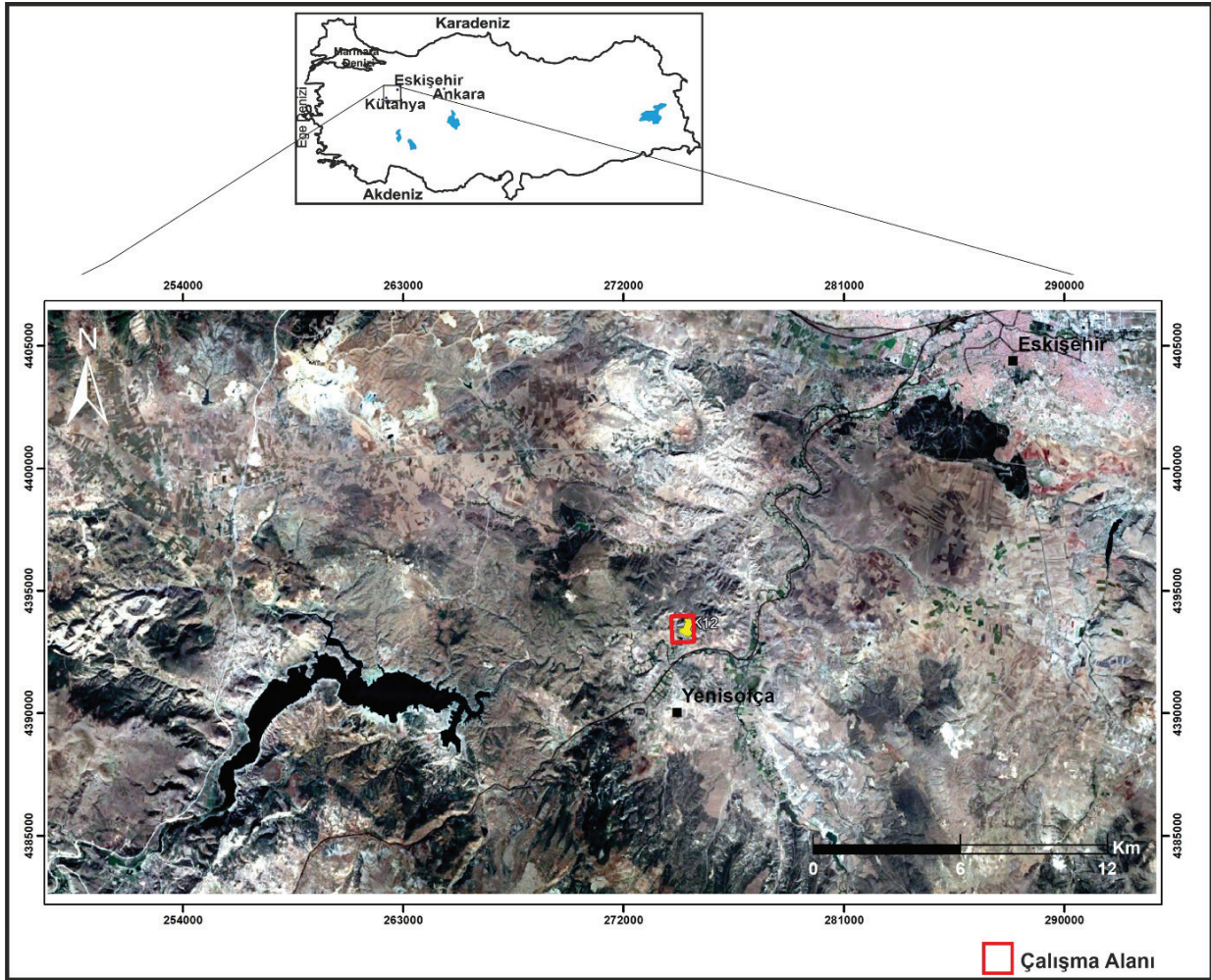
Eskişehir ilinin güneybatısında bulunan Yenisoğça Köyü'nün 3 km kuzeyinde yer alan (Şekil 1) opallerin yer aldığı çalışma alanı ve çevresi jeolojik olarak farklı kayaçlardan oluşan kaya birimlerini içermektedir. Üst Kretase yaşlı ofiyolitik birimler (genellikle serpantinit), Pliyosen (Gözler vd., 1996) yaşlı, çakıltaşı, kumtaşı, kiltası, tuf, marn ve kireçtaşı araldanmasından oluşan lav ara katkılı sedimanter ve volkanik birimler ile Kuvaterner yaşlı alüvyal birimlerden oluşur (Şekil 2).

Çalışma alanının temelini, Geç Kretase'de neo-Tetis'in kapanması sürecinde geliştiği düşünülen (Göncüoğlu vd., 2000) ofiyolitik birimler oluşturur. Çalışma alanında ofiyolitikler, yaygın olarak yüzeylenen serpantinitlerle temsil edilir. Yeşil renkli serpantinitler, başlıca serpantin mineralleri, kalıntı piroksen, olivin ve opak minerallerinden oluşur. Serpantinitlerde beyaz renkli, damarlar şeklinde manyezit ve sarı-kırmızımsı kahve renkli listvenitler izlenir.

