




## Yamadağ volkanitleri (Arguvan-Malatya) içerisinde silisli süstaşı oluşumları mineralojik, jeokimyasal, gemolojik özellikleri ve ekonomik önemleri

İlkay Kaydu Akbudak<sup>1</sup> , Zeynel Başıbüyük<sup>1\*</sup> , Meltem Gürbüz<sup>2</sup> , Ayten Öztüfekçi Önal<sup>3</sup> , Fikret İşler<sup>4</sup> 

<sup>1</sup>Ahi Evran Üniversitesi, Mühendislik Mimarlık Fakültesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Kırşehir, Türkiye

<sup>2</sup>Mersin Üniversitesi, Taki Teknolojisi ve Tasarımı Yüksekokulu, Çiftlikköy, Mersin, 33343, Türkiye

<sup>3</sup>Munzur Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Aktuluk Mahallesi, Tunceli, 62000, Türkiye

<sup>4</sup>Çukurova Üniversitesi, Mühendislik Mimarlık, Balcalı, Adana, 01330, Türkiye

### Ö N E Ç İ K A N L A R

- Yamadağ volkanitleri içerisindeki kahverengi-sarı-yeşil opal ve krizokol oluşumlarının varlığı
- Opal ve krizokol oluşumlarının mineral ve ana/iz element içerikleri ile süstaşı olarak işlenebilirliğinin belirlenmesi
- Opal ve krizokol oluşumlarının rezervi, mineralojik, jeokimyasal ve gemolojik özellikleri birlikte değerlendirilmesi

#### Makale Bilgileri

Geliş: 06.10.2016

Kabul: 27.12.2016

#### DOI:

10.17341/gazimmfd.406793

#### Anahtar Kelimeler:

Mineraloji-jeokimya,  
gemoloji,  
opal,  
krizokol,  
süstaşı,  
Malatya

#### ÖZET

Doğu Anadolu'daki Geç Miyosen volkanizmasının örneklerinden biri olan Yamadağ Volkanitleri Malatya ili Arguvan ilçesi sınırları içerisinde geniş alanlar kaplamaktadır. Araştırmanın konusunu oluşturan süstaşları bu volkanitlere ait bazaltların boşluklarında, birkaç cm'den yaklaşık 30-40 cm'ye kadar değişen boyutlarda ve yumrular şeklinde bulunmaktadır. Bu oluşumlar yaklaşık doğu batı yönünde uzanan damarlar halinde yayılım gösteren ve süstaşları içerisinde önemli yere sahip, opal (opal-CT) ve krizokol oluşumlarıdır. Opal oluşumları beyaz, kahverengi, sarı ve yeşilimsi gibi değişik renklerde, krizokol oluşumları ise mavimsi-yeşilimsi renktedir. Hem opal hem de krizokoller genelde masif yapıda ve taze yüzeyleri mumsu parlaklıktadır. Süstaşlarının mineral parajenezi ve oluşum koşulları XRD, SEM, FT-IR jeokimyasal bileşimleri ICP-MS analizi, gemolojik özellikleri ise elmas kaplama testere, sinter elmas aşındırıcı diskler ve polisaj makinesi kullanılarak, kaboşon ve fasetli kesim teknikleri uygulanarak belirlenmiştir. Opaller genellikle tridimit mineralinden oluşmakta, bazı örneklerde ise tridimit'e kuvars ve kristobalit mineralleri de eşlik etmektedir. EDX incelemelerinde opallerde Fe ve Al, krizokolde ise Cu'ca zenginleşmesi gözlenmektedir. ICP-MS analizlerinde krizokollerin LIL elementlerden Ba ve Sr ile HFS elementlerinden ise U'ca daha çok zenginleşmiş olduğu belirlenmiştir. Yapılan gemolojik çalışmalar sonucunda, özellikle mumsu parlaklıkta ve masif yapıdaki krizokol ve opallerin renk, sertlik, dayanıklılık, renklerin homojen dağılımı, işlenebilirlik gibi özelliklerinin süstaşı olarak kullanılmaya elverişli oldukları tespit edilmiştir.

## Silica gemstones formation in Yamadağ volcanites (Arguvan-Malatya) mineralogical, geochemical, gemological properties and economic importance

### H I G H L I G H T S

- The presence of brown-yellow-green opal and chrysocolla occurrences in Yamadağ volcanics
- Determination of the possibility of processing Opal and chrysocolla formations with mineral and main / trace element contents
- Opal and chrysocolla deposits by evaluating their reserves, mineralogical, geochemical and gemological characteristics together

#### Article Info

Received: 06.10.2016

Accepted: 27.12.2016

#### DOI:

10.17341/gazimmfd.406793

#### Keywords:

Mineralogy-geochemistry,  
gemology,  
opal,  
chrysocolla,  
gemstone,  
Malatya

#### ABSTRACT

Yamadağ Volcanics which is one of the examples of the Late Miocene volcanism in Eastern Anatolia covers large areas within the boundaries of Arguvan county of Malatya. The gemstones, subject of this research range from a few centimeters to about 30-40 cm in size and are formed in the cavities of the basalts belonging to Yamadağ volcanics. These gemstones seem to have formed as veins extending in east-west direction and consist of opal (opal-CT) and chrysocolla. Opal formations have various colours such as white, brown, yellow and greenish, while chrysocolla formations are bluish-greenish in color. both opal and chrysocolla are of massive type and their fresh surfaces display waxy luster. Mineral paragenesis and formation conditions of gemstones and are determined by applying XRD, SEM, FT-IR techniques. ICP-MS technique is used for the determination of the geochemical compositions. The gemological characteristics are identified via cabochon and facet cut techniques by using diamond coating blade, sintered diamond abrasive discs and polishing machine. Opals are usually composed of tridymite minerals, also in some cases quartz and cristobalite minerals accompany the tridymite minerals. The EDX measurements reveal, enrichment of Fe and Al in opals, and of Cu in chrysocolla. The ICP-MS measurements, in chrysocollas reveal, enrichments in LIL elements such as Ba, Sr and in HFS elements such as U. Consequently, gemological studies show that the chrysocolla and opals in study area, which have waxy luster and massive structure, are suitable for utilization as a gemstone due to its color, hardness, durability, homogeneous distribution of color and processability.

