

**DOKUZ EYLÜL ÜNİVERSİTESİ**  
**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**KAVAKLIDÜZ SAHASI (SINDIRGI-BALIKESİR)**  
**ALTIN MİNERALİZASYONUNUN JEOLojİ,**  
**ALTERASYON VE JEOKİMYASI**

**Volkan TUFAN**

**Şubat, 2009**  
**İZMİR**

**KAVAKLIDÜZ SAHASI (SINDIRGI-BALIKESİR)  
ALTIN MİNERALİZASYONUNUN JEOLojİ,  
ALTERASYON VE JEOKİMYASI**

**Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü  
Yüksek Lisans Tezi  
Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Ekonomik Jeoloji Anabilim Dalı**

**Volkan TUFAN**

**Şubat, 2009  
İZMİR**

## YÜKSEK LİSANS TEZİ SINAV SONUÇ FORMU

**VOLKAN TUFAN** tarafından **PROF.DR. İSMET ÖZGENÇ** yönetiminde hazırlanan **“KAVAKLIDÜZ SAHASI (SINDIRGI-BALIKESİR) ALTIN MİNERALİZASYONUNUN JEOLJİ, ALTERASYON VE JEOKİMYASI”** başlıklı tez tarafımızdan okunmuş, kapsamı ve niteliği açısından bir yüksek lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

.....  
Prof. Dr. İsmet ÖZGENÇ  
\_\_\_\_\_

Yönetici

.....  
\_\_\_\_\_  
Jüri Üyesi

.....  
\_\_\_\_\_  
Jüri Üyesi

\_\_\_\_\_  
Prof.Dr. Cahit HELVACI  
Müdür  
Fen Bilimleri Enstitüsü

## TEŐEKKÖR

Öncelikle tez çalışmaları sırasında bilgi ve tecrübeleriyle beni yönlendiren danışman hocam Prof.Dr.Hüseyin YILMAZ'a,

Saha çalıőmalarım boyunca hertürlü yardımlarını esirgemeyen Galata Madencilik San ve Tic.Ltd.Şti.'ye,

Tez çalıőmalarım sırasında gösterdikleri sabır, anlayıőla bana maddi ve manevi destek olan ailem'e,

Son olarak, tez çalıőmalarımın tüm aőamalarında her konuda yardımını hiç bir zaman esirgemeyen, destek olan çok sevdiğim eőim Jeoloji Yüksek Mühendisi Seda TUFAN'a teşekkür ederim.

Volkan TUFAN

# KAVAKLIDÜZ SAHASI (SINDIRGI-BALIKESİR) ALTIN MİNERALİZASYONUNUN JEOLJİ ALTERASYON VE JEOKİMYASI

## ÖZ

Kavaklıdüz epitermal altın sahası Balıkesir ili Sındırgı ilçesinin 22 kilometre kuzeydoğusunda yer almaktadır. Çalışma alanında dört ana kaya birimi yüzlek vermektedir. Bunlar Senozoyik öncesi temel kayaları, alt ignimbirit birimi, üst ignimbirit birimi ve riyolit birimidir. Miyosen alt ignimbirit birimi, temel olarak ofiyolitik kayalar dan oluşmuş olan Senozoyik öncesi temel kayalarını uyumsuz olarak üstler. Alt ignimbirit birimi alt kısımları ince kül matriks içerisinde bol kaya kırıntısı ve kristalce zengin ignimbirit fasiyesleri ile temsil edilir. Alt ignimbirit biriminin en üst kesimleri aynı fasiyesin daha ince matriks içerisindeki baskın olarak altere olmuş ignimbirit breşleri ve kristalce zengin ignimbirit breşlerinden oluşur. Üst ignimbirit birimi alt ignimbirit birimini düzensiz sınırlar boyunca üstler. Piroklastik dizi riyolitik ten dasitik volkaniklere yüksek açılı bir şekilde kesilir.

Altın içeren gang minerali temel olarak kolloform ve krustiform dokular içeren kalsedonik ve kristalin kuvarstır. Vugy kuvars ve lokal breşleşmiş kuvars dokuları Karadüz sahasında gözlenmektedir bununla birlikte Kavaklıdüz sahasında kalsedonik kuvars oluşumları daha fazladır. Bu sebeben dolayı Kavaklıdüz sahasının Karadüz sahasına göre daha üst seviyeleri temsil ettiği söylenebilir.

XRD-Difraktometre analizlerinde illit, kaolinit, klorit gibi kil mineralleri dışında mika, Na-feldspat ve kuvars minerallerine rastlanmıştır. Kaolinit epitermal sistemlerde çok yaygın olarak gözlenen bir kil minerali olmasına karşın kilin cinsi bilinmediği taktirde sistemin sıcaklığı hakkında bir bilgi vermez. İllit 220 santigrat dereceden daha yüksek sıcaklıktaki oluşum koşullarını belirtir. Bu sebepten dolayı illit sistemin sıcaklığı hakkında daha doğru bir bilgi verebilir

**Anahtar sözcükler:** Kavaklıdüz, ignimbirit, kolloform, illit, sistem sıcaklığı.

# **GEOLOGY ALTERATION AND GEOCHEMISTRY OF KAVAKLIDUZ DISTRICT (SINDIRGI-BALIKESIR) GOLD MINERALIZATION**

## **ABSTRACT**

Kavakliduz epithermal gold deposit is located 22 kilometers northeast of the Sindirgi county in Balikesir. Four main rock units crop out at Kavaklidüz prospect. These are the pre-Cenozoic basement, Lower ignimbrite unit, Upper ignimbrite unit and rhyolite unite. The Pre-Cenozoic basement which is unconformably overlain by the Miocene Lower ignimbrite unit, is mainly composed of ophiolitic rock. The crystal-rich ignimbrite facies with abundant rock fragments in fine ash matrix characterizes the Lower ignimbrite unit. The uppermost part of the Lower ignimbrite unit is dominated by the ignimbrite breccias which consist of altered, crystal-rich ignimbrite breccias in a finer matrix of the same facies. The lower ignimbrite unit overlain by the upper ignimbrite unit along an irregular boundary. The pyroclastic sequence is cut by rhyolitic to dacitic subvolcanic bodies with high angle periphery.