Üst Kretase yaşlı ultramafik kayaçlar, çalışma alanı içerisinde çakıltaşı, kumtaşı, kiltası, tuf, marn ve kireçtaşı araldanmasından oluşan, lav ara katkılı Neojen sedimanter ve volkanik birimler tarafından uyumsuz olarak üzerlenir. Erken Eosen'de, Toros ve Sakarya kıtasal bloklarının çarpışma sonrasında, Batı Anadolu'da çarpışma sonrası meydana gelen volkanizma (Altunkaynak

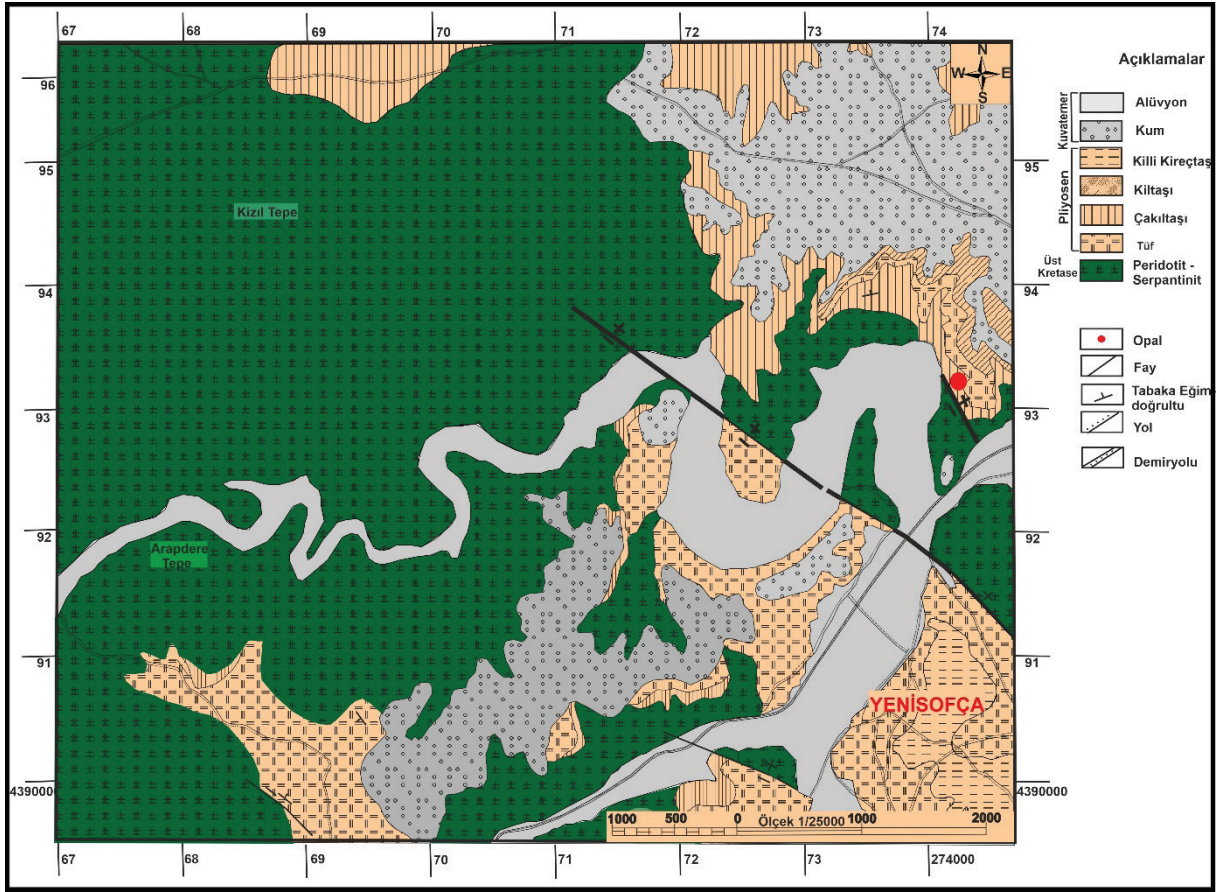
ve Özdilek, 2006) bölgesel ölçekte Geç Miyosen -Erken Pliyosen'de farklı zamanlarda, tüf ve volkanik breş (az miktarda), dasitik lav akıntıları, aglomera, riyodasit, trakiandezit ve trakit bileşimli ürünler vermiştir (Kulaksız, 1981). Bu volkanik aktivite etkisi, çalışma alanı çevresinde de felsik piroklastik kayalar (tüf) ve sedimanter birimlerle ara katkılı lav seviyeleri olarak görülür.

Yenisofça köyünün kuzeyinde yer alan opal oluşumları, çakıltaşları ile serpantinitle dokanağına yakın serpantinitle üzerine uyumsuz olarak gelen Pliyosen karbonatlı çakıltaşları içinde bulunurlar.



Şekil 1. Çalışma alanı bulduru haritası (<http://www.google.com/earth/-15.11.2021>'den düzenlenmiştir).

Figure 1. Location map of the study area (modified from <http://www.google.com/earth/-15.11.2021>).



Şekil 2. Çalışma alanı jeoloji haritası (Özcan vd., 1989'dan düzenlenmiştir).

Figure 2. The geological map of the study area (modified after Özcan et al. 1989).