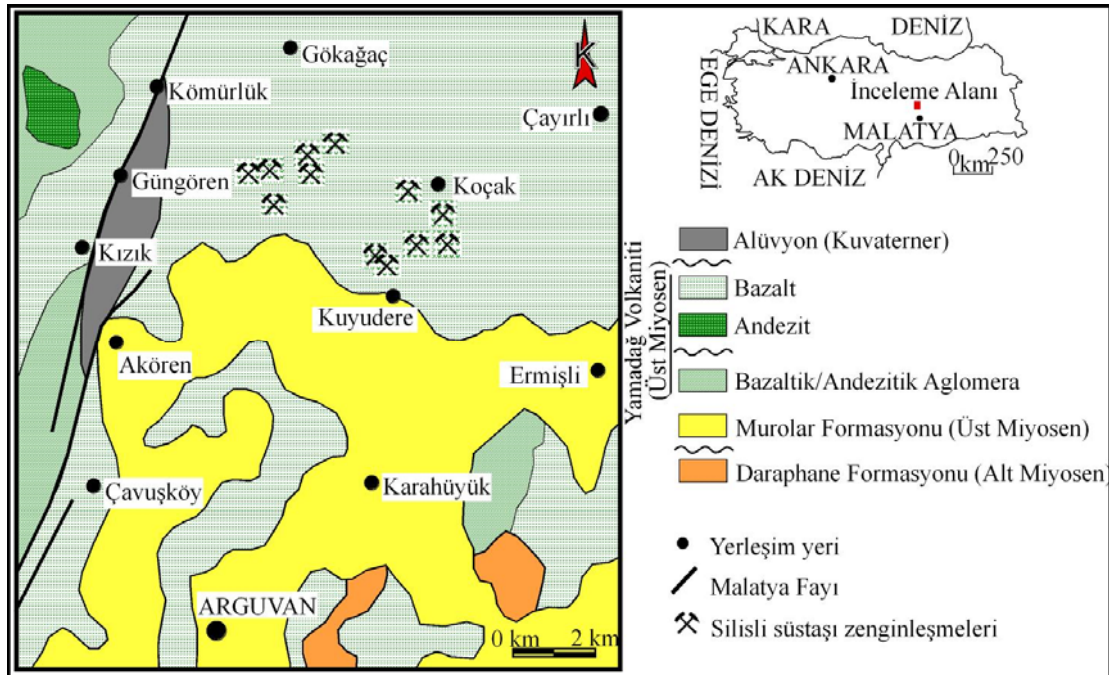
## 1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Süstaşı, takı ve süs eşyası olarak kullanılabilir kalitedeki kayaç ve minerallere denir. Yüzyıllardan beridir, insanoğlunun yaşamında, süstaşları ile onlardan yapılan takı ve aletler, önemli bir yere sahip olmuştur. Süs taşları doğada yaygın olarak bulunan oksijen, karbon, alüminyum, silisyum, kalsiyum ve magnezyum gibi elementler tarafından oluşturulur [1]. En yaygın süstaşı olarak kullanılan opaller [2, 3],  $\text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$  kimyasal formülüne [4, 5] sahip olup ya amorf (opal-A) ya da zayıf kristalli (opal-CT) yapıda olurlar [6, 7] ve değişik renklere sahiptirler [8, 9]. Krizokoller ise  $(\text{Cu}, \text{Al})_2\text{H}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4 \cdot n\text{H}_2\text{O}$  kimyasal formülüne sahip olup [10, 11] yapısındaki bakır elementi [12] nedeniyle yeşil-mavimsi yeşil renklere sahiptirler [13].

Opal silisik kayaçların (riyolit ve kumtaşı gibi) bozuluşu ile (boşluklardaki  $\text{SiO}_2$  ile zenginleşmiş sıvılardan çökelmeyi takiben) meydana gelebilmektedir [14, 15]. Opal silisin saf formu değildir, bileşen olarak su içerir ve aynı zamanda yapıya bazı safsızlıklar ve iz elementler girebilir [16, 17]. En yaygın safsızlık silis yerine alüminyumun geçmesidir. İnceleme alanındaki opallerde silis yerine demir ve alüminyumun geçmesi ile oluşan safsızlıklar belirlenmiştir. Ülkemizde süstaşı konusunda yapılan çalışmalar sayılı olup, Batı Anadolu, Orta Anadolu ve Karadeniz Bölgeleri'nde yoğunlaşmaktadır [18, 19]. Bu çalışmanın temel amacı Arguvan-Malatya bölgesinde bulunan silisli süstaşlarının (krizokol ve opal) arazideki dağılımı, parajenetik ilişkileri ile mineralojik, jeokimyasal ve gemolojik özelliklerinin ortaya çıkarılarak süstaşı olarak kullanılabilirliğinin belirlenmesidir.