The gang mineral consist mainly of occasional chalcedonic and crystalline quartz including colloform and crustiform texture. Vuggy quartz and locally brecciated quartz textures were observed in Karaduz district. However chalcedonic quartz characterises the Kavakliduz district. Therefore, Kavakliduz prospect represent to higher level of the system in comparison with Karaduz prospect.

According to XRD analysis within altered volcanic rocks, illite, kaolinite, chlorite along with chalcedonic kuvars, mica and Na-feldspar were identified. Kaolinit is most common clay mineral in epithermal system and if you don't know the exact kind of clay there is no relation to system temperature. Illite may indicate the temperature of an epithermal system higher than 220 centigrade degree.

**Keywords:** Kavakliduz, ignimbrite, colloform, illite, system temperature.

## İÇİNDEKİLER

Sayfa

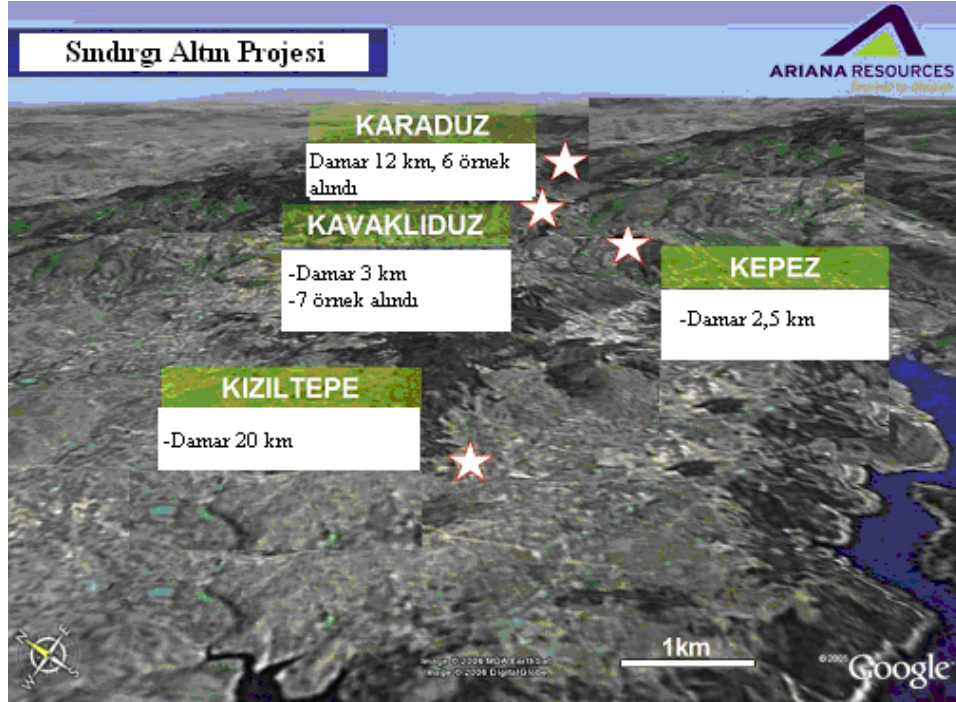
YÜKSEK LİSANS TEZİ SINAV SONUÇ FORMU.....	ii
TEŞEKKÜR.....	iii
ÖZ.....	iv
ABSTRACT.....	v
<b>BİRİNCİ BÖLÜM – GİRİŞ.....</b>	<b>1</b>
1.1 Çalışma Alanı.....	2
1.2 Amaç ve Yöntemler.....	3
1.3 Önceki Çalışmalar.....	3
<b>İKİNCİ BÖLÜM – İNCELEME ALANININ JEOLJİSİ.....</b>	<b>5</b>
2.1 Bölgesel Jeoloji.....	5
2.2 Sındırgı-Kavaklıdüzün Jeolojisi.....	8
2.3 Damar Minerolojisi.....	19
2.3.1 Gang Mineralleri.....	24
2.3.2 Cevher Mineralleri.....	26
2.3 Hidrotermal Alterasyon.....	29
2.4 Jeokimyasal İnelemeler.....	30
<b>ÜÇÜNCÜ BÖLÜM – TARTIŞMA ve SONUÇLAR.....</b>	<b>36</b>
<b>KAYNAKLAR.....</b>	<b>38</b>
<b>EK 1. XRD DİFRAKTOMETRE PROFİLLERİ.....</b>	<b>42</b>

## BİRİNCİ BÖLÜM

### GİRİŞ

Sındırgı Altın Projesi, Galata Madenciliğın Batı Anadolu’da yer alan önemli bir projesidir. Yaklaşık 235 km<sup>2</sup> alanı kapsayan, işletme ve araştırma ruhsatından dan oluşmaktadır. Bu ruhsat alanları içerisinde, dört farklı çalışma sahası yer almaktadır. Bu çalışma sahaları şu şekilde sıralanabilir; Kızıltepe, Kepez, Kavaklıdüz, Karadüz. Sındırgı Altın Projesi çalışma sahalarının yerleri ve bu çalışma sahasının genel özellikleri Şekil 1.1 de gösterilmektedir.