MATERYAL ve YÖNTEM

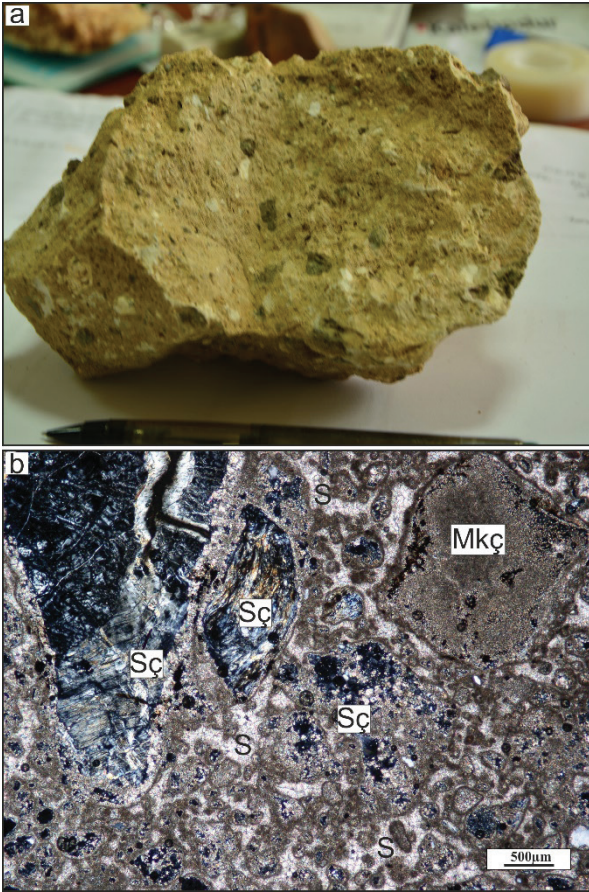
Yenisofça Opal Oluşumlarının jeolojisi ve mineralojik özelliklerinin belirlenmesi amacıyla yapılan çalışmada, arazi çalışmasında Eskişehir I24d2 1:25.000 ölçekli topoğrafya haritası kullanılmıştır. Yenisofça opalleri ve yan kayacın mikroskobik özelliklerini belirlenmek amacıyla ince kesitleri, Pamukkale Üniversitesi Jeoloji Mühendisliği Bölümü – ince kesit laboratuvarında gerçekleştirilmiştir. Opallerin mineralojik özelliklerini belirlemek için X ışını kırınım analizi (XRD), Kale Seramik ARGE merkezi laboratuvarlarında yapılmıştır. Opallerin, dokusu ve element dağılımlarını belirlemek için ise Taramalı Elektron Mikroskop (SEM) analizleri Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi, Bilim

ve Teknoloji Uygulama ve Araştırma Merkezi (ÇOBİLTUM) SEM TEM NMR AFM ve RAMAN laboratuvarlarında gerçekleştirilmiştir. Altın - Paladyum (%80 - 20) kaplama yapılmış örneklerin yüzey analizleri ve EDS sistemi ile element dağılımı analizleri JEOL SEM 7100F SEM cihazı ve - Oxford Instruments X-Max marka EDX dedektörü ile gerçekleştirilmiş, 20 kV voltaj uygulanarak fotoğrafları çekilmiştir.

Tüm kayaç analizleri; Acme Labs Acme Analitik Laboratuvar Hizmetleri – Kanada'da majör oksitler ICP-AES kullanılarak, iz element ve nadir toprak elementleri için ICP – MS kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Mikroskop incelemeleri Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi Jeoloji Mühendisliği Bölümünde yapılmıştır.

ARAZİ İLİŞKİLERİ ve MİNERALOJİK - JEOKİMYASAL KARAKTERİSTİKLERİ

Opallere ev sahipliği yapan Pliyosen yaşlı karbonatlı çakıltaşları; bej renkte, değişik boyutlarda köşeli, kısmen köşeli, başlıca serpantin, lisfenit, mikritik kireçtaşı çakılları ile opal yumrularından oluşur (Şekil 3a). İnce kesit incelemelerinde; çakıllarla birlikte kuvars, biyotit ve çok az feldispat kristalleri mikritik dolgu maddesi içinde sparitik, yer yer de mikritik kalsit çimentosu ile birlikte bulunurlar (Şekil 3b). Kayaç içinde izlenen kristallerin (kuvars, biyotit ve alkali feldispat) kristal sınırları genellikle köşelidir.



Şekil 3. a) Opallere ev sahipliği yapan karbonatlı çakıltaşı örneği, b) Başlıca serpantin, mikritik çakıl taneleri ile sparitik bağlayıcı malzemeden oluşan karbonatlı çakıltaşının mikroskopik görünümü, çift nikol;4X (Mkç: mikritik çakıl, S: sparit, Sç: Serpantin).

Figure 3. a) Sample of carbonated conglomerate host rock, b) Crossed-polar light (XPL) view of carbonated conglomerate consists of mainly serpentine and micritic conglomerate within sparitic matrix, crossed-polar light;4X (Mkç- mikritik pebble, S: sparite, Sç:serpentine).

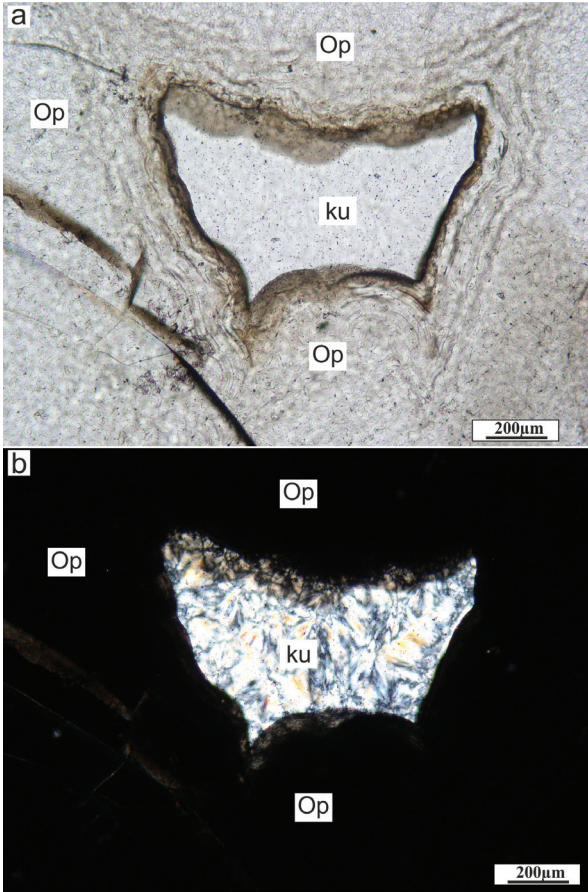
Pliyosen yaşlı karbonatlı çakıltaşları içinde bulunan Yenisofça opalleri, çapları 2-30 cm arasında değişen yumru veya mercek şekilli ve ana kaya içinde düzensiz şekilde bulunurlar (Şekil 4). Opallerde ana renk, beyazın tonlarında (Şekil 4), şeffaf, yer yer daha koyu grimsi olup renk açısından homojenlik göstermezler. Kısa dalga (254 nm) ultraviyole lambada sarı - yeşil floresans rengi gösterirler.



