

EFEMÇUKURU (MENDERES-İZMİR) EPİTERMAL ALTIN YATAĞI'NI OLUŞTURAN HİDROTERMAL SIVILARIN KÖKENİ VE EVRİMİ

Ömer ILGIN¹, Tolga OYMAN²

¹Efemçukuru Altın Madeni Menderes-İzmir (omer.ilgin@tuprag.com)

²Dokuz Eylül Üniversitesi Jeoloji Bölümü Buca-İzmir (tolga.oyma@deu.edu.tr)

A.Giriş

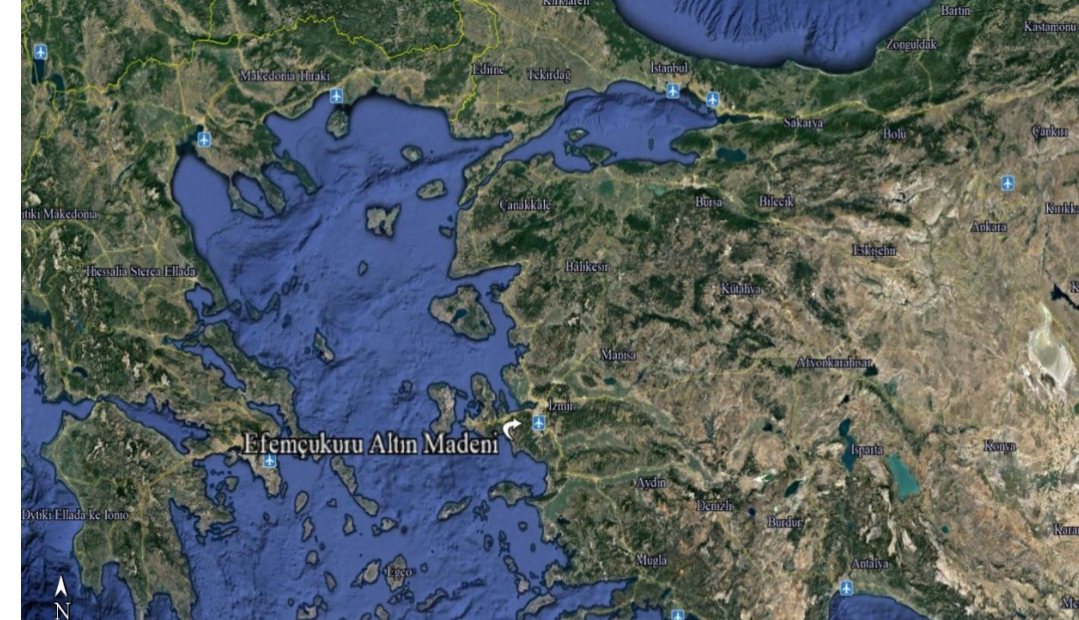
Batı Tetis Metalojenik Kuşağı içerisinde yer alan Efemçukuru Altın Madeni bu kuşağın Batı Anadolu Genişleme Zonu'nda yer almaktadır. Seferihisar ve Orhanlı doğrultu atımlı fay zonları ile sınırlı Geç Kretase yaşlı Bornova Filizi Zonu'ndan oluşan Seferihisar yükseltilerinde bulunan Efemçukuru Altın Madeni, başlıca Kestanebeli ve Kokarpınar adı verilen çok fazlı ortaç sulfidasyon epitermal damar sistemlerinden oluşmaktadır.

İşletilen Kestanebeli, ileri seviye araştırma aşamasında olan Kokarpınar ve araştırması devam eden diğer epitermal damarlar, Bornova Filizi içinde yer alan şist, fillit ve hornfels türü kayalara yerleşmiştir. Cevherleşme, KKD eğimli (30-45) BKB doğrultulu ve DKD eğimli (45-65) KKB doğrultulu, listrik yapılarla yerleşmiştir. Cevherleşmenin yerleştiği BKB yönlü yapıların KKB yönlü aktarım rampalarına odaklanan hidrotermal sıvılar, zengin cevher gövdeleri oluştururlar.