Bu çalışmada, Sındırgı Altın Projesi kapsamında çalışılan 4 farklı çalışma alanından Kavaklıdüz’ün genel jeolojik özellikleri ile bu alanlarda şimdiye kadar yapılan jeolojik çalışmaların verileri genel olarak aktarılmıştır. Ayrıca bu ana kadar yapılan çalışmaların neticesinde elde edilen verilerden bölgedeki Epitermal cevherleşme için bir model ortaya konmaya çalışılmıştır. Sındırgı Altın cevherleşmesi, Epitermal sistem, düşük sülfidasyon Au – Ag cevherleşme tipindedir.



Şekil 1.1 Sındırgı Altın Projesi kapsamındaki çalışma alanlarının yeri (ölçeksizdir).



#### 1.4 Çalışma Alanı

Kavaklıdüz sahası, Kepez köyünün yaklaşık 4 km doğusun'da yer alır ve 5km<sup>2</sup> lik bir yayılım sunmaktadır.

Kavaklıdüz sahasına ulaşım Balıkesir, Sındırgı – Simav karayolu üzerinden sağlanmaktadır. Kavaklıdüz çalışma alanına gitmek için şu yol izlenir; Sındırgı – Balıkesir karayolunun 5. km' sinde doğu yönünde Simav yol ayrımı bulunur, Simav yolu üzerinde 9 km sonra kuzeye doğru Kepez yol ayrımına varılır. Kepez köyüne varıldıktan sonra Ulus dağına doğru orman yolları gitmektedir. Bu yol takip edilerek yaklaşık 3 km sonra Kavaklıdüz çalışma alanına gelinmiş olur (Şekil 1.2).



Şekil 1.2 Çalışma alanının yerbuldu haritası (ölçeksizdir).

## 1.5 Amaç ve Yöntemler

Bu çalışmanın amacı Kavaklıdüz sahası (Sındırgı-Balıkesir) altın mineralizasyonunun jeoloji, alterasyon ve jeokimyasını araştırmaktır. Bunun için cevher yankayaç ilişkisi, minerolojik bileşim, dokusal özellikler, yataklanma tipi ve epitermal sistemlerdeki yerini belirlemek elde edilen bilgiler doğrultusunda literatürdeki sınıflandırmalara bağlı olarak sınıflanması, oluşum koşullarını ve kökenini belirlemektir.

Arazi çalışmaları 2006 yılı boyunca şirket içerisinde devam etmiştir. Bu çalışma için sahanın ayrıntılı jeolojisi, alterasyon ve tektonik haritası hazırlanmıştır. Altere yankayaç ve kuvars damarlarından alınan kayaçlardan jeokimyasal ve petrografik değerlendirme için kayaç numuneleri alınmıştır. Alınan numunelerin jeokimyasal değerlerinin tespit edilmesi için ALS Chemex Canada'ya gönderilmiştir. Bunların dışında Galata Madencilik San. ve Tic. Ltd. Şti. tarafından Kavaklıdüz-Karadüz sahalarının da içine alan Kızıltepe projesi kapsamında 13 adet numune alınmıştır. Kavaklıdüz sahasına ait olan 7 adet spesifik numuneden 5 tanesi Dokuz Eylül Üniversitesi ince kesit laboratuvarında mikroskopta incelenmiş olup taze ve altere olmuş kayaçlar arasındaki ilişki ve kayaçların içerdikleri mineraller saptanmaya çalışılmıştır. Numunelerden 7 tanesi jeokimyasal analiz için ACME Analitik laboratuvarı Vancouver - CANADA ya gönderilmiştir. Son olarak 2 adet numune XRD difraktometre yöntemiyle içerdiği kil minerallerini belirlemek amacı ile Isparta Süleyman Demirel Üniversitesi Jeotermal Enerji, Yeraltısuyu ve Mineral kaynakları Araştırma ve Uygulama Merkezine gönderilmiştir.

## 1.6 Önceki Çalışmalar

1950'lerde kurutulmuş olan Simav Gölü'nün bir zamanlar işgal etmiş olduğu bir çöküntü havzası, güneyden dik bir duvar biçimindeki Simav dağıyla sınırlanmaktadır. Simav fayı tek bir çizgisellik yerine ana hatta paralel basamak faylardan oluşmaktadır. Simav fayının hem güneyinde, hem de kuzeyinde yer alan

Civanadağ tüflerine ait yüzeylemeler arasındaki yükselti farkı 300 ile 500 metre arasında değişmektedir. Alkalem bileşimli (Ercan ve diğerleri 1981/1982) Naşa bazaltları Simav fayı üzerinde yer alır.

Konak (1982), fayın kuzeyinde yer alan metamorfik zonların güneyindekilere göre doğuya kaydığını göstermiştir. Dolayısıyla, çökme öncesinde fayın sağ yanal atımlı bir doğrultu atımlı fay olduğu söylenebilir. Bir doğrultu atımlı fay boyunca, fay yüzeyinin kıvrımlı geometrisine bağlı olarak graben havzaları oluşabilmektedir (Crovell, 1974; Woodcock ve Fischer, 1986; Sylvester, 1988). Yüzeydeki düzlemsel normal graben fayı, derinlere doğru bir listrik normal faya dönüşmektedir (Shelton, 1984).