Şekil 4. Karbonatlı çakıltaşlarında gözlenen süt beyazı renkli, mercek şeklinde Yenisofça opalleri.

Figure 4. Milky-white, lens-shaped Yenisofça opal observed in carbonate conglomerate.

Yenisofça opallerinin polarizan mikroskop altında incelenmesinde izotrop özellik gösterirler ve opal içinde gözlenen boşluklar lifsi mikrokristalin kuvars tarafından doldurulmuştur (Şekil 5). Yenisofça Opallerinin mineralojik bileşimlerini belirlemek için yapılan XRD analiz sonuçları ile başlıca opal – CT olmak üzere, kuvars, dolomit ve sepiyolit bileşiminde olduğu belirlenmiştir (Şekil 6). Opallerin taramalı mikroskop analizleri sonucu, küresel ve lifsi doku tespit edilmiştir (Şekil 7a).



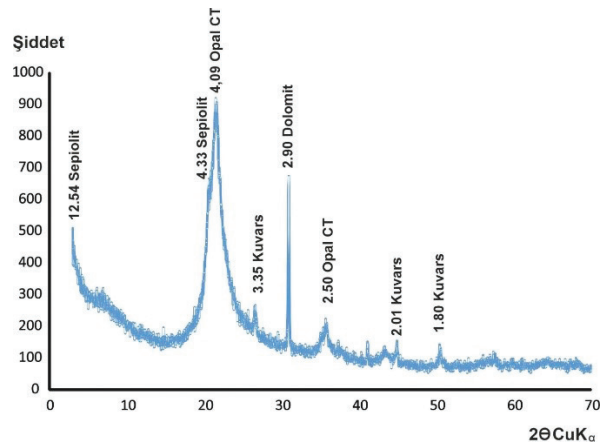
Şekil 5. Yenisoğça opalinin mikroskop altında görünümü; izotrop özellik gösteren opalde bulunan boşluklar lifsi özellik gösteren mikrokristalen kuvars ile doldurulmuş. **a)** Tek nikol (TN) konum - 10X, **b)** Çift nikol konum (ÇN) -10X (Op: opal, ku: kuvars).

Figure 5. View of Yenisoğça opal; the cavities in opal with isotropic properties are filled with microcrystalline quartz with chalcedonic fibrous properties. **a)** Parallel-polar light (PPL) – 10X, **b)** Crossed-polar light (XPL)-10X (Op: opal, ku: quartz).

Yenisoğça opal örneğine ait SEM element dağılımı sonuçlarından (EDS) ana element bileşimi Si (22,5 – 25,1 % ağırlık) ve O (50,3 – 55,6 % ağırlık) ile birlikte Mg (1,2- 2,5% ağırlık) ve Fe (0,4 – 0,5% ağırlık) olarak belirlenmiştir (Şekil 7b ve c).

Yenisoğça opalleri, başlıca silika (93,64 % ağırlık) bileşimindedir (Çizelge 1). Opallerdeki

MgO (0,70% ağırlık) ve Fe₂O₃ (0,80 % ağırlık) değerleri diğer element oksit yüzdelerinden yüksektir. Ba (21 ppm), Ni (177 ppm), Co (11,6 ppm), Sr (7.8 ppm), V (8 ppm) ve U (4,0 ppm) dışındaki iz element değerleri düşük oranlardadır (Çizelge 1). Uranyum değerinin yüksekliği güçlü sarı-yeşil floresans renginde de görülmektedir. Floresans özellik tüm opallerde görülmemekle birlikte yeşil ve mavi olmak üzere iki tür lüminesans tanımlanmış ve yeşil floresans rengin opallerdeki uranyum varlığı ile görüldüğü tespit edilmiştir (Gaillou vd., 2008).

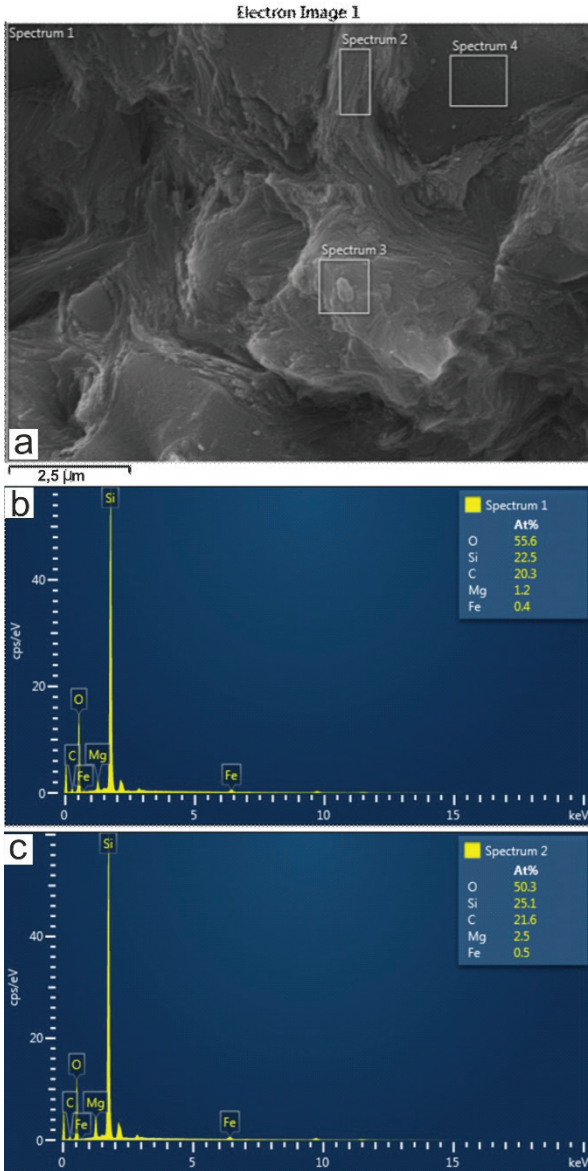


Şekil 6. Yenisoğça opaline ait XRD kırınım diyagramı.