## 2. JEOLJİ (GEOLOGY)

İnceleme alanının içerisinde yer aldığı Orta-Doğu Anadolu Bölgesi ve çevresinde farklı yaş, jeotektonik konum ve kayaç türlerine sahip tektono-stratigrafik birimler bulunmaktadır. Yılmaz [20] tarafından bu tektono-stratigrafik birimler, güneyden kuzeye doğru, Arap Platformu, Yığışım Prizması Zonu ve Nap bölgesi olmak üzere üç bölüme ayrılmıştır. Arap Platformu Erken Kambriyen'den Orta Miyosen'e kadar çökelmiş, çoğunlukla denizel olan sedimanter birimlerden oluşmaktadır. Geç Kretase-Orta Miyosen aralığında değişik kaya birimlerini içeren tektonik dilimlerden oluşan Yığışım Prizması zonu, doğu batı uzanımlı dar bir kuşak halinde güneyden Arap Platformu, kuzeyden nap zonu ile sınırlanmıştır. Çalışma alanında Miyosen ve Kuvaternere ait birimler bulunmaktadır (Şekil 1). Bunlar yaşlıdan gence doğru Erken Miyosen yaşlı Daraphane Formasyonu ve Murolar Formasyonu, Geç Miyosen yaşlı Yamadağ Volkaniti ile Kuvaterner yaşlı alüvyonlardır [21]. Alt Miyosen yaşlı Daraphane Formasyonu'nu kırmızı renkli çakıltaşları, gri renkli marn ve kilaşları, grimsi beyaz renkli kireçtaşları; Üst Miyosen yaşlı Murolar Formasyonu'nu kırmızı renkli kabaçakıl taşları, sarımsı beyaz renkli kireçtaşları oluşturmaktadır [21]. Üst Miyosen yaşlı Yamadağ Volkaniti ise açık gri, kahverengi ve siyah renkli andezitik/bazaltik aglomeralar, beyaz ve koyu gri bazaltlar ve beyazımsı gri andezitler ile temsil edilmektedir [21]. Yamadağ Volkanitleri bazaltik ve andezitik aglomeralarla başlayıp andezit ve bazalt lavları ile devam etmektedir. Mavimsi yeşil renkli krizokoller, beyaz, kahverengi, sarı ve yeşil gibi değişik renklere sahip opal minerallerinden oluşan



Şekil 1. Yerbulduru ve inceleme alanının jeolojisi haritası [21, 22] (Location and geological map of the study area [21, 22])

silisli süstaşları, Yamadağ Volkanitleri içerisindeki bazaltların boşluklarında (birkaç cm'den yaklaşık 30-40 cm'ye kadar değişen boyutlarda yumrular şeklinde) ve doğu batı yönünde uzanan damarlar halinde oluşmuşlardır (Şekil 2.a, b), [23].

### 3. YÖNTEM (METHOD)

İncelenen silisli süstaşlarının arazideki dağılımı, parajenetik ilişkileri ile mineralojik, jeokimyasal ve gemolojik özelliklerinin belirlenmesi amacı ile inceleme sahasından 50 adet sistematik örnek alımı gerçekleştirilmiş ve 1/25000'lik harita üzerine işlenmiştir (Şekil 1). Araziden alınan süstaşlarından ve yan kayalardan ÇÜ Jeoloji Mühendisliği Bölümü-İnce Kesit Laboratuvarında ince kesitler hazırlanmış, alttan aydınlatmalı polarizan mikroskopta incelenerek mineralojik determinasyonları (mineral parajenezleri) yapılmıştır. Örneklerin mineralojik bileşimlerinin belirlenmesi amacıyla Tüm Kaya XRD çözümlenmeleri, İnönü Üniversitesi XRD Analiz Laboratuvarında Rigaku RadB-DMAX II Bilgisayar Kontrollü X-Işımları Difraktometresinde; FE-SEM analizleri Mersin Üniversitesi İleri Teknoloji Eğitim, Araştırma ve Uygulama Merkezi'nde (MEİTAM) Zeiss marka Supra 55 model Alan Emisyonlu Taramalı Elektron Mikroskobunda; FT-IR analizleri, Perkin Elmer marka Frontier model Fourier dönüşümlü kızılötesi spektroskopisinde ICP-MS analizleri Acme Laboratuvarlarında yapılmıştır. Ayrıca elmas kaplama testere, sinter elmas aşındırıcı diskler ve polisaj makinesi kullanılarak araziden alınan krizokol, ve opal örneklerine kaboşon (kavisli) ve fasetli (düz yüzeyli) kesim teknikleri uygulanarak takıda kullanılmak üzere süstaşı çalışmaları yapılmıştır.

### 4. SONUÇLAR VE TARTIŞMALAR (RESULTS AND DISCUSSIONS)

#### 4.1. Mineraloji (Mineralogy)

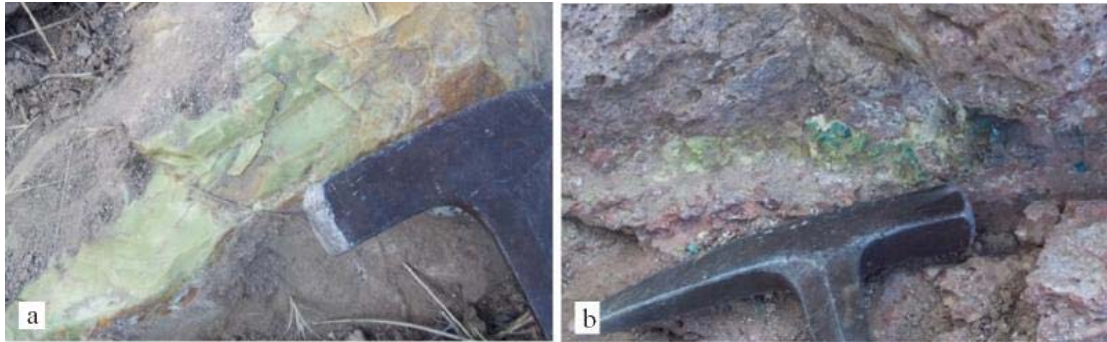
Yamadağ volkanitleri içerisindeki silisli süstaşı oluşumları mineralojik bileşimlerini belirlemek amacı ile örneklerden XRD ve FT-IR analizleri yapılmıştır. Yeşil renkli silisli süstaşı örneğinden yapılan XRD çekimi sonrasında kuvars ve opal (opal-CT) [24, 25] mineral birlikteliği sunduğu, opalin kristobalit ve tridimit minerallerinden oluştuğu ve