Faylar boyunca, gerek metamorfizmlerde ve gerekse volkanitlerde şiddetli alterasyon görülmektedir. Volkanitlerden metamorfizmlerin içine doğru, ortalama 100 m, genişliğinde bir koridor boyunca her iki kayada da alterasyon izlenmektedir. X-ışını kırınım analizine göre, bu alterasyon ürünlerinin kristobalit, kaolinit, montmorillonit, tridimit ve höylenditten oluştuğu anlaşılmıştır. Mumcu köyünün kuzeybatısında, aynı tektonik hat üzerindeki Döküş tepede yer alan kaolinit yatağındaysa alunite, dikiş, kristobalit ve kuvars saptanmıştır. Çalışma sahasında, mineralojik bileşimi itibarıyla bir arjilik alterasyon söz konusudur. Montmorillonitin varlığından dolayı Kızıltepedeki alterasyon orta arjilik (Anderson ve Eaton, 1990) ve Döküş tepedekiyse alunite ve dikişten dolayı ileri arjilik (Hemley ve Jones, 1964) olarak adlandırılabilir (Oygür, 1997).

Bölgenin en önemli tektonik özelliği, Simav nehri boyunca batıda Sındırgı'dan doğuda Muratdağı'na kadar BKB-DGD yönünde yaklaşık 150 km. kadar uzanan ve sinüs eğrisi biçimi gösteren Simav fayıdır (Oygür, 1997).

Simav grabeninin batı ucunda, Düvertepe kaolen yataklarının doğusundaki Mumcu köyünün hemen güneyindedir. Cevherleşme, graben faylarını K-G yönünde kesen transfer fayları üzerinde yer alır (Oygür, 1996).

## İKİNCİ BÖLÜM

### İNCELEME ALANININ JEOLJİSİ

#### 2.1 Bölgesel Jeoloji

Türkiye Avrupa, Afrika ve Arabistan levhalarının dokanak olarak bulunduğu Alp Himalaya dağ oluşum zinciri üzerinde yer alır. Bu oluşum Anadolu yarımadasında batıda genişleme doğuda ise sıkışma tektonizmasına bağlı olarak karmaşık bir tektonizma meydana getirmiştir (Yılmaz, 2000). Kuzey Anadolu ve Doğu Anadolu gibi doğrultu atımlı faylar Anadolu'nun kuzeyin'de ve güney/güneydoğusunda ortaya çıkmaktadır. Ayrıca Türkiyenin güney/güneybatısında Akdeniz levhasının dalma batma zonu bulunmaktadır.

Üst Kretasede Arap-Afrika levhalarının kuzeye doğru hareketi sonucu Anadolu levhalarının bazı sırtlar boyunca kenetlendikleri görülür. Bu kıta-kıta çarpışmalarında levha arası havzalarda meydana gelen çökeller güneye itilerek Menderes ve Toros levhaları üzerinde kalın Likya Naplarını oluşturmuşlardır. Eosen de güneyde sıkışma ve kabuk kalınlaşması devam ederken kuzeyde pontit üzerine bir gerilme ve kabuk incilmesi görülmektedir. Orta-Üst Miyosenden itibaren Batı Anadolu'da genel bir gerilme tektoniği görülür. Yitim ve kıta-kıta çarpışmasıyla meydana gelen kabuk kısılması ve bu kısılmanın nasıl olduğu bugünkü yapının yerin içine doğru ve yeryüzünde nasıl değiştiği önemli problemdir (Şengör, 1980).

Batı Anadolu'yu yapısal açıdan biçimlendiren ana tektonik yapılar grabenlerdir. Bu grabenler, kuzeyden – güneye doğru şu şekilde sıralanabilir; Edremit, Bakırçay, Simav, Gediz, B. Menderes, K. Menderes ve Gökova grabenleri ile bu grabenler arasındaki horstlardır. Batı Anadolu'nun en kuzeyde yer alan graben yapıları arasında Simav grabeni de bulunmaktadır (Şekil 2.1).

Simav fayı iki farklı tektonik dönem rejimi altında evrimleşmiş bir faydır. İlk evre Miyosen öncesi dönemi kapsayan Paleotektonik rejim evresidir. Bu evrede Batı Anadolu, D – B sıkışmaya uğramıştır. İlk olarak bu sıkışma rejimi altında oluşmaya başlayan Simav fayı, sağ yönlü doğrultu atımlı fay karakteri sunmaktadır. Daha sonra Miyosen ortalarında bölge büyük bir tektonik rejim değişikliği geçirerek K – G yönünde açılmaya başlamıştır. Bu açılma neticesinde Batı Anadolu horst – graben yapıları oluşmaya başlamıştır. Tektonik rejim değişikliği ile sağ yönlü doğrultu atımlı fay olan Simav fayı, normal faya dönüşmüş ve Simav grabenini oluşturmuştur. Simav grabenini diğerlerinden ayıran en önemli özellik, yarım graben olması ve grabeni oluşturan Simav fayının daha önceki dönemde doğrultu atımlı fay karakterinde olmasıdır. Simav fayı, Simav ovasını güneyden sınırlar. BKB-DGD doğrultusunda olan Simav grabeni, Sındırgı-Abide arasında uzanır, toplam uzunluğu 150 km civarındadır. K70D - D-B doğrultulu fay zonu, Simav'ın güneyinde birbirine paralel birkaç faydan oluşmaktadır (Oygür, 1996). Simav fayının Sındırgı – Simav arasındaki uzanımı ve fayın genel jeolojisi Şekil 2.1 ve Şekil 2.2, te gösterilmiştir.



Şekil 2.1 Türkiye'nin genel tektonik yapısı ve levha hareketleri (Bozkurt, 2001 den uyarlanmıştır).



Batı Anadolu'da Miyosen dönemdeki, grabenleşme evresi ile birlikte yer kabuğu incelmeye başlamış ve volkanizma olayları gelişmiştir. Bu volkanizma evresi sırasında Batı Anadolu'nun birçok yerinde graben yapıları ile ilişkili hidrotermal sistemler gelişmiştir (Yılmaz, 2007). Şu şekilde sıralanabilir;

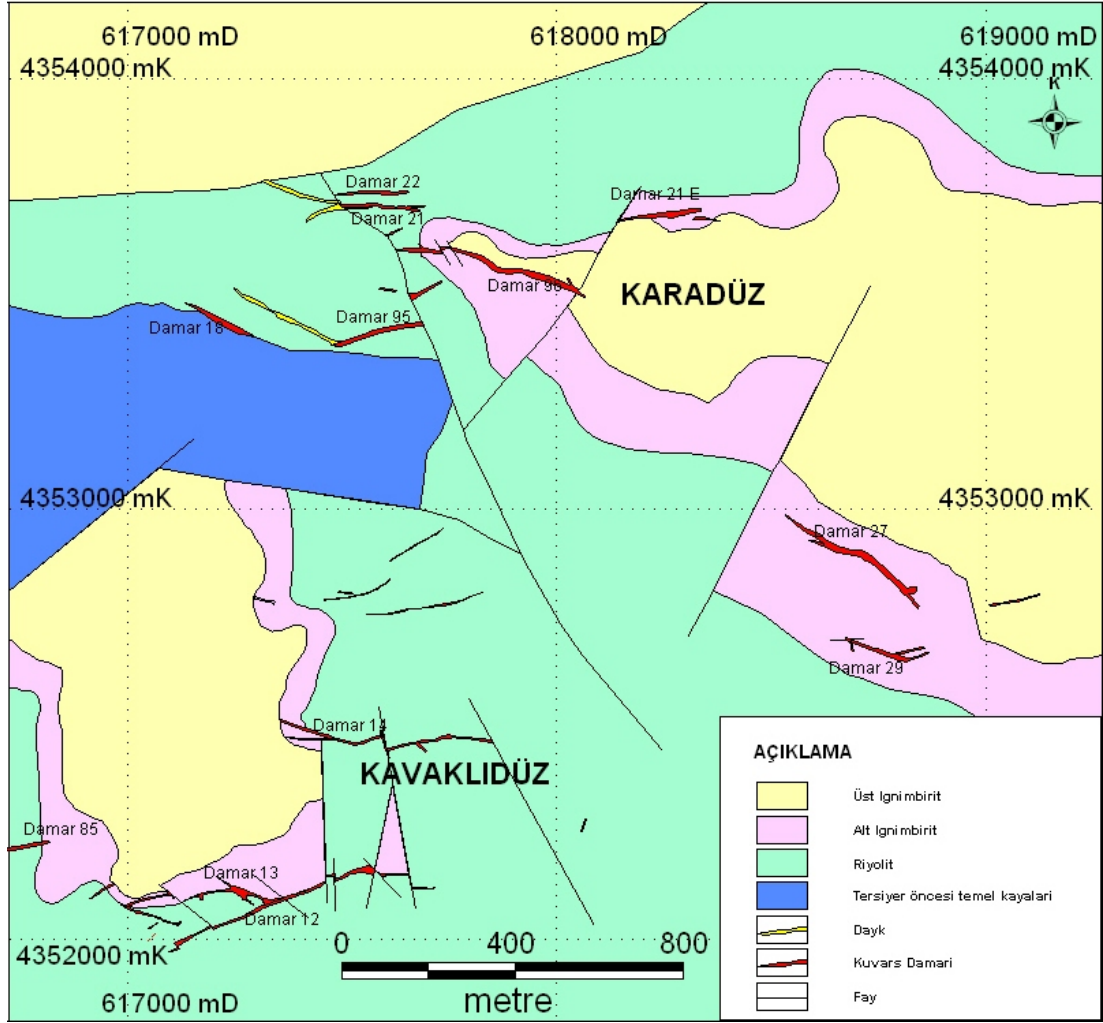
- Bakırçay Grabeni – Ovacık, (4.19 Mt@ 7.6 g/tAu)
- Uluköy Grabeni – Kışladağ, (276 Mt@ 1.2 g/tAu)
- Menderes Grabeni (Cumaovası) – Efemçukuru, (3.1 Mt@ 14.6 g/tAu)
- Edremit Grabeni – Küçükdere, (1.4 Mt@ 6.4 g/tAu)
- Simav Grabeni – Sındırgı (0.95 Mt@ 6.1 g/t Au)

Miyosen sonunda, Pliyosen başlangıcında ise büyük ölçekli graben yapılarını dik yönde (K – G) kesen transform faylar gelişmeye başlamıştır. Yeni faylanma ile kabuk ikinci kez ve farklı yönde yırtılarak ikincil hidrotermal sistemlerin gelişmesine olanak sağlamıştır. Bu tür ikincil cevherleşmelerin izleri Sındırgı-Kavaklıdüz çalışma sahası içerisinde araştırılmalıdır (Bozkurt, 2001). Yapılabilecek bu araştırmalar, gelecekte bölgenin cevherleşme potansiyelinin tam olarak tespit edilmesinde olanak sağlayacaktır.

## 2.2 Sındırgı - Kavaklıdüzün Jeolojisi

Yapılan literatür ve saha çalışmaları sonucu çalışma alanında görünen birimler, Senozoyik öncesi temel kayaları, Riyolit birimi, Alt İgnimbirit ve Üst İgnimbiritler birimleridir (Şekil 2.3).





Şekil 2.3 Karadüz-Kavaklıdüz sahasının jeoloji, yapısal ve damar haritası.

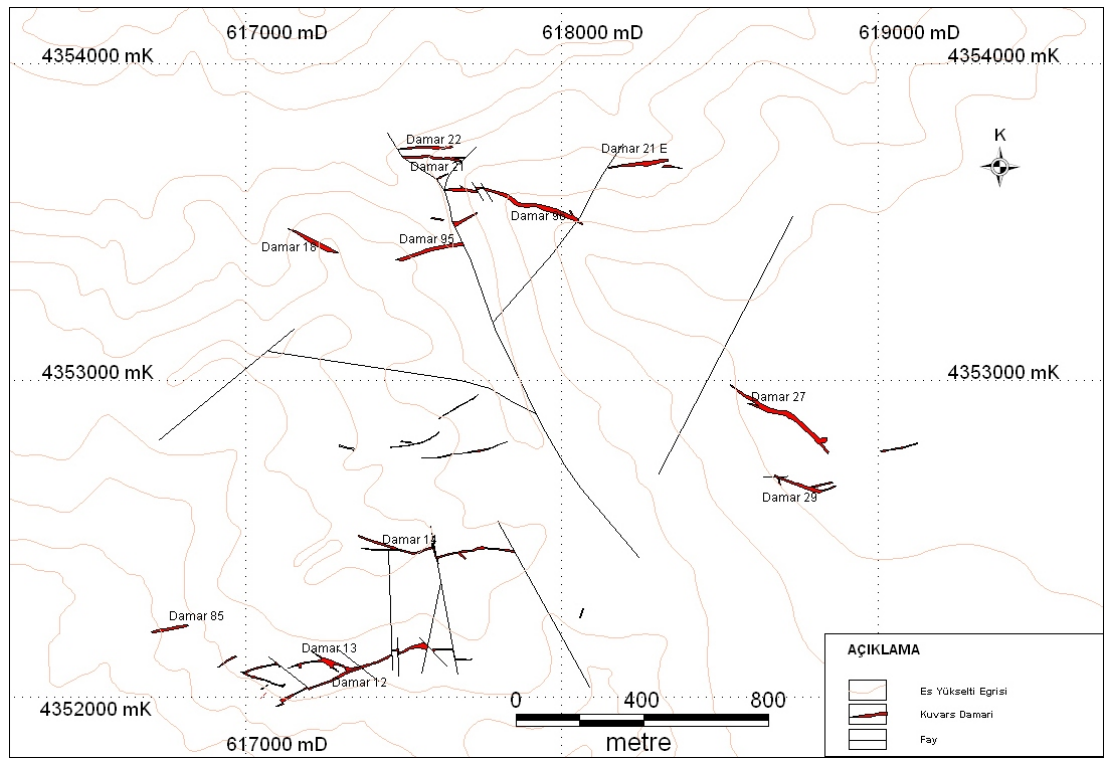
Simav grabeni, Kavaklıdüz sahasının güneyinde yer alır. Grabeni oluşturan tektonik aktivitenin izleri çalışma alanında da gözlenmektedir. Simav fayı, Simav – Mumcu (Sındırgı'nın 50 km doğusu) arasında genel olarak tek bir ana kırık şeklinde ve yaklaşık olarak BKB - DGD doğrultusunda uzanım sunarken, Sındırgı – Kavaklıdüz civarında çeşitli uzunluklarda kollara ayrılılarak daha geniş bir zonda uzanım sunar.

Fay zonu genişliği değişiminin yanı sıra doğrultusunda da değişiklik göstererek, KB – GD' ya doğru giderek artan derecelerde dönme gösterir. Doğrultuda ki bu değişimin sebebi, Sındırgı'yı batıdan sınırlayıp, Simav fayını kesen ve bu faya göre



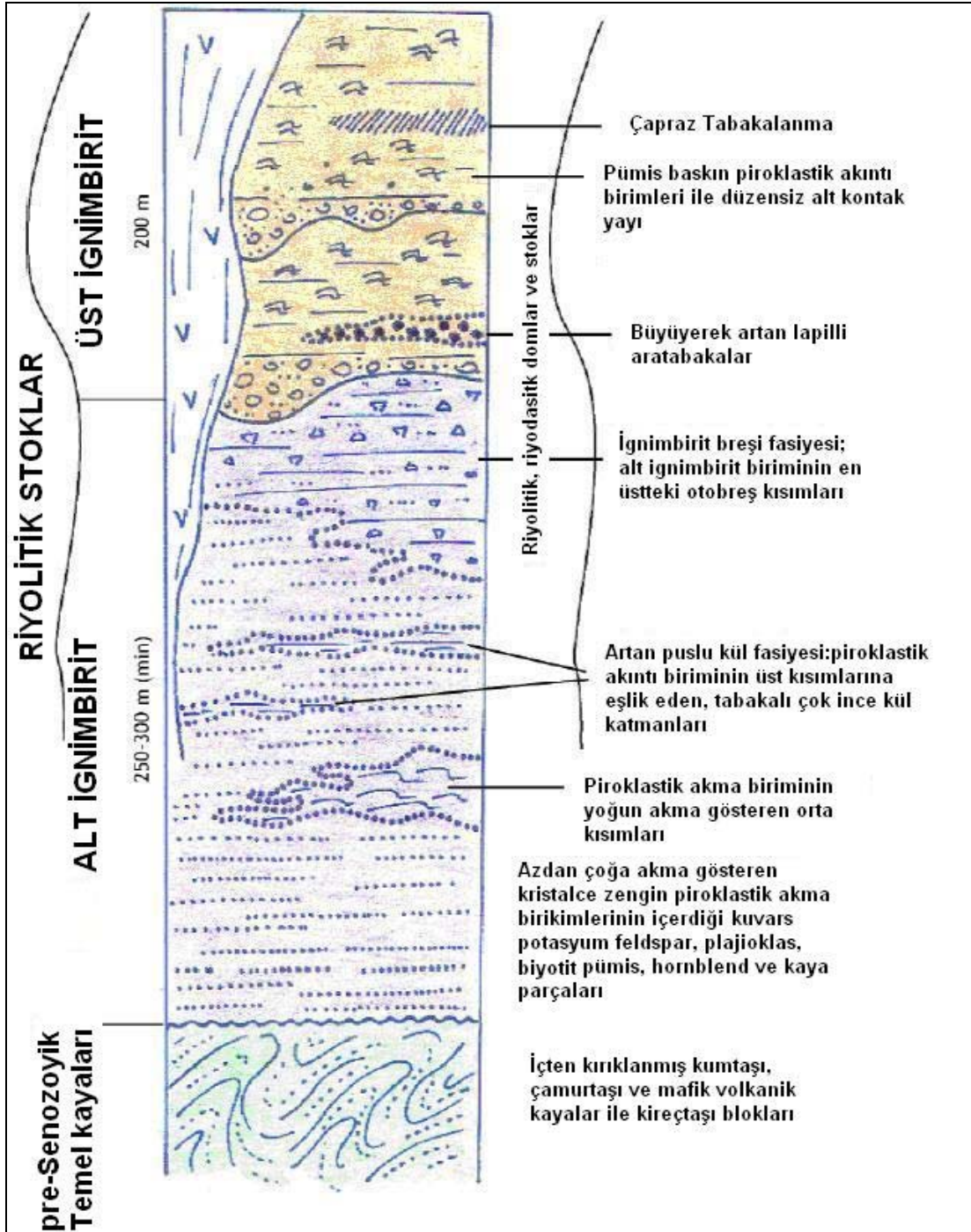
daha genç yaşı olan Akhisar doğrultu atımlı fayının mekanizması olarak gösterilebilir.

Akhisar doğrultu atımlı fayı yaklaşık olarak Paleosen yaşlı aktif bir faydır. Batı Anadolu tektonik evriminin son ürünleri olan yaklaşık K – G doğrultulu transform fayların Sındırgı bölgesindeki örneğidir. Kavaklıdüz çalışma sahasında da bu faya paralel olarak gelişen faylar ve kırıklar tespit edilmiştir (Oygür, 1997a) (Şekil 2.4).



Şekil 2.4 Karadüz-Kavaklıdüz sahasının topoğrafik, yapısal ve damar haritası.

Kepez köyü ve Kavaklıdüz köyleri arasındaki yol boyunca İzmir-Ankara suture zonunun tersiyer öncesi temel kayaları bulunur. Bunlar mafik volkanikler, serpantinleşmiş ultramafik kayalar, kumtaşları ve çamurtaşları ile nadir olarak kireçtaşı bloklarıdır. Çalışma alanında temel kayalarını birleştiren önemli litolojiler; kum ve çamur matriks içindeki yırtılma diskleri ve uyumsuzluk budinleridir (Şirket Raporu), (Şekil 2.5).



Şekil 2.5 Karadüz-Kavaklıdüz sahasının genelleştirilmiş kolon kesiti (Şirket Raporu)

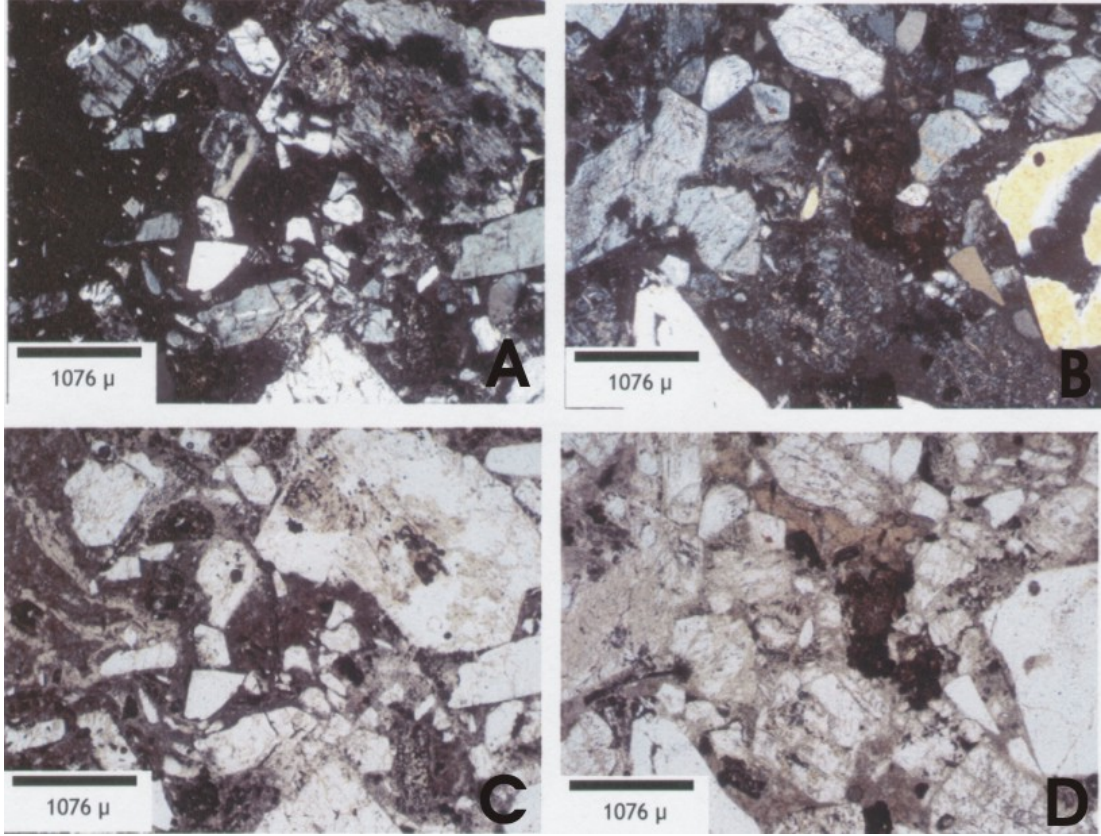
Çalışma alanı içerisinde birinci volkanik birim olarak Alt ignimbirit birimi bulunur. Rengi kırmızıdan griye değişen Kristal ignimbirit fasiyesi Sındırgı-Simav karayolu ile Çaygören Baraj gölü arasında geniş alanlarda izlenir ve Alt ignimbirit biriminin alt kısmını oluşturur. Alt ignimbirit biriminin üst kısmını ise breşik ignimbirit birimi oluşturur.

Alt ignimbirit birimi baskın olarak kuvars, potasyum feldspat, plajoklast, biyotit, az oranda kristal amfibol kırıntıları, kristal kırıntıları, daha az oranda kaya kırıntıları ve ender pümis kırıntılarından oluşan kristal ignimbiritlerden yapıldır (Şekil 2.6 ve 2.7). Ortalama tane bileşimi şu şekildedir: Quartz 20-40 %, potasyum feldspar 20-40 %, plajoklas 0-15%, biyotit 0-15 %, amfibole 0-5 %, kaya kırıntıları 0-5 %, pümis kırıntıları 0-5 % ve matriks 10-30 % (Şirket Raporu).



Şekil 2.6 Kristalce zengin ignimbirit birimi.





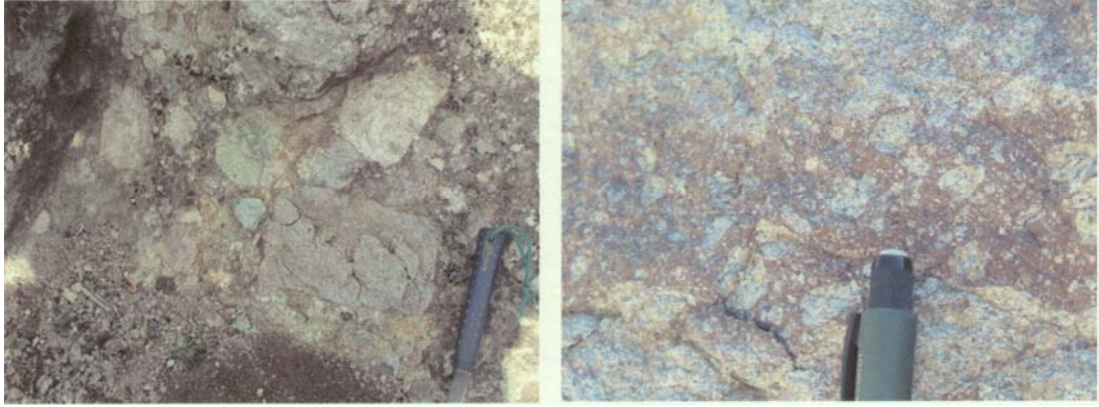
Şekil 2.7 Kristal ignimbiritlerin tane bileşimini gösteren mikroskop fotoğrafları. Kuvars, potasyum feldspar ve plajyoklas kırıntıları ve biyotit, az orandada amfibol kırıntıları. (A) ve (B) tek nikol, (C) ve (D) çift nikol dur (Şirket Raporu).

Alt ignimbirit birimi içinde gelişmiş kuvars damarları 13-14 nolu damarlardır. 13-14 nolu damarların birbölümü riyolit biriminde yer almaktadır.

Masif-kalın-ortaç katmanlanmalı, ince kül matriks içinde çok yüksek tane konsantrasyonlu ve yer yer hafif-ortaç kaynaklanma izleri gösteren kristal