Figure 6. XRD pattern of Yenisoğça opal.

Opal çakıllarının yer aldığı karbonatlı çakıltaşlarının CaO (20,85 % ağırlık) ve MgO (17,81% ağırlık) değerleri diğer element oksit yüzdelerine nazaran daha yüksektir. Karbonatlı çakıltaşlarına ait ateş kaybı (38,3 % ağırlık), karbonatlı çimento nedeniyle beklenildiği gibi yüksektir. Karbonatlı çakıltaşlarına ait Ba (113 ppm), Rb (25,3ppm), Ni (570 ppm), Co (35,9 ppm), Sr (735,3 ppm), Th (2,6 ppm), Y (7,3 ppm) ve Zr (16,7 ppm) gibi iz elementler değerleri opaller de tespit edilmiş değerlere göre daha yüksektir (Çizelge 1). Yenisoğça opallerinin nadir toprak elementleri ile bazı iz element değerlerinin kondrite göre normalize edilmiş çoklu element

dağılımını, karbonatlı çakıltaşlara ait çoklu element dağılımı ile karşılaştırdığımızda paralel bir uyum izlenirken opale ait U elementi dışındaki değerlerin ana kayaca göre daha düşük olduğu görülür (Şekil 8).



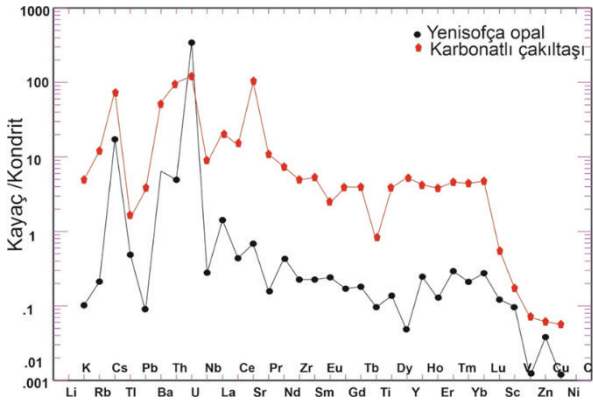
Şekil 7. a) Yenisofça opalinin SEM görüntüsü ile b) ve c) Yenisofça opale ait taramalı elektron mikroskop (SEM) ile yapılmış majör element dağılımları

Figure 7. a) SEM image of Yenisofça opal, b) & c) the major - element composition of the Yenisofça opal by Scanning electron microscope (SEM).

Çizelge 1. Yenisofça opal ve yan kayac (karbonatlı çakıltaşı) ortalama tüm kayac (ICP-AES) ve iz element (ICP-MS) analiz sonuçları. K12 O – Yenisofça opal; K12Y - karbonatlı çakıltaşı.

Table 1. Average chemical bulk (by ICP-ES) and trace element (by ICP-MS) analysis of the Yenisofça opal and the host rock rock. K12 O – Yenisofça opal; K12Y - carbonated conglomera.

Örnekler	K12 O	K12 Y
Oksitler (% ağırlık)		
SiO ₂	93,64	17,19
Al ₂ O ₃	0,11	2,02
Fe ₂ O ₃	0,8	2,71
MgO	0,7	17,81
CaO	0,20	20,85
Na ₂ O	0,01	0,12
K ₂ O	0,01	0,31
TiO ₂	0,01	0,05
P ₂ O ₅	0,01	0,02
MnO	0,02	0,06
Cr ₂ O ₃	0,023	0,101
LOI	4,5	38,3
Sum	100,01	99,61
İz Elementler (ppm)		
Ni	177	570
Sc	1	3
Ba	21	113
Be	1	1
Co	11,6	35,9
Cs	4,6	13,0
Ga	0,5	2,2
Hf	0,1	0,5
Nb	0,1	1,9
Rb	0,7	25,3
Sn	1	1
Sr	7,8	735,3
Ta	0,1	0,3
Th	0,2	2,6
U	4,0	0,9
V	8	9
W	0,5	0,5
Zr	1,2	16,7
Y	0,1	7,3
La	0,5	4,7
Ce	0,4	8,4
Pr	0,02	0,89
Nd	0,3	3,2
Sm	0,05	0,75
Eu	0,02	0,13
Gd	0,05	0,74
Tb	0,01	0,14
Dy	0,05	0,90
Ho	0,02	0,22
Er	0,03	0,58
Tm	0,01	0,10
Yb	0,05	0,67
Lu	0,01	0,11



Şekil 8. Yenisoğça opali ve içinde bulunduğu karbonatlı çakıltaşına ait kondirite normalize edilmiş (Sun ve McDonough, 1989) çoklu element diyagramı.

Figure 8. Multi-element diagram, normalized to chondrite (Sun and McDonough, 1989) for Yenisoğça opal and its host rock.

Çalışma alanında yapılan arazi gözlemleri, opallerin mineralojik (XRD), mikroskobik (polarizan mikroskop, SEM) ve jeokimyasal analiz (SEM - EDS, ICP-AES) sonuçları birbirleri ile uyumlu ve destekler özellik gösterirler.