%C/T oranının ( $d=4,10 \text{ \AA}$ ), 15/85 olduğu [26] belirlenmiştir (Şekil 3). Opaller genellikle kriptokristalin ve amorf, sertliği 5,5 – 6,5 civarında, özgül ağırlığı 2,08-2,10 camsi, incimsi ve mumsu parlaklıkta yarı saydamdır [1], inceleme sahasındaki opallerin yoğunlukları  $2,03-2,12 \text{ gr/cm}^3$  aralığında ölçülmüştür. Araziden alınan opal örneklerinden yapılan FT-IR [27] çekimleri sonucunda yeşil opal, mavimsi yeşil opal±krizokol, beyaz dentritli opal ve açık yeşil benekli opal örneklerinin tridimit, sarı dentritli opalin tridimit+kuvars, kırmızımsı kahverenkli opal örneğinin ise tridimit + kuvars + kristobalit minerallerinden oluştuğu belirlenmiştir (Şekil 4). Krizokol genellikle kriptokristalin ve kısmen amorf. Çok ince lifsel ve masif, bazen toprağımsıdır. Sertlik 2 ila 4 arasındadır, konkoidal kırıklı ve gevrek. Yoğunluğu 2 ila 2,3 arasındadır [28], inceleme sahasındaki krizokol örneğinin yoğunluğu ortalama  $2,16 \text{ gr/cm}^3$  bulunmuştur. Araziden alınan mavimsi yeşil renkli örneğimiz ise krizokol ve tridimit minerallerinden oluşmaktadır (Şekil 5) [29].

#### 4.2. Jeokimya (Geochemistry)

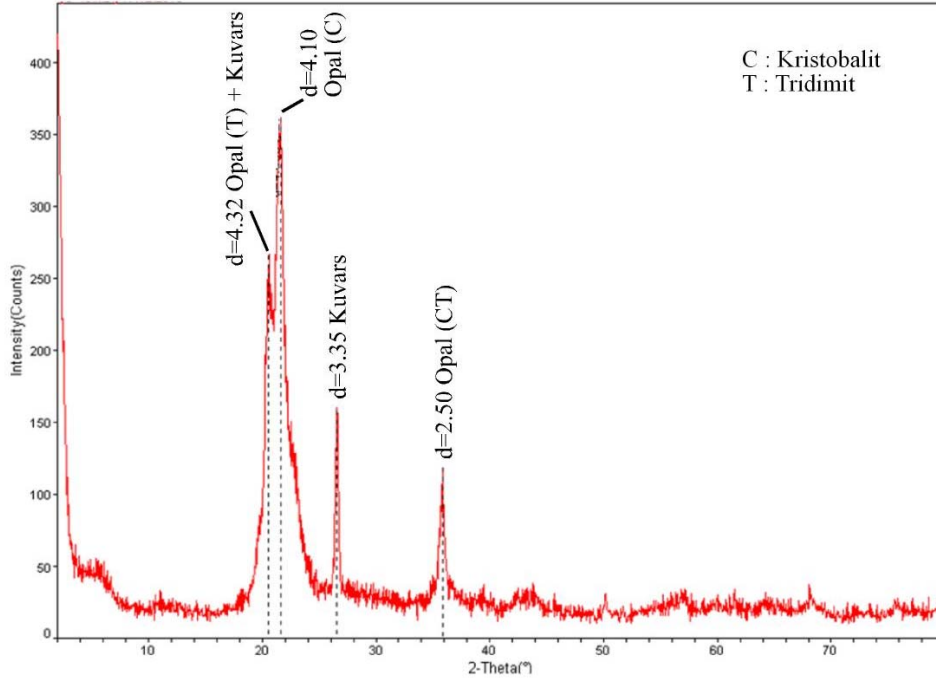
Opal ( $\text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$ ) [30, 31] örneklerinden yapılan FE-SEM-EDX analizleri sonucunda (Şekil 6) yeşil opalde Fe içeriğinde %2,94, kırmızımsı kahverenkli opalde Fe içeriğinde %4,51, beyaz dentritli opalde ise Fe içeriğinde %2,40 ve Al içeriğinde %2,22 oranında zenginleşme olduğu belirlenmiştir (Tablo 1) [29].

Krizokol [ $(\text{Cu}, \text{Al})_2\text{H}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4 \cdot n\text{H}_2\text{O}$ ] örneğinden yapılan FE-SEM-EDX çekimi sonucunda Cu elementince zenginleşme [32] içerdiği belirlenmiştir (Şekil 7). Mavimsi yeşil opallerden yapılan XRF analizleri sonucunda ana elementlerden  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  (%1,5) ve iz elementlerden Cu (6622 ppm) elementinde belirgin zenginleşme gözlenmiştir (Tablo 2). Krizokol'ün kimyasal bileşimi değişkendir; %45,2 CuO, %34,3  $\text{SiO}_2$  ve %20,5  $\text{H}_2\text{O}$  içerebilir. Bileşiminde genellikle %17 kadar  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , %7  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  ve %7-9  $\text{P}_2\text{O}_5$  bulunabilir [28]. İnceleme sahasından alınan krizokol mineralinden yapılan ICP-MS analizi sonucunda, ana elementlerden  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  (%0,54) ve iri katyonlu litofil elementlerden Ba (790 ppm) ve Sr (113 ppm), kalıcılığı yüksek elementlerden U (140,9 ppm), değerli metal elementlerden Ag (23,7 ppm) ve Au (13,6 ppm) ve geçiş metallere Cu elementinde (>10000 ppm) belirgin zenginleşme gözlenmiştir (Tablo 3).