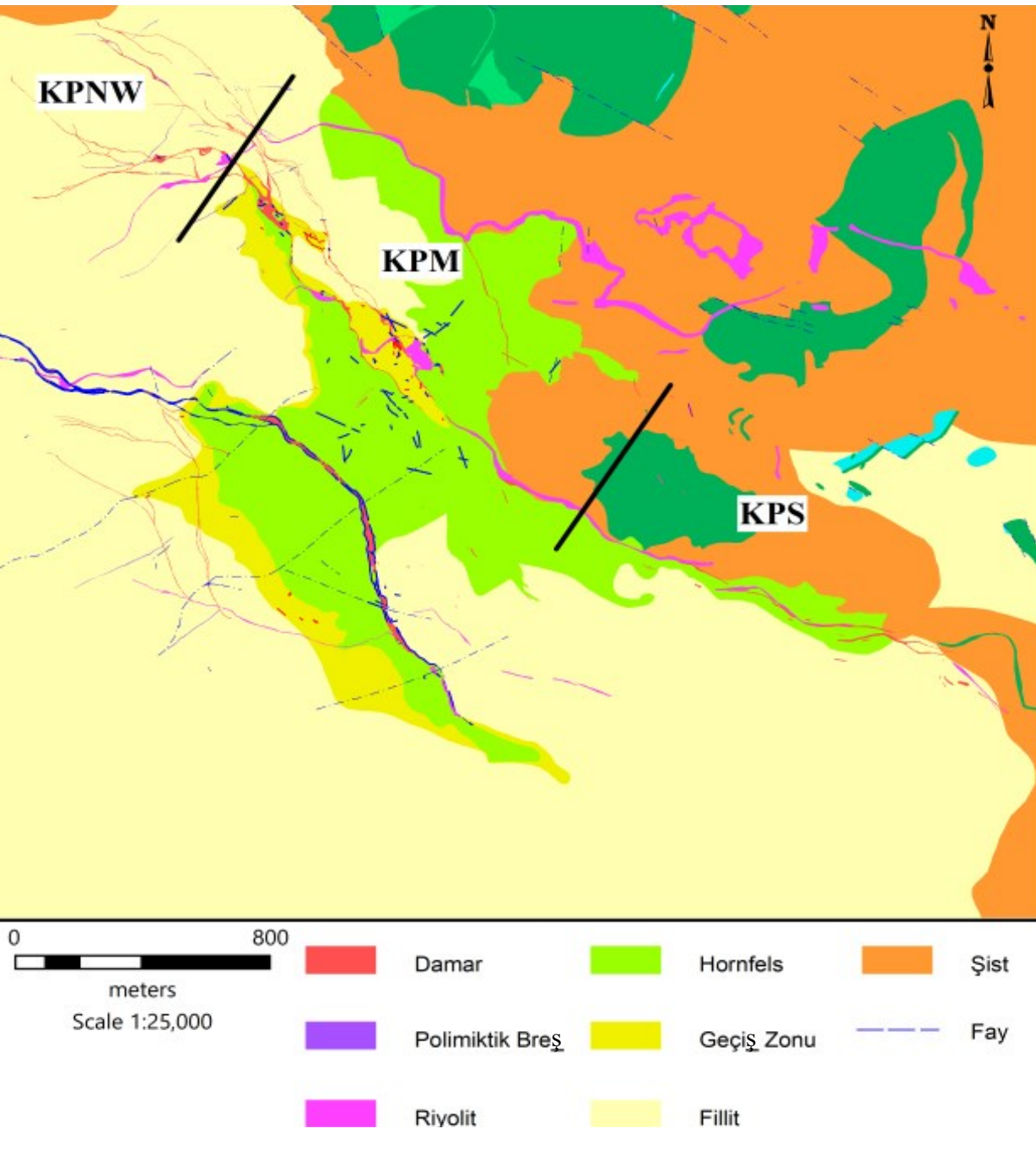
Cevherleşmenin merkezinde yer alan hornfelsin ilksel kayası Bornova Filizi'ne ait pelitik-psammatik kayalardır. Hornfels oluşumunun ve sonrasındaki hidrotermal aktivitenin kaynağı, gömülü sokulum kayası olarak düşünülmektedir. KKD eğimli (25-55) BKB doğrultulu üç set halinde Miyosen Cumaovaşı volkanikleri ile eş yaşlı riyolit daykaları, cevherleşmenin yasa kontrolüne etki eder. Hornfelsde ve çevresinde bulunan, kalk-silika (kuvars-klorit-epidot-amfibol-feldspat) alterasyonu ile ilişkili pirit-pirotin-galen-sfalerit-kalkopirit-manyetit-hematit içerikli saçınım ve damar tipi epitermal öncesi ekonomik olmayan mineralizasyon, hidrotermal aktivitenin son ürünü olan epitermal damarlar tarafından kesilmektedir.

Rodonit-rodokrozit-kuvars-kalsit-sülfit (pirit-galen-sfalerit-

kalkopirit) mineralleri damar tipi cevherleşmenin başlıca gang mineralleridir. Ayrıca geç evre hidrotermal çözeltilere bağlı kil minerallerinin baskın olduğu alterasyon birliklikleri saptanmıştır. Altın sülfit minerallerinin içerisinde ve/veya serbest halde bulunur. Kokarpınar damarındaki sıvı kapanım çalışmalarında cevherleşmenin homejenleşme sıcaklığı 199-309 derece ve yüzde tuzluluk oranı 0.8-4.8 arasında gözlemlenmiş, Kestanebeli damarındaki cevherleşme ile benzerlik gösterir.