TARTIŞMA ve SONUÇLAR

Çalışma alanı ve çevresinin temelini, Üst Kretase yaşlı ofiyolitik birimler, özellikle bölgede gelişmiş olan yoğun tektonik etkiler sonucu oluşmuş kırık ve fay düzlemleri boyunca hareket eden jeotermal suların etkisiyle susuz Fe-Mg bileşimli silikatlerin sulu Fe- Mg silikatlara (serpantin) dönüşmesi sonucu oluşan serpantinler oluşturur. Yukarıya doğru hareket eden akışkanların basınç düşmesi sonucu CO₂ bileşimli suların Mg bakımından zengin ultrabazik kayalarla reaksiyonu ile bu kayalarda damarlar ve düzensiz kütleler şeklinde mikrokristalli magnezitler oluşmuştur. Eskişehir – Kütahya bölgelerinde pek çok ekonomik öneme sahip manyezit yatakları (örnek; Süleymaniye, Margı Tutluca ve Nemli manyezit yatakları), mikrokristalli magnezitin CO₂ bileşimli suların Mg bakımından zengin ultrabazik kayalarla

reaksiyonu ile bu kayalarda damarlar ve düzensiz kütleler gelişimi ile oluşmuştur (Ece vd., 2005, Kahya ve Kuşcu, 2014).

Üst Kretase yaşlı ofiyolitik kayalar, çalışma alanı içinde Yenisoğça opallerine de ev sahipliği yapan Pliyosen yaşlı çakıltaşı tarafından uyumsuz olarak örtülmüştür. Yenisoğça köyünün kuzeyinde yer alan opal oluşumları, çakıltaşı ile serpantinlerin dokanağına yakın çakıltaşı içinde bulunurlar. Yenisoğça opalleri 2 ila 30 cm çapında, yumru şeklinde ana kaya içinde düzensiz şekilde bulunurlar. Renkleri, beyazın tonlarında, şeffaf, yer yer daha koyu grimsi olup renk açısından homojenlik göstermezler. Opallerin XRD analizleri, ana bileşim olarak opal CT, kuvars gibi silika fazlarının yanı sıra sepiyolit pikleri de içerir. SEM analiz sonuçlarında opallerde küresel doku ile birlikte lifsi doku tespit edilmiştir. Opal nodüllerinde izlenen lifsi doku, Eskişehir ve çevresinde önemli yataklara sahip sepiyolit nodüllerinde görülen lifsi dokuya benzerlik gösterir. XRD sonuçlarından elde edilen sepiyolit pikleri, SEM analizlerinde sepiyolitlerde görülen lifsi dokusal özelliğe benzerliği ve SEM (EDS), jeokimyasal veriler opal oluşumunun sepiyolit nodülleri ile olan ilişkisini göstermektedir.

Çalışma alanının kuzeydoğusunda yer alan Eskişehir ve çevresi, yüzyıllardır işletilen Türkiye'nin en önemli sepiyolit yataklarına (örnek; Sepetçi, Margı, Kayıköy, Sarısu ve Gökçeoğlu sepiyolit yatakları) ev sahipliği yapar. Bölgede yer alan sepiyolit oluşumları; nodül şeklinde (lületaşı) ve göl sedimentlerinde katmanlar ve mercerler şeklinde olmak üzere iki farklı şekilde bulunurlar (Ece ve Çoban, 1994; Ece, 1998; Sarıöz ve Işık, 1995; Sarıöz, 2000; Yeniyoğ, 2012). Nodül şeklinde bulunan masif sepiyolit; bölgede ofiyolitlerin çevresinde bulunan Neojen paleogölüne ait çakıllardaki magnezit çakıllarının diyajenez evresinde silisyumlu çözeltilerle replasmanı sonucu oluşmuştur (Ece ve Çoban, 1994).

Elde edilen veriler ile Yenisofça opal oluşumunun tek bir sürecin sonucunda oluşmadığı sonucuna ulaşılmıştır. Önce, bölgede yaygın olarak izlenen serpantinitle, CO₂ bakımından zengin akışkanların Mg bakımından zengin ultrabazik kayalarla reaksiyonu ile damarlar ve düzensiz kütleler şeklinde özellikle fay düzlemleri boyunca mikrokristalli magnezit çakılları oluşmuş ve daha sonra bu çakılların paleogöl ortamında kıyı çizgisine yakın sığ kesimlerde silisli çözeltilerin replasmanı ile sepiyolit nodülleri oluşmuştur. Bir sonraki süreçte, manyezit ve sepiyolit nodülleri çakıltaşlarına taşınmış ve muhtemelen fay ve kırık düzlemleri boyunca hareket eden silisçe zengin çözeltiler tarafından sepiyolit ve manyezit çakıllarının replasmanı ile opaller oluşmuştur. Çözeltilerdeki silika kaynağı da Pliyosen devrine ait volkanik aktivitenin ürünü olduğu düşünülmektedir. Yenisofça opalleri, serpantinitle karbonatlı çakıltaşları kantağında fay düzlemine yakın izlenir. Arazi gözlemleri sırasında opal nodüllerinin bulunduğu çakıltaşları içinde sepiyolit ve manyezit çakılları bulunamamıştır. Bu da bu çakılların opalleşmiş olma düşüncesini desteklemektedir.

Eskişehir – Kütahya bölgesinde, çalışma alanına yakın (41 – 60 km mesafelerde) Dereyalak agat ve opalleri (kuzeybatıda)- Eskişehir, Belkavak opalleri (güneybatıda)- Kütahya ve Yazlıca agat ve opalleri (güneybatıda) - Kütahya yüzeylenir. Söz konusu agat ve opal oluşumları, serpantinitle çakıltaşları kantağına yakın fay düzlemleri boyunca Pliyosen çakıltaşları içinde nodüler formlarda bulunurlar. Bu alanlardaki agat ve opallerin XRD, DTA-TG, SEM ve jeokimyasal analiz sonuçlarında opal ve agatlarda sepiyolit varlığı tespit edilmiştir. Arazi çalışmalarında opal ve agatların yer aldığı çakıltaşlarında, bölgenin önemli sepiyolit ve manyezit yataklarına ev sahipliği yapmasına karşılık sepiyolit ve manyezit çakılları tespit edilememiştir. Arazi gözlemleri ve diğer analiz sonuçlarına göre; opal ve agat oluşumu

silisçe zengin, düşük sıcaklıklı çözeltilerin çakıltaşlarında bulunan sepiyolit nodüllerinin yerini alması ile oluşmuştur (Çalık ve Arzoğulları 2008; 2014; Çalık, 2017; Çalık, 2021).