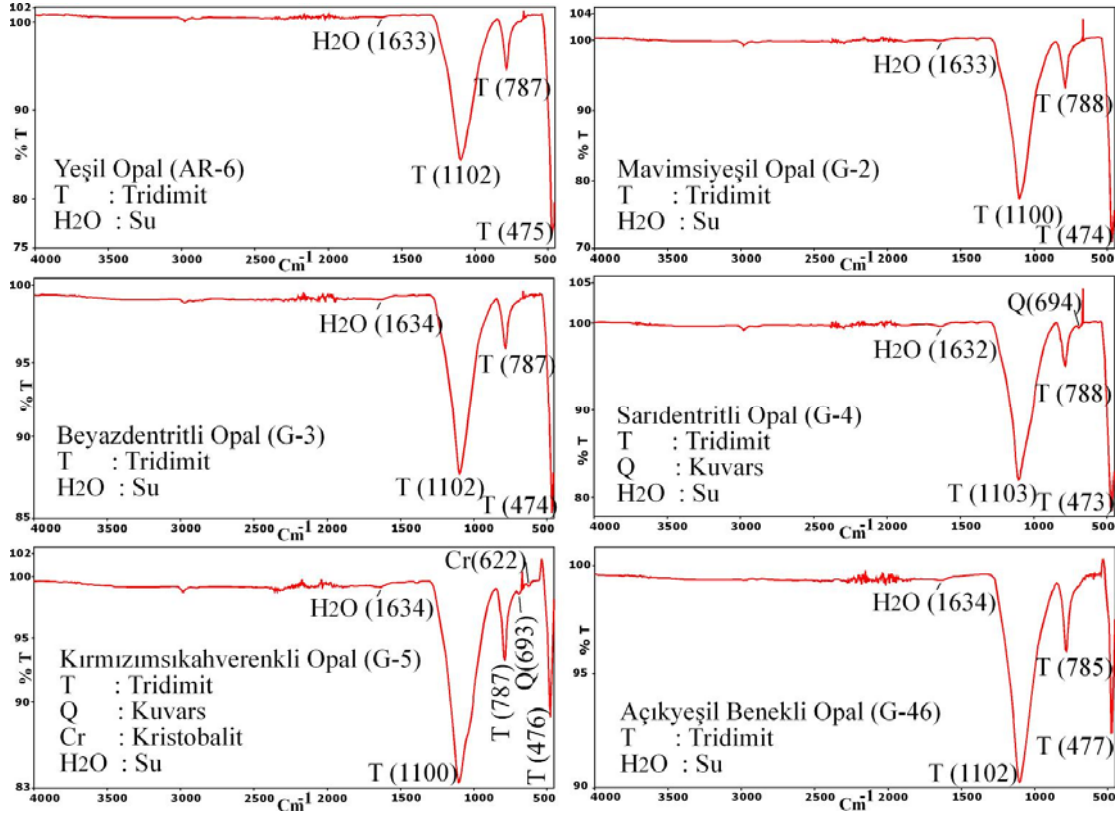


Şekil 2. Bazaltlar içerisinde damar şeklinde oluşan opal a) ve krizokol b) oluşumları (Opal (a) and chrysocolla (b) formations as veins formed in Basalts)

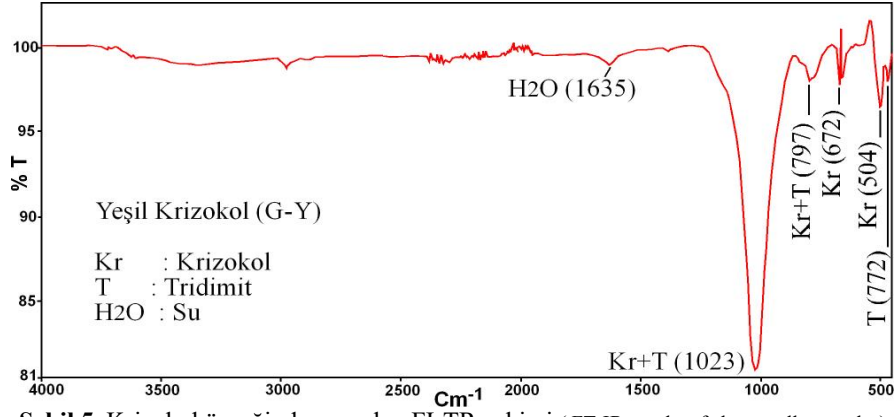




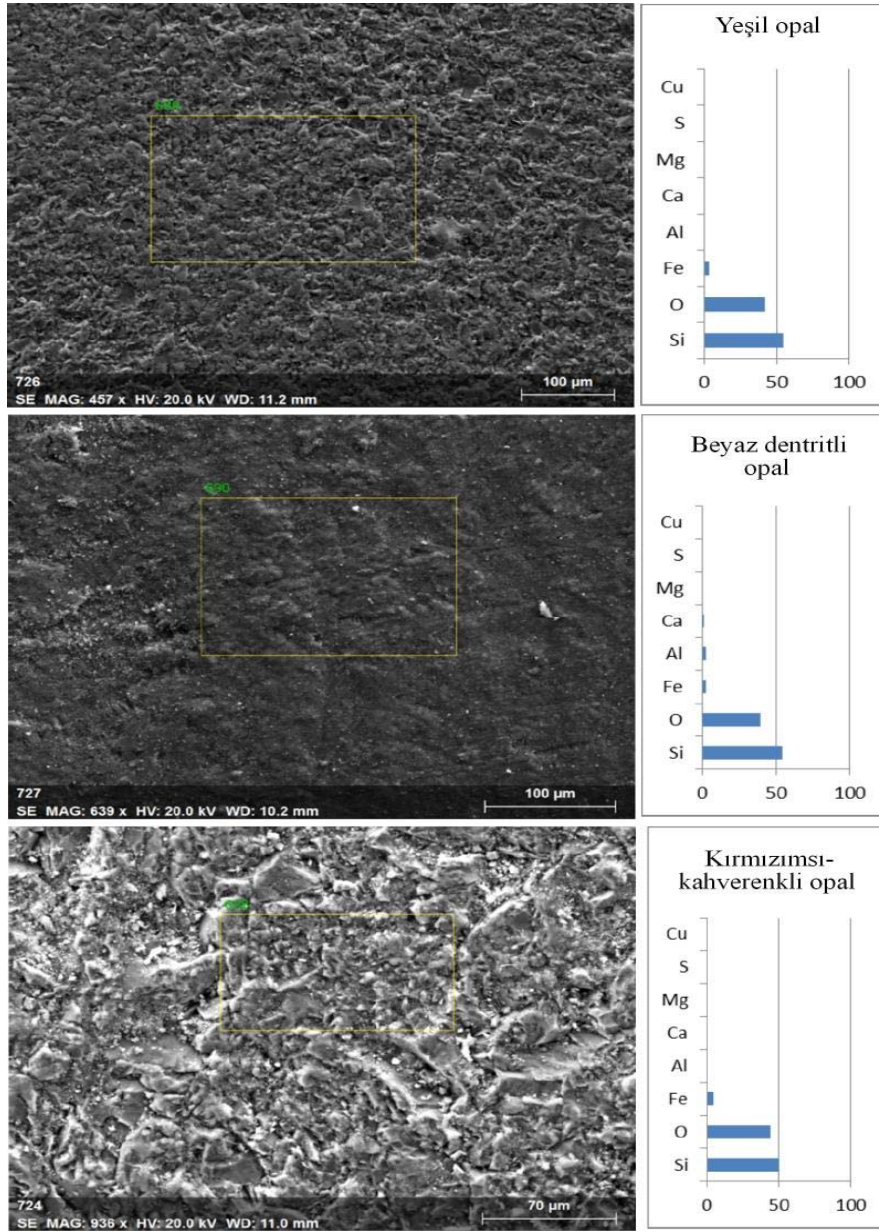
Şekil 3. Yeşil renkli silisli süstaşı örneğinin XRD çekimi (The XRD graph of green silicon gemstone)