Şekil 1. Efemçukuru Altın Madeni Google Earth üzerindeki görüntüsü



Şekil 2. Kokarpınar damarı cevher zonları gösteren haritası

Epitermal Cevherleşme

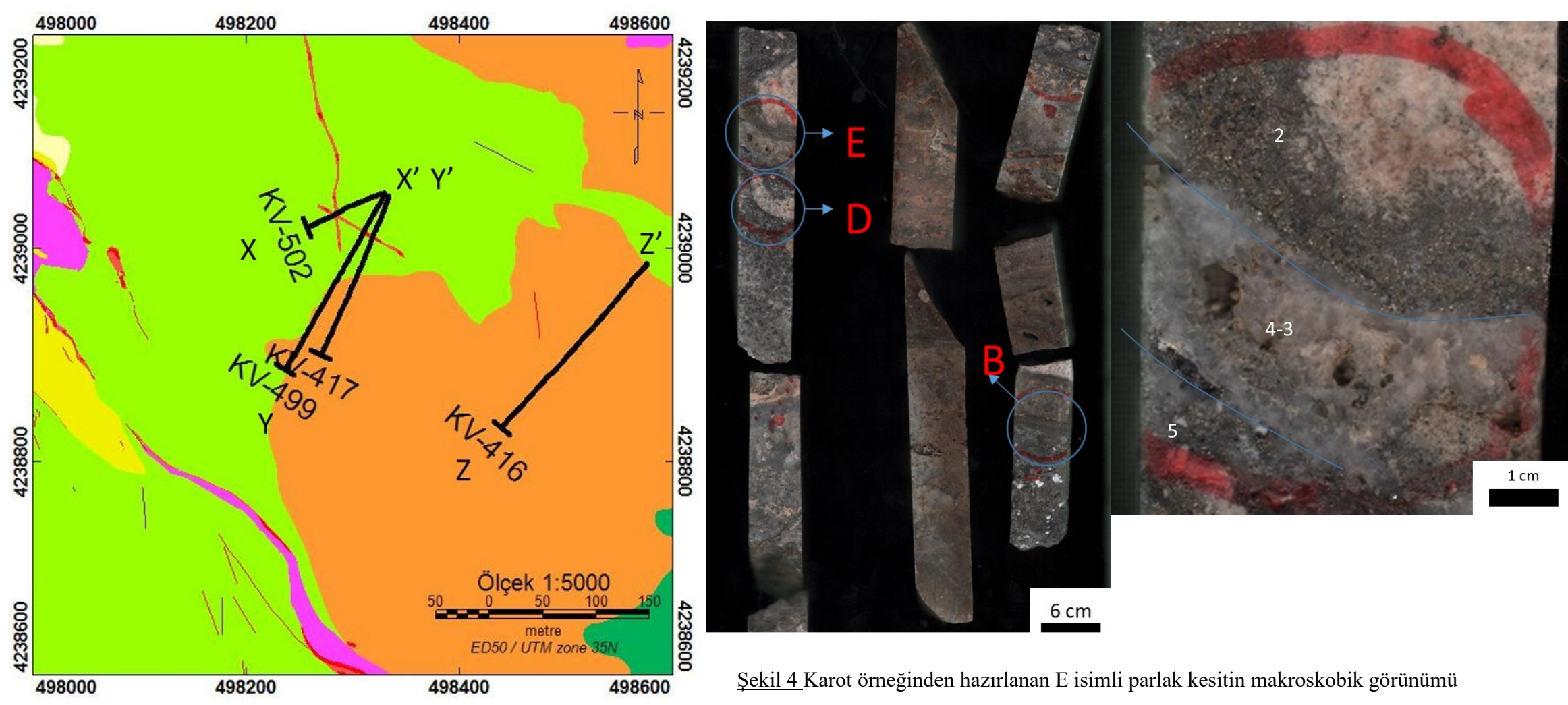
Haritalama ve loglama çalışmalarının sonucunda Efemçukuru Altın Madeni'nin sahada bulunan faylara yerleştiği gözlemlenmiştir. Faylar üzerindeki segmentasyon cevherin karakterleri kontrol etmektedir. Bundan dolayı cevherleşme uzunlukları 200-1000 metre arasında değişen fay segmentlerine ayrılarak incelenmiştir. Bu segmentler boyunca benzer doğrultu ve eğime sahip olan cevher damarlarının cevher karakterleri ve mineral parajenezleri de birbirine benzer. Bazı uzun segmentler alt kollara da ayrılmıştır. Fakat bu alt kolları karakterleri birbirine benzemektedir. Ayıklanan bu fay segmentlerine cevherleşme zonları denilmektedir.

Ayrıca cevherleşme güneyden kuzeye doğru ve alt kotlardan yüzeye doğru sıcaklık ve sıvı kaynağına olan uzaklık farklılıklarından dolayı bir takım değişiklikler gösterir. Kuvars dokuları ve tane boylandırdaki, gang minerallerindeki değişimler ve metal zonlanması bu değişikliklere örnektir.

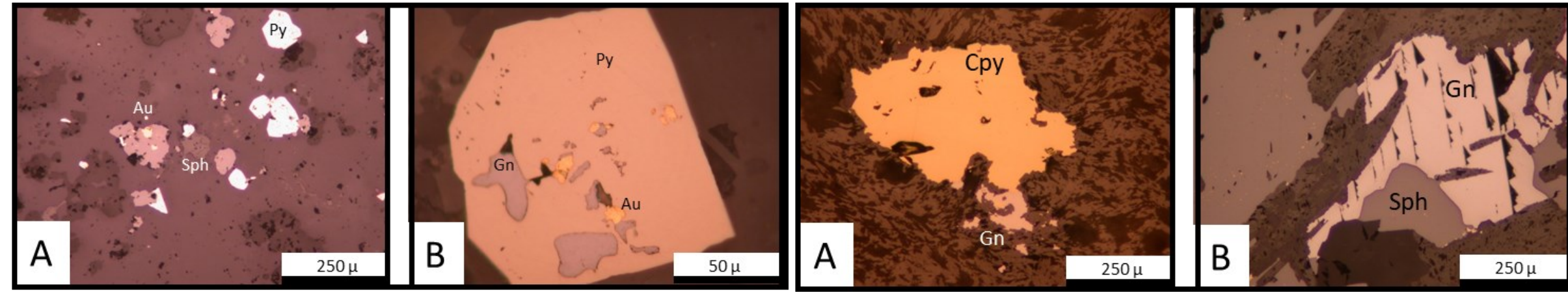
Kokarpınar damarı 3,5 km uzunluğuyla çalışma alanının en uzun damarıdır. Tuprag A.Ş. tarafından 1992 yılında başlayan arama faaliyetleri, günümüzde halen ileri seviyede devam etmektedir. Kestanebeli damarından uzun olmasına rağmen üç adet cevher zonuna ayrılmıştır. Fakat bu cevher zonları kendi içerisinde bir çok cevher gövdesine ayrılmıştır. Birbirinden farklı özellikler gösteren cevher zonlarına göre ayrılan cevher gövdelerinin jeolojik karakterleri birbirine daha çok benzemektedir. Buna göre güneyden kuzeye doğru cevher zonlarının isimleri; Kokarpınar güney cevher zonu (KPS), Kokarpınar orta cevher zonu (KPM) ve Kokarpınar kuzeybatı cevher zonu (KPNW).

Cevher Mikroskobisi

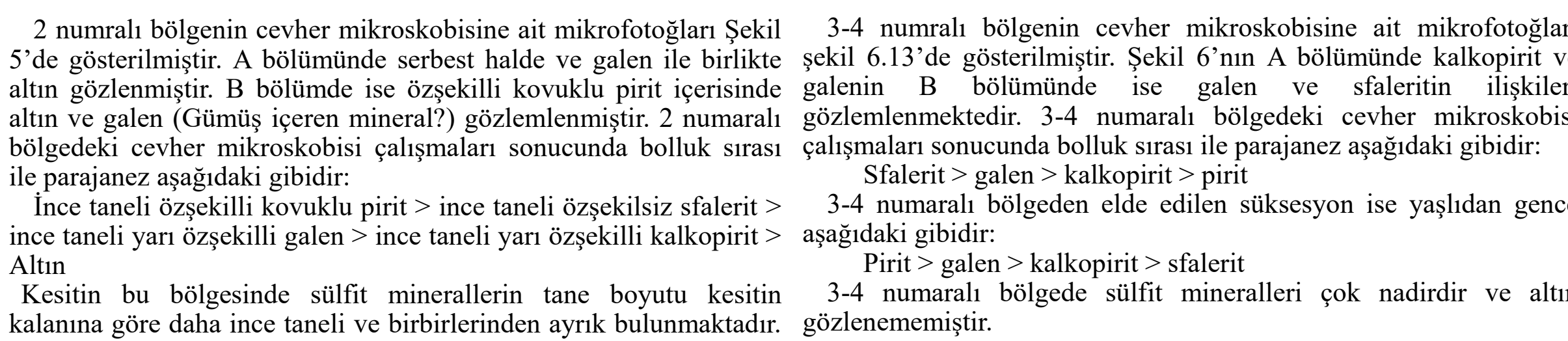
Cevher mikroskobisi çalışmasında 3 bölgeye ayrılarak incelenmiştir. Şekil 4'deki makroskobik tarayıcı görüntüsünde E isimli parlak kesit örneği ve inceleme bölgelerinin numaraları yer almaktadır. 2 numaralı bölgenin makroskobik incelemesinde, kuvars-rodonit fazında saçınım halinde sülfit mineralleri ve damar halinde bolluk sırasıyla pirit, sfalerit, galen ve kalkopiritten oluşan sülfid mineralleri gözlemlenir. 3-4 numaralı bölgenin makroskobik incelemesinde kovuklu prizmatik kaba taneli kuvarslar içinde saçınım halinde az miktarda sülfid minerali gözlemlenir. 5 numaralı bölgenin makroskobik incelemesinde kuvars-sülfid fazı gözlemlenir.



Şekil 3. Sıvı kapanım kesitlerinin ve cevher mikroskobisi parlak kesitlerinin (KV-499) alındığı kuyuların harita üzerindeki izdüşümleri



Şekil 5. E isimli parlak kesit örneğinin 2 numaralı zonuna ait // nikel mikrofotografarı



Şekil 6. E isimli parlak kesit örneğinin 3-4 numaralı zonuna ait // nikel mikrofotografarı

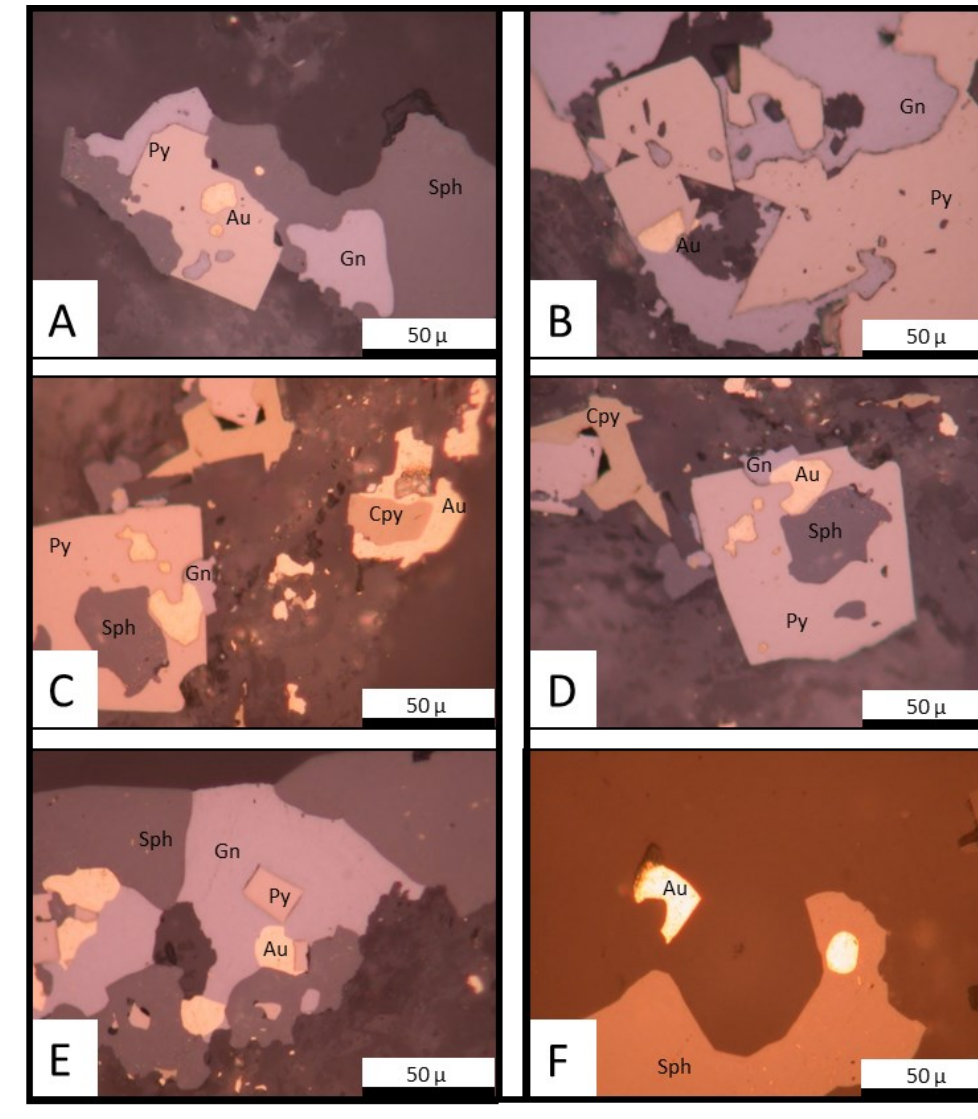
2 numaralı bölgenin cevher mikroskobisine ait mikrofotografarı Şekil 5'de gösterilmiştir. A bölümünde serbest halde ve galen ile birlikte altın gözlemlenmiştir. B bölümünde ise özsekilli kovuklu pirit içerisinde altın ve galen (Gümüş içeren mineral?) gözlemlenmiştir. 2 numaralı bölgedeki cevher mikroskobisi çalışmaları sonucunda bolluk sırası ile parajenez aşağıdaki gibidir:

Ince taneli özsekilli kovuklu pirit > ince taneli özsekilli sfalerit > ince taneli yarı özsekilli galen > ince taneli yarı özsekilli kalkopirit > Altın

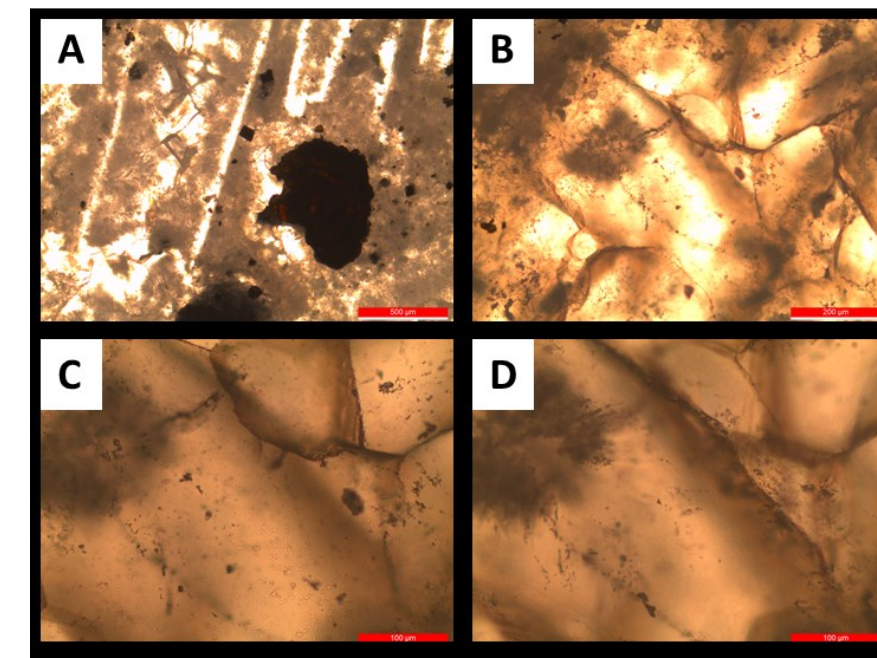
Kesitin bu bölgesinde sülfid minerallerin tane boyutu kesitin kalınlığına göre daha ince taneli ve birbirlerinden ayrı bulunmaktadırlar. Bundan dolayı süksesyon tanımlanamamıştır. Bu bölgede ~5-10 µ boyutunda altın gözlemlenmiştir.

Kaynakça:

- Bodnar, R. J. (1993). Revised equation and table for determining the freezing point depression of H₂O-NaCl solutions. *Geochemistry et Cosmochimica Acta*, 57, 683-684.
Borsi, S., Ferrara, G., Innocenti, F. ve Mazzoli, R. (1972). Geochemistry and petrology of recent volcanics in the eastern Aegean Sea (Western Anatolia and Lesbos Islands). *Bulletin of Volcanology*, 3, 473-496.
Bozcu, K. S. (2016). The structural and fluid evolution of the Efemçukuru epithermal gold deposit, western Turkey. Yüksek Lisans Tezi, The University of British Columbia, The Faculty of Graduate and Postdoctoral Studies (Geological Sciences), Vancouver.
Bozkurt, E. (2001). Neotectonics of Turkey - a synthesis. *Geodinamica Acta*, 3-30.
Erdogan, B. (1990a). Izmir-Ankara zonu ile Karaburun kuşağının tektonik ilişkisi. *MTA Dergisi*, 1-15.
Hedenquist, J. W., Arribas, A. R. ve Gonzalez-Urean, E. (2000). Explanation for epithermal gold deposits. *SEG Reviews*, 13, 245-277.
Jankovic, S. (1977). The copper deposits and geotectonic setting of the Tethyan Eurasian metallogenic belt. *Mineralium Deposita*, 12, 37-47.
Jankovic, S. (1997). The Carpatho-Balkans and adjacent area: A sector of the Tethyan Eurasian metallogenic belt. *Mineralium Deposita*, 32, 426-433.
Morada, D. ve Bodnar, R. J. (2014). Identification of target areas for future exploration in the Efemçukuru, Turkey, epithermal gold system based on fluid inclusions and mineral textures. *Virginia Tech, Yerbilimleri Departmanı, Blacksburg, Tuprag A.Ş.*
Moritz, R. ve Baker, T. (2019). Metallogeny of the Tethyan orogenic belt: From Mesozoic magmatic arcs to Cenozoic back-arc and postcollisional settings in southeast Europe, Anatolia, and the Lesser Caucasus: An introduction. *The Society Of Economic Geologists*, 23, 35-53.
Oyman, T., Minareci, F. ve Pişkin, Ö. (2003). Efemçukuru B-riç epitermal altın yatağı (İzmir, Türkiye). *Ore Geology Reviews*, 25, 35-53.
Richards, J. P. (2015). Tectonic, magmatic, and metallogenic evolution of the Tethyan orogen: From subduction to collision. *Ore Geology Reviews*, 70, 323-345.
Richards, J. P. (2016). Tectonics and metallogeny of the Tethyan orogenic belt. *Society of Economic Geologists*, 387.
Sengör, C. A. (1987). Cross-faults and differential stretching of hanging walls in regions of low-angle normal faulting: examples from western Turkey. *Geological Society, Special Publication* 28, 575-589.
Sengör, C. A., Altiner, D., Çin, A., Ustaömer, T. ve Hsü, K. (1988). Origin and assembly of the Tethyan orogenic collage at the expense of Gondwana land. *Geological Society Special Publication*, 37.
Uzel, B. ve Sözbir, H. (2008). A first record of a strike-slip basin in western Anatolia and its tectonic implication: The Cumaova basin. *Turkish Journal of Earth Sciences*, 17, 559-591.



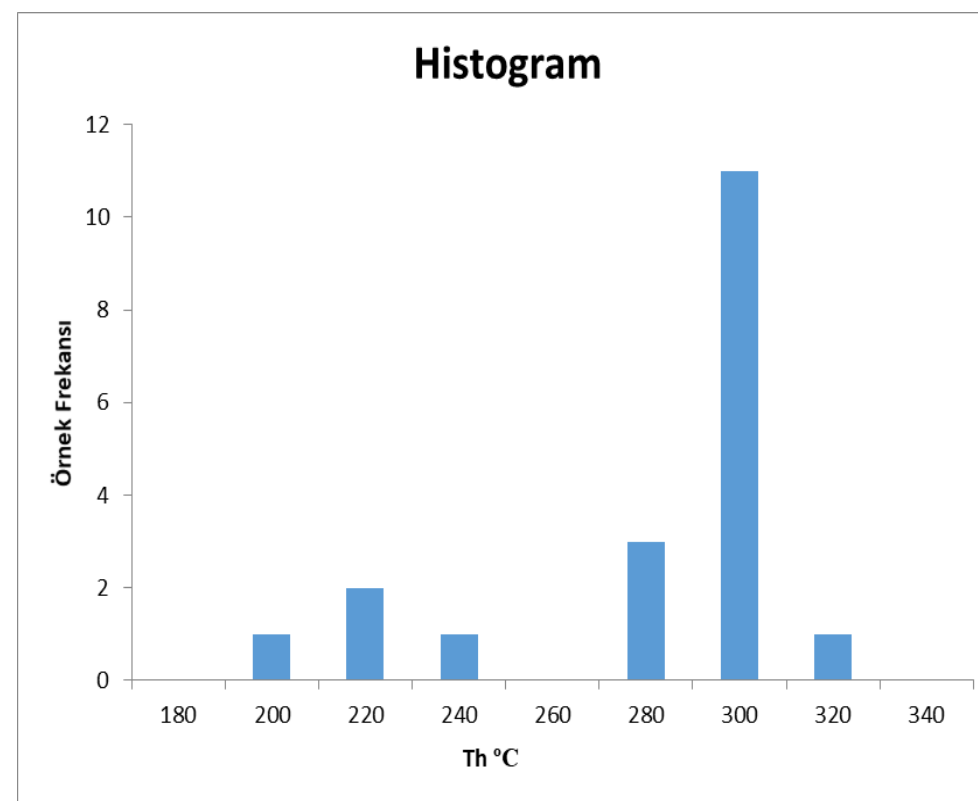
Şekil 7. E isimli parlak kesit örneğinin 5 numaralı zonuna ait // nikel mikrofotografarı



Şekil 10. FI-229 numaralı sıvı kapanım örneğine ait mikrofotografar

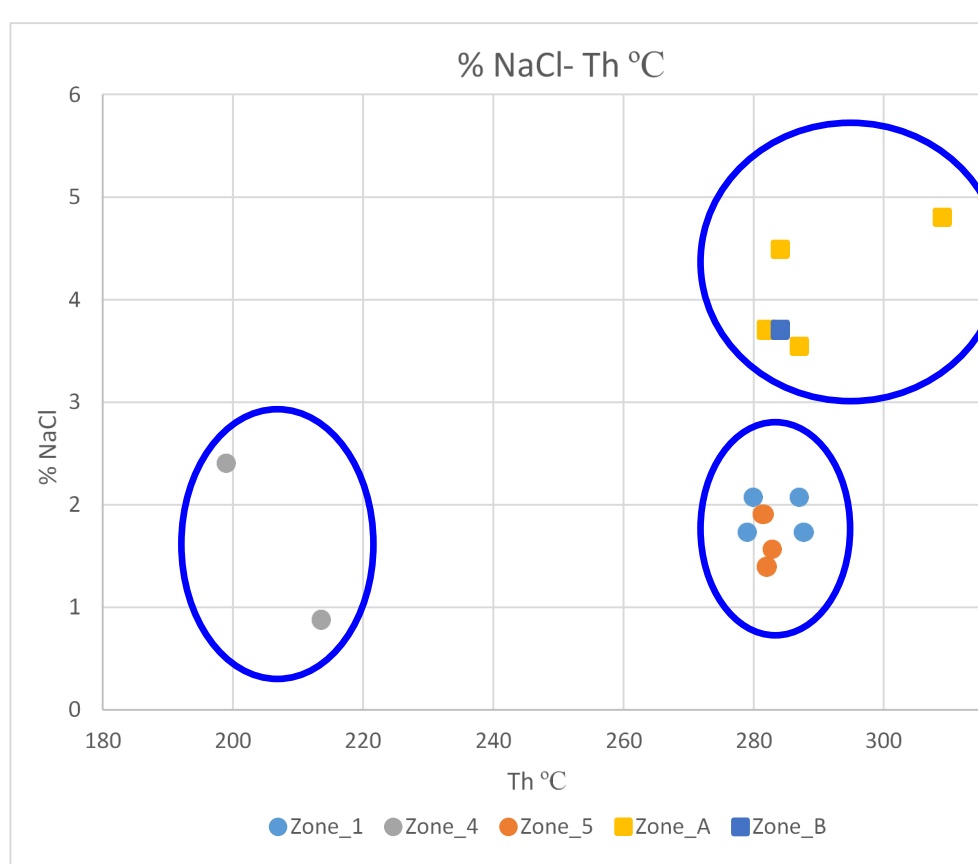
Şekil 10'un A bölümünde, FI-229 isimli kesitin A bölgesine ait 4X objektifli mikroskop görüntüsü vardır. Kaba taneli kuvarslarda çizgisel yapılar gözlemlenir. B bölümünde çizgisel yapı kuvarsların 10X objektif ile inceleme görüntüsü vardır. C ve D bölümünde ise bu kuvarslar 20X objektif inceleme görüntüsü vardır. İri taneli kuvarsların merkezlerinde sıvı kapanımları gözlemlenmek mümkündür.

Bu örnekler içerisinde 50X objektifli mikroskop ile sıvı kapanımlar aranmış ve bulunan kapanımlardan mikrotermometrik analizler yapılmıştır.



Şekil 12. Sıvı Kapanım örneklerinin homojenleşme sıcaklıklarına ait histogram diyagramı

Kapanımlar üzerinde yapılan analizler sonucunda elde edilen T_h sıcaklıklarının histogram diyagramı yapılmıştır. Şekil 12'de görüldüğü üzere birisi 220 °C diğeri ise 300 °C olan iki adet popülasyon saptanmıştır.



Şekil 14. Sıvı kapanım örneklerine ait % NaCl - Th °C grafiği

Sonuçlar

Önceki çalışmalar bölümünde bahsedilen (Oyman, Minareci ve Pişkin, 2003) çalışmasında Kestanebeli damarı için 200° ile 300° arasında değişen homojenleşme sıcaklığı ve 0 ile 9 arasında değişen yüzde tuzluluk belirlenmiştir. Bu çalışma kapsamında Kokarpınar üzerine ilk defa sıvı kapanım çalışması yapılmıştır. Örneklerin seçildiği bölge Kokarpınar damarının kalınlığına göre daha dik eğimli ve KKB yönlü olan aktarım rampası üzerinden seçilmiştir. Buradan elde edilen analiz sonuçlarında homojenleşme sıcaklığının 200° ile 300° arasında olduğu ve yüzde tuzluluk değerinin 1 ile 5 arasında değiştiği görülmüştür. Bu aralıklar Kestanebeli damarı ile benzerlik gösterir.

5 numaralı bölgenin cevher mikroskobisine ait mikrofotografarı Şekil 7'de gösterilmiştir. Şekil 7'nin A bölümünde altının pirit ile birlikteliği, B bölümünde galen-pirit ile altın birlikteliği, C-D-E bölümlerinde kalkopirit-pirit-galen-sfalerit ile altın birlikteliği gözlemlenmiş ve son olarak F bölümünde altın serbest halde gözlemlenmiştir.

5 numaralı bölgedeki cevher mikroskobisi çalışmaları sonucunda bolluk sırası ile parajenez aşağıdaki gibidir:

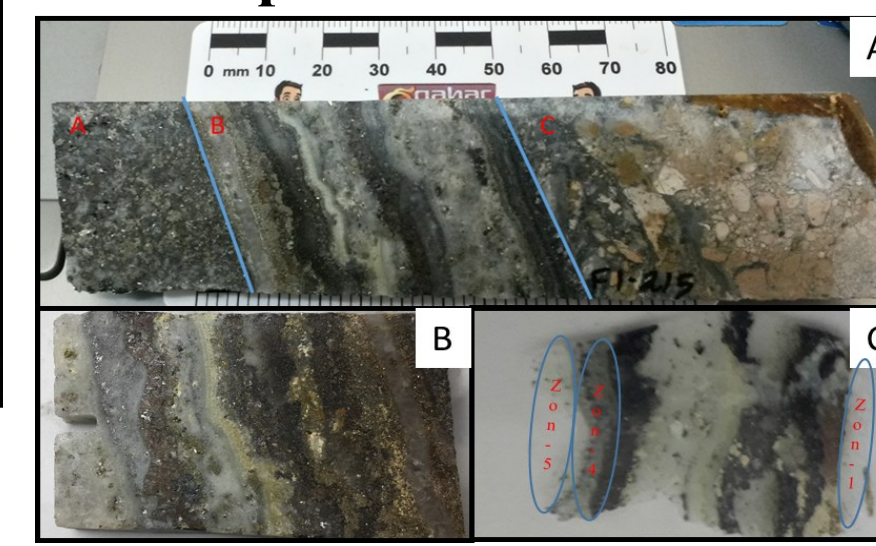
Pirit > sfalerit > galen > kalkopirit > altın

5 numaralı bölgeden elde edilen süksesyon ise yaşlıdan gence aşağıdaki gibidir:

Pirit > galen > kalkopirit > sfalerit > altın

5 numaralı bölgede sülfid minerallerinin tane boyutları kesitin kalınlığına göre daha iridir. Kesitte en fazla altın bu bölgede gözlemlenmiştir. Bölgede gözlenen altının boyutları ~50 µ'a kadar ulaşmaktadır.

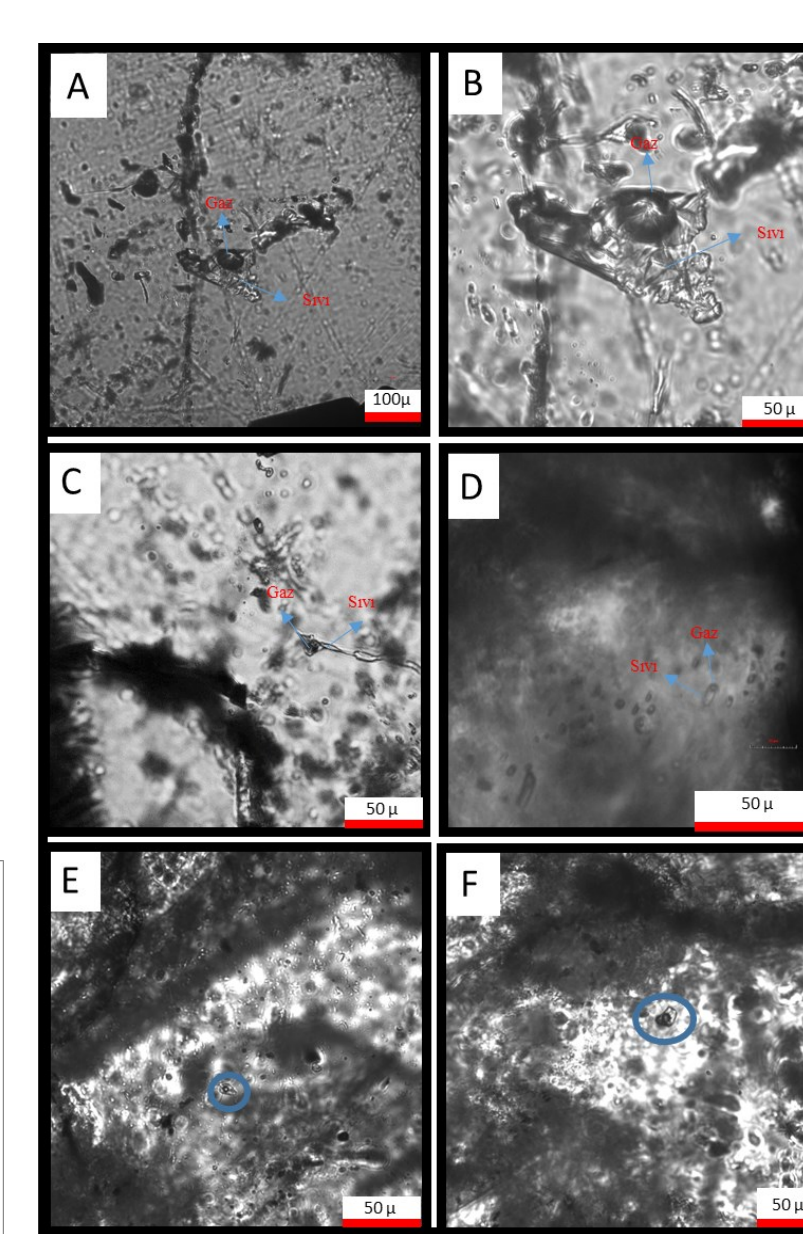
Sıvı Kapanım



Şekil 8. FI-215 isimli kesitin hazırlık aşamalarına ait fotoğraflar

Şekil 8'in A bölümünde, FI-215 isimli kesitin hazırlık aşamalarına ait fotoğraflar görülmüştür. Şekil 8'in B bölümünde, FI-215 isimli kesitin hazırlık aşamalarına ait fotoğraflar görülmüştür. Şekil 8'in C bölümünde, FI-215 isimli kesitin hazırlık aşamalarına ait fotoğraflar görülmüştür.

Şekil 8'in B bölümünde kesit için kesilen örneğin parlatılmış yüzü görülmüştür. Şekil 8'in C bölümünde ise 200x incelginde iki yüzü de parlatılmış FI-215 isimli kesit görülmüştür. Mavi renkli elipsoidler ile gösterilen alanlar sıvı kapanım analizlerinin yapıldığı bölümlerdir.



Şekil 11. FI-215 ve FI-229 numaralı sıvı kapanım örneklerine ait mikrofotografar

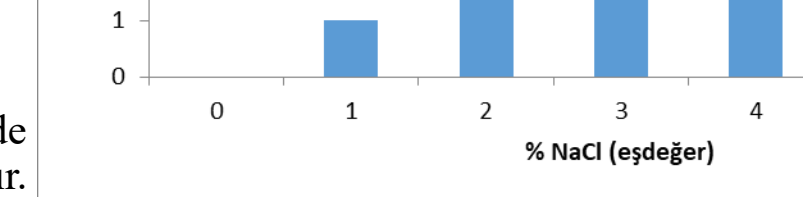
Şekil 11'in A, B ve C bölümlerinde FI-215 isimli kesiti zon-1 bölümüne ait kapanımlar ve bu kapanımların sıvı ve gaz fazları gösterilmiştir. D bölümündeki görsel ise zon-4 bölümüne aittir. E bölümünde mavi halka içerisindeki kapanım FI-229 isimli kesitin A zonuna aittir. Bu kapanıma ait mikrotermometre verileri aşağıda verilmiştir:

T_m: -42°C T_m: 2.1°C Th: 287 °C

Şekil 11'in F bölümünde mavi halka ile gösterilen kapanım, FI-229 isimli aittir. Bu kapanıma ait mikrotermometre verileri aşağıda verilmiştir:

T_m: -44.6°C T_m: 2.2°C Th: 284°C

Şekil 13. Sıvı Kapanım örneklerinin yüzde tuzluluklarına ait histogram diyagramı



Bu çalışma kapsamında eşdeğer %NaCl hesaplaması için aşağıdaki formül kullanılmıştır (Bodnar, 1993):

$$\%NaCl = 0,00 + 1,78B - 0,0442\theta^2 + 0,000557\theta^3$$

Elde edilen eşdeğer %NaCl verilerinden Şekil 13'deki histogram diyagramı elde edilmiştir. %1 ile %5 arasında değişen tuzluluk değerleri %2 aralığında pik yapmıştır.

Tuzluluk-hojenleşme sıcaklığına ait grafik Şekil 14'de ölçüm bölgelerine ayrılarak verilmiştir. Grafikte üç ayrı topluluk göze çarpar. Bunlardan birincisi FI-229 isimli kesite ait zon-A ve zon-B bölgelerindeki kuvarslardan elde edilen 282 - 309 °C derece arasında T_h sıcaklığı ve 3.5-4.8 arasında % NaCl (eşdeğer) tuzluluğu olan topluluktur. İkincisi FI-215 kesitine ait zon-5 ve zon-1 bölgelerindeki kuvarslardan elde edilen 279 - 287 °C derece arasında T_h sıcaklığı ve 1.4 - 2.1 arasında % NaCl (eşdeğer) tuzluluğu olan topluluktur. Son son toplulukta ise FI-215 kesitine ait zon-4 bölgesindeki kuvarslardan elde edilen 199 - 213 °C derece arasında T_h sıcaklığı ve 0.9 - 2.4 arasında % NaCl (eşdeğer) tuzluluğu olan topluluktur.