Yenisofça opalleri bölgedeki diğer opal ve kriptokristalen kuvars mineralizasyonlarının (Dereyalak, Belkavak ve Yazlıca) jeolojik, mineralojik özelliklerine ve oluşum şekillerine benzer özellikler göstermektedir. Eldeki verilerle, Yenisofça opalleri, bölgede yer alan diğer opal mineralizasyonları gibi bir oluşum süreci ile muhtemelen faylar boyunca hareket eden silisçe zengin, düşük sıcaklıklı çözeltilerin çakıltaşlarında bulunan sepiyolit nodüllerinin yerini alması ile oluşmuş olmalıdır.

EXTENDED SUMMARY

The study area is located north of the village of Yenisofça which is southeast of Eskişehir. The ophiolitic unit, largely consisting of serpentinite, is the basement in the study area. Ophiolites are unconformably overlain by a Pliocene conglomerate consisting of silica nodules (seen as opals) and diverse types of pebbles and cobbles in a carbonate matrix. The main tectonic features of the study area are NW-SE-trending faults. The mineralization of the opal formation is observed near the fault zone at the contact between serpentinite and carbonated conglomerate. Yenisofça opal nodules formed with different sizes from 2 to 30 cm and display a disordered dispersion pattern within the host rock. The opal mainly has transparent, white, and gray colors and exhibits green luminescence under short-wave ultraviolet light.

Under the polarised-light microscope, the opals are isotropic and contain cavities filled with fibrous cryptocrystalline quartz. SEM images show that the interior structure of the opal comprises spherulitic texture and fibrous texture. The fibrous

texture seen in the opals resembles the fibrous texture of sepiolites. The XRD analyses revealed that Yenisoğça opals mainly contain opal CT, quartz, and sepiolite. The ICP–MS analyses found that Yenisoğça opal nodules mainly consist of silica (93.64 wt. %). All other major oxides are less than 0.2 wt. % with the exception of MgO (0.70 wt. %), and Fe₂O₃ (0.80wt. %). Some trace elements such as Ni (177 ppm), Ba (21 ppm), Co (11.6 ppm), Sr (7.8 ppm), and U (4.0 ppm) have relatively higher proportions. The major-element composition of opal, obtained from the SEM analysis, indicates that the concentration of Mg is abundant (between 1.2–2.5 %) within samples. The MgO and Mg might occur after sepiolite. A comparison between Yenisoğça opal and host rock on a multi-element diagram normalized to chondrite (Sun and McDonough 1989) shows that Yenisoğça opal and host rock both have the same trend. The difference only appears to be the variance in concentrations between agate and host rock. The opal generally has a lower concentration of most elements, with the exception that the U concentration within opal is higher than within the host rock. The high U concentration also explains the green luminescence under short-wave ultraviolet light of Yenisoğça opal.

Sepiolite enrichments are found in the Eskişehir region. The sepiolite nodules are products of the diagenetic replacement of finely crystalline cobbles and pebbles of magnesite by alkaline formation waters in the shallow subsurface near the paleoshorelines of a paleolake (Ece and Çoban 1994). The sepiolite nodules are found in poorly-sorted conglomerate beds that are composed of gravels and small blocks of ultramafics, and the matrix is altered ultramafic rocks (Ece and Çoban 1994). Field observations show that the carbonated conglomerates, which are the host rocks for opal, consist of opal nodules, various types of cobbles and pebbles composed of serpentinite, listwaenite and limestone in a

matrix of micritic and/or sparitic carbonate. Magnesite and sepiolite nodules are not present in this conglomerate as might be expected. The magnesite and sepiolite nodules could have been present and may have been replaced by the opals via hydrothermal alteration.

In conclusion, XRD, SEM, and ICP-MS analyses of opals from Yenisoğça clearly indicate that sepiolite exists in Yenisoğça opal. Therefore, opal genesis in Pliocene conglomerates might be explained as a result of sepiolite replacement by opal due to silica-rich hydrothermal solutions. In addition, when a comparison is made between Yenisoğça opal and the opal and cryptocrystalline quartz occurrences (e.g., Dereyalak agate – opal, Belkavak opal, Yazlıca agate) in the Kütahya and Eskişehir regions, they occurred under similar processes.

KATKI BELİRTME

Bu çalışma Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi, Bilimsel Araştırma Projeleri (BAP) FHD 2016 – 987 No’lu proje tarafından desteklenmiştir. Arazi çalışması sırasında katkı veren Kütahya Jeoloji Müzesi’nde görevli Sayın Tuncay KAHRAMAN’a yazar çok teşekkür eder.

ORCID

Ayten Çalık  <https://orcid.org/0000-0002-7295-1011>

KAYNAKLAR

- Altunkaynak, S. & Özdilek, Y. (2006). Timing and nature of postcollisional volcanism in western Anatolia and geodynamic implications. *Geological Society of America, Special Paper*, 409, 321 – 351.
- Arzoğulları, U. (2007). *Dereyalak Köyü (Eskişehir) Çevresindeki Agat ve Opal oluşumlarının Jeolojisi ve Ekonomik Önemi* [Yayımlanmamış Yüksek Lisans Tezi]. Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.