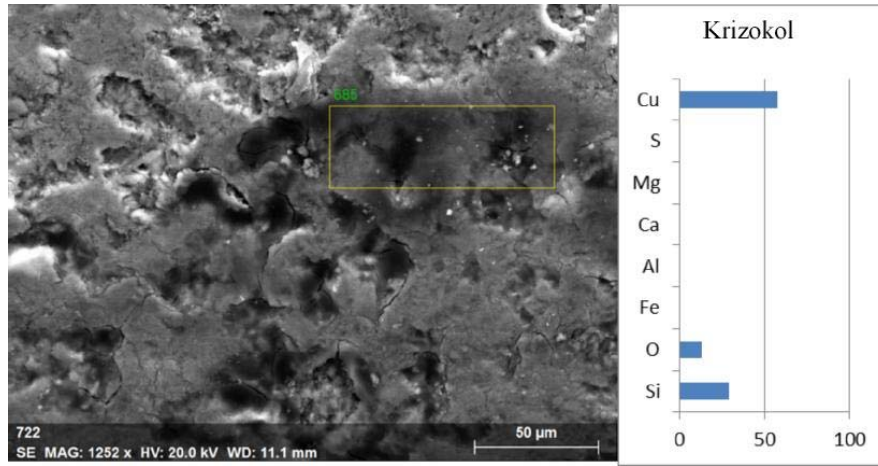
Şekil 4. Opal örneklerinden yapılan FT-IR çekimleri (FT-IR graphs of opal samples)



Şekil 5. Krizokol örneğinden yapılan FI-TR çekimi ( FT-IR graphs of chrysocolla samples)



Şekil 6. Opal örneklerinin FE-SEM-EDX analizleri ve element yüzde dağılım grafiği (FE-SEM-EDX graphs of opal samples and scatter chart of elemental percent)



**Şekil 7.** Krizokol örneğinin FE-SEM-EDX analizleri ve element yüzde dağılım grafiği.  
(FE-SEM-EDX analysis of chrysocolla sample and scatter chart of elemental percent)

**Tablo 1.** Krizokol ve opallerin FE-SEM-EDX çekimlerinden elde edilen element yüzde dağılımları  
(Elemental percentage distribution of chrysocolla and opals derived from the E-SEM-EDX analysis)

Örnek/Element	Si	O	Fe	Al	Ca	Mg	S	Cu
Yeşil opal	54,51	41,31	2,94	0,61	0,33	0,31	-	-
Beyaz dentritli opal	54,20	39,63	2,40	2,22	0,92	0,63	-	-
Kırmızımsı-kahverenkli opal	50,30	44,16	4,51	0,40	0,39	0,13	0,11	-
Krizokol	29,30	13,19	-	-	-	-	-	57,51

**Tablo 2.** Mavimsi yeşil opal±krizokol örneğinin XRF analiz sonucu.  
(XRF analysis results of bluish-green opal sample)

Ana Elementler (%)		İz Elementler (ppm)	
SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Ba	V
91,19	0,59	670	535
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MgO	Ni	
1,50	0,56	127	
CaO		Cu	
0,39		6622	
Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	Zn	
0,07	0,04	124	
	TiO <sub>2</sub>		
	0,01		
	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>		
	0,02		
	MnO		
	0,02		

**Tablo 3.** Krizokol örneğinin ICP-MS analiz sonuçları. (ICP-MS analysis results of chrysocolla sample.)

Ana Elementler (%)										
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>
45,15	0,33	0,54	0,20	0,38	0,02	0,01	0,01	0,03	0,01	0,002
LILE (ppm)					HFSE (ppm)					
Rb	Cs	Ba	Sr	Ga	Sc	Y	Th	U	Zr	Hf
0,1	0,1	790	113	9,8	7	1,0	0,2	140,9	3,1	0,1
HFSE (ppm)		REE (ppm)								
Nb	Ta	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy
1,4	0,1	0,8	0,6	0,10	0,5	0,10	0,02	0,13	0,02	0,11
REE (ppm)		PM (ppm)				TM (ppm)				
Ho	Er	Tm	Yb	Lu	Au	Ag	Zn	Cu	Co	Ni
0,04	0,10	0,03	0,18	0,04	13,6	23,7	14	>10000	4,8	21,8

PM=Değerli metalller, LILE=İri katyonlu litofil elementler, HFSE=Kalıcılığı yüksek elementler, REE=Nadir toprak elementler, TM=Geçiş metalleri





**Şekil 8.** İnceleme sahasında gözlenen silisli süstaşları a) Beyaz opal b) Mavimsi yeşil opal±krizokol c) Beyaz dendritli opal d) Açık yeşil benekli opal e) Sarı dendritli opal f) Kırmızımsı kahverenkli opal g h) Krizokol  
(Silicon gemstones observed in the study area (a) Green Opal (b) bluish green opal (c) White dendrite opal (d) speckled light green opal (e) Yellow dendrite opal (f) Reddish brown opal g (h) chrysocolla)



**Şekil 9.** İnceleme sahasında gözlenen silisli süstaşlarından yapılan takılar a) Opaller b) Krizokoller  
(Jewelries made from siliceous gemstones observed in the study area (a) Opals (b) Chrysocollas)

### 4.3. Gemoloji (Gemology)

İnceleme alanında bulunan silisli süstaşı oluşumlarının, mineralojik ve jeokimyasal incelemeleri sonucunda opal ve krizokol oldukları tespit edilmiştir. Opal örnekleri yeşil, mavimsi yeşil, beyaz dentritli, açık yeşil benekli, sarı dentritli ve kırmızımsı kahverenkli; krizokol mavimsi yeşil renkli olarak gözlenmektedir (Şekil 8). Yapılan gemolojik çalışmalar sonucunda, inceleme alanında bolca bulunan mumsu parlaklıkta ve masif yapıdaki krizokol ve opallerin renk, dayanıklılık, renklerin homojen dağılımı, işlenebilirlik gibi özelliklerinden dolayı süstaşı olarak kullanılmaya elverişli oldukları belirlenmiştir (Şekil 9). Bölgedeki silisli süstaşı oluşumlarına ulaşımın yetersiz olması ticari olarak dezavantaj olmakla birlikte, geniş bir alanda (yaklaşık 12 km<sup>2</sup>) yayılım sunması ve gemolojik özellikleri nedeniyle ekonomik olarak önemli bir potansiyele sahip oldukları düşünülmektedir.

### 5. SİMGELER (SYMBOLS)

ÇÜ	: Çukurova Üniversitesi
HFSE	: Kalıcılığı yüksek elementler
FE-SEM-EDX	: Alan Emisyonlu Taramalı Elektron Mikroskopu- Enerji Dağılımı X – ışını analizi
FT-IR	: Fourier dönüşümlü kızılötesi spektroskopisi
ICP-MS	: İndüktif olarak eşleştirilmiş plazma-kütle spektrometresi
LILE	: İri katyonlu litofil elementler
MTA	: Maden Tetkik ve Arama Müdürlüğü
PM	: Değerli metaller
Ppm	: Milyonda bir birim
REE	: Nadir toprak elementler
TM	: Geçiş metalleri
XRD-TK	: X-Işınları Difraktometresi- Tüm kaya
XRF	: X-ışını floresan Spektrometresi

### 6. SONUÇLAR (CONCLUSIONS)

İncelenen silisli süstaşları, Geç Miyosen yaşlı Yamadağ Volkanitleri ile ilişkili olup, yaklaşık doğu-batı doğrultulu kırıkları doldurmuş damarlar halinde, boyutları birkaç cm'den yaklaşık 30-40 cm'ye kadar değişen yumrular halinde oluşmuş krizokol ve opallerdir. Krizokol mavimsi-yeşil, opaller (opal-CT) ise yeşil, açık yeşil benekli, mavimsi yeşil, sarı dentritli, beyaz dentritli ve kırmızımsı kahve renge sahiptir. Krizokolün yoğunluğu 2,16 gr/cm<sup>3</sup>, opallerin yoğunluğu ise 2,03-2,12 gr/cm<sup>3</sup> aralığında ölçülmüştür. Opaller genellikle tridimit mineralinden oluşmaktadır; bazı örneklerde tridimit'e kuvars ve kristobalit mineralleri de eşlik etmektedir. Mavimsi yeşil renge sahip krizokollerin Cu içeriği yüksektir (%57,51); Farklı renge sahip opallerin ise metalik element içerikleri değişkenlik göstermektedir. Yeşil opallerin Fe içerikleri %2,94 iken, kırmızımsı kahverenkli opallerde %4,51, beyaz-dentritli opallerde %2,40 oranındadır. İlaveten, beyaz-dentritli opallerde Al %2,22, mavimsi yeşil opal±krizokolde Fe %15 ve Cu 6622 ppm dir.

Bu elementlerdeki zenginleşmelere göre süstaşlarının sahip oldukları renkler oluşmuştur. Gemolojik çalışmalar sonucunda, inceleme alanında bolca bulunan mumsu parlaklıkta ve masif yapıdaki krizokol ve opallerin renk, dayanıklılık, renklerin homojen dağılımı, işlenebilirlik gibi özelliklerinden dolayı süstaşı olarak kullanılmaya elverişli oldukları belirlenmiştir. Ancak krizokollerdeki U miktarının 140,9 ppm'e kadar zenginleşmiş olması nedeniyle, bu süstaşının takı olarak kullanılmasının insan sağlığı üzerine etkilerinin araştırılarak kullanılması daha uygun olacaktır.

Günümüzde yüzeyde bulunan süstaşlarının toplanması ve kazılması ile gerçekleştirilen üretimin, modern yöntem ve teknikler ile yapılması durumunda, derinlerde de bulunması muhtemel silisli süstaşlarının zarar görmeden üretime kazandırılması mümkün olacaktır. Yozgat-Aydıncıkta bulunan silisli süstaşları (mavi kalsedon+ametist) Aydıncık Halk Eğitim Merkezi tarafından çıkarılıp işlenmekte ve bölge ekonomisine katkı sunmaktadır [33]. Benzer şekilde Arguvan-Malatya opal ve krizokollerinin geniş bir yayılım alanına sahip olduğu düşünüldüğünde, bu süstaşı sahasının işletilmesinin de hem yöre halkına hem de bölge ekonomisine katkı sağlayacağı öngörülmektedir.

### KAYNAKLAR (REFERENCES)

1. Vieil M., Çavuşoğlu İ., Celep O., Alp I., Yılmaz A.O., Opal ve Genel Özellikleri, 5. Endüstriyel Hammaddeler Sempozyumu, İzmir, Türkiye, 13-14 Mayıs, 2004.
2. Fritsch E., Gaillou E., Ostroumov M., Rondeau B., Devouard B., Barreau A., Relationship between nanostructure and optical absorption in fibrous pink opals from Mexico and Peru. *European Journal of Mineralogy* 16, 743-752, 2004.
3. Koivula J.I. and Fryer C.W., Green opal from East Africa. *Gems & Gemology* 20, 226-227, 1984.
4. Gaillou E., Delaunay A., Rondeau B., Bouhnik Le Coz M., Fritsch E., Cornen G. and Monnier C., The geochemistry of gem opals as evidence of their origin. *Ore Geology Reviews*, 34, 127-133, 2008.
5. McOrist G.D., Smallwood A., Trace elements in colored opals using neutron activation analysis. *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry* 198, 499-510, 1995.
6. Bartoli F., Bittencourt Rosa D., Dourisse M., Meyer R., Philippy R., Samama J.C., Role of aluminium in the structure of Brazilian opals. *European Journal of Mineralogy* 2, 611-619, 1990.
7. Jones J.B. and Segnit E.R., The Nature Of Opal I. Nomenclature And Constituent Phases, *Journal of the Geological Society of Australia*, 18, 1, 57-68, 1971.
8. Brajkovic A., Rolandi V., Vignola P., Grizzetti R., Blue and pink opals from Acari, Peru - their optical, structural and spectroscopic features. *The Australian Gemmologist* 23, 3-15, 2007.
9. Rossman G.R., Colored varieties of the silica minerals. In P.J. Heaney, C.T. Prewitt, G.V. Gibbs, Eds., *Silica-Physical Behavior, Geochemistry and Materials*



- Applications. Mineralogical Society of America, Reviews in Mineralogy 29, 433-467, 1994.
10. Chukrov F.V., Zviagin A.J., Gorshkov L.P., Yermilova Y.S., Rudnitskaya, Chrysocollas. International Geology Survey 11, 570-581, 1968.
  11. Koivula J.I., Tannous M., Lab Note, Chrysocolla « owl » agate. Gems and Gemology 39, 314, 2003.
  12. Crane M.J., Sharpe J.L., Williams P.A., Formation of Chrysocolla and Secondary Copper Phosphates in the Highly Weathered Supergene Zones of Some Australian Deposits. Records of the Australian Museum, 53, 49-56, 2001.
  13. Thompson W.A., Chrysocolla pseudomorphs from Ray, Arizona. Mineralogical Record 11, 248-250, 1980.
  14. Koivula J.I., Fryer C.W., Keller C.P., Opal from Queretaro, occurrence and inclusions. Gems and Gemology 19, 87-98, 1983.
  15. Smallwood A.G., Chemical and physical evaluation of Australian Precious Opal. Unpublished M.Sc. thesis, University of Technology, Sydney, Australia, 1999.
  16. Koivula J.I., Kammerling R.C., Fritsch E., Gem News, Chalcedony colored by mineral inclusions. Gems and Gemology 29, 208-209, 1993.
  17. Vasconcelos P., Cohen B., Calos N., Color in quartz, from atomic substitutions to nanoinclusions. Australian Gemmologist 21, 278, 2002.
  18. Hatipoğlu M., Babalık H., Chamberlain S.C., Gemstone Deposits in Turkey, Rocks and Minerals, 85/2, 124-133, 2010.
  19. Selim H., Türkiye'nin Değerli ve Yarı Değerli Mücevher Taşları, İstanbul, 2014.
  20. Yılmaz Y., New evidence and model on the evolution of the southeast Anatolian Orogen. Geological Society of America Bulletin 105, 251-71, 1993.
  21. Ekici T., Arğuvan-Arapgır (MALATYA) Arasında Malatya Fayı Boyunca Gözlenen Neojen Volkaniklerinin Petrolojisi. (Doktora Tezi). Çukurova üniversitesi, Adana, 2003.
  22. MTA, 1/500.000 Türkiye Jeoloji Haritası. Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü, Ankara, 2002.
  23. Kaydu İ., Malatya ve Çevresindeki Süstaşı Oluşumlarının Mineralojik, Jeokimyasal İncelemesi Ve Gemolojik Özellikleri. (Doktora Tezi). Çukurova Üniversitesi, Adana, 2014.
  24. Wilson M.J., The structure of opal-CT revisited. Journal of Non-Crystalline Solids, 405, 68-75, 2014.
  25. Antonio P.L., Gronchi C.C., Oliveira R.A., Houry H.J., Caldas L.V., TL and OSL dosimetric properties of Opal gemstone for gamma radiation dosimetry. Radiation Measurements, 90, 219-223, 2016.
  26. Caucia F., Marinoni L., Ghisoli C., Leone A., Gemological, physical and chemical properties of prase opals from Hanety Hill (Tanzania). Periodico di Mineralogia, 85, 41-50, 2016.
  27. Marel H.M.V., Bentelbacher H., Atlas of infrared spectroscopy of clay minerals and their admixtures (NY: Elsevier Science Publishers), 1976.
  28. Çelik M., Karakaya N., Sistematik Mineraloji. Bizim Büro Basımevi, Konya. 71-72, 274-276, 1998.
  29. Akbulak İ.K., Gürbüz M., Önal A.Ö., İşler F., Yamadağ Volkanitlerindeki Krizokollerin Mineralojik ve Gemolojik Özellikleri, Uluslararası Katılımlı Doğu Anadolu Jeoloji Sempozyumu (DAJEO2015), Van, Türkiye, 210-211, 07-11 Eylül, 2015.
  30. Kurešević L., Vušović O., Delić-Nikolić I., Geology Of Gemstone Deposit Ugljarevac (Central Serbia) And Contributions To Genetic Model. Geologica Macedonica, 31 (1), 67-76, 2017.
  31. Kurešević L., Dević S., Silica veins in GajLazine locality (central Serbia) as gemstone. Geologica Macedonica, 28, 2, 185-192, 2014.
  32. Laurs Brendan M., Chrysocolla chalcedony from Spain., The Journal of Gemmology, 34 (6), 472, 2015.
  33. Akbulak İ.K., Gürbüz M., Başibüyük Z., Ulus Ü., Aydıncık (Yozgat) Kalsedonlarının Mineralojik, Jeokimyasal ve Gemolojik İncelemesi, Ahi Evran Üniversitesi, PYO-MÜH.4001.15.002 Nolu Bilimsel Araştırma Projesi Raporu, Kırşehir, Türkiye, 2016.