- Atakay, E. (2002). *Dumluca, Dümrek (Karacakaya), Karkın ve Karaçam (Adatepe) (Sivrihisar - Eskişehir) civarındaki silisleşmiş ultramafik kayaların maden jeolojik incelenmesi* [Yayımlanmamış Yüksek Lisans Tezi]. Ankara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Çalık, A. ve Arzoğulları, U. (2008). Dereyalak köyü (Eskişehir) çevresindeki agat ve opal oluşumlarının jeolojisi ve ekonomik önemi. *Geosound*, 53, 219-232.
- Çalık, A. & Arzoğulları, U. (2014). Occurrence of dendritic agate from Dereyalak village (Eskişehir)-NW of Turkey and its relationship to sepiolite nodules in the region. *Journal of African Earth Sciences*, 97, 99-108.
- Çalık, A. (2017). Geology and Mineralogy of Belkavak Opal Occurrences - Kütahya, NW Turkey. In L. Karadenizli & S. Bonaz Aslan, *70th Geological Congress of Turkey, Abstracts Book, Ankara, Turkey* (pp. 120-121). https://www.jmo.org.tr/resimler/ekler/67967e4b442a097_ek.pdf
- Çalık, A. (2021). Genesis of the Pliocene conglomerate: Kütahya and Eskişehir—central west Anatolia, Turkey. *Arabian Journal of Geosciences* 14, Article 46. <https://doi.org/10.1007/s12517-020-06402-7>
- Ece, I. & Çoban, F. (1994). Geology, occurrence and genesis of Eskişehir sepiolites, Turkey. *Clays and Clay Minerals*, 42(1), 81-92.
- Ece, I. (1998). Diagenetic Transformation of Magnesite Pebbles and Cobbles to Sepiolite (Meerschaum) in the Miocene Eskişehir Lacustrine Basin, Turkey. *Clays and Clay Minerals*, 46(4), 436-445.
- Ece, I. Ö., Matsubaya, O. & Çoban, F. (2005). Genesis of hydrothermal stockwork-type magnesite deposits associated with ophiolite complexes in the Kütahya-Eskişehir region, Turkey. *Neues Jahrbuch für Mineralogie, Abhandlungen* 181(2), 191-205.
- Esenli, F., Kumbasar, I., Eren, R. E. & Uz, B. (2001). Characteristics of opals from Simav, Turkey. *Neues Jahrbuch für Mineralogie - Monatshefte* (3), 97– 113.
- Gaillou, E., Delaunay, A., Rondeau, B., Bouhnikle-Coz, M., Fritsch, E., Cornen, G. & Monnier, C. (2008). The geochemistry of gem opals as evidence of their origin. *Ore Geology Reviews*, 34, 113-126.
- Göncüoğlu, M. C., Turhan, N., Şentürk, K., Özcan, A., Uysal, S. & Yalınız, M. K. (2000). A geotraverse across Northwestern Turkey: tectonic units of the Central Sakarya region and their tectonic evolution. In: E. Bozkurt, J. A. Winchester, J. D. A., Piper, J. D. A. (Eds.), *Tectonics and Magmatism in Turkey and the Surrounding Area*, 173 (pp. 139-161). Geological Society, London, Special Publication.
- Gözler, M. Z., Cevher, F., Ergül, E. ve Asutay, H. J. (1996). *Orta Sakarya ve Güneyinin Jeolojisi* (Rapor no: 997). Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü, Ankara.
- Hatipoğlu, M. (2009). Moganite and quartz inclusions in the nano-structured Anatolian fire opals from Turkey. *Journal of African Earth Sciences* 54(1-2) 1–21. <https://doi.org/10.1016/j.jafrearsci.2009.01.004>
- Kahya, A. ve Kuşcu, M. (2014). Source of the mineralizing in ultramafic related magnesite in the Eskişehir area, northwest Turkey, along the İzmir - Ankara Suture: a stable isotope study. *Turkish Journal of Earth Sciences*, 23, 1-15. <https://doi.org/10.3906/yer-1302-12>
- Kulaksız, S., 1981. Sivrihisar Kuzeybatı Yöresinin jeolojisi. *Hacettepe Üniversitesi, Yerbilimleri*, 8, 103 – 124.
- Özcan, A., Göncüoğlu, C. M. ve Turhan, N. (1989). *Kütahya – Çifteler – Bayat- İhsaniye Yöresinin Temel Jeolojisi*, (Rapor no: 8974). Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü, Ankara.
- Sarız, K. & Işık, E. (1995). Meerschaum from Eskişehir Province, Turkey. *Gems and Gemology*, 31(1), p. 42-51.
- Sarız, K. (2000). The geology, Mineralogy and Occurrence of Bedded Sepiolite Deposits in the Akçayır - Yürükakçayır (Eskişehir) Lacustrine Basin, Central Turkey. *Exploration and Mining Geology* 9(3-4) 265-275. <https://doi.org/10.2113/0090265>
- Simoni, M., Caucia, F., Adamo I., & Galinetto, P. (2010). New Occurrence of fire Opal from Bemia, Madagascar, Notes and New Techniques. *Gems & Gemology*, 46(2), 114-121.

- Sun, S. S. & McDonough, W. F. (1989). Chemical and Isotopic systematics of oceanic basalts: implications for mantle composition and processes. In: a. D. Saunders, M. J. Norry, (Eds.), *Magmatism in the Oceans Basins*. Geological Society of London special Publication.
- Uslu, G. Ş. (2011). Simav (Kütahya) Bölgesindeki Ateş Opali Oluşumlarının Mineralojik -Petrografik Özellikleri ve Gemolojik Kullanım Alanları [Yayımlanmamış Yüksek Lisans Tezi]. Dokuz Eylül Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Yeniyol, M. (2012). Geology and mineralogy of a sepiolite-palygorskite occurrence from SW Eskişehir (Turkey). *Clay Minerals*, 47(1), 93–104. <https://doi.org/10.1180/claymin.2012.047.1.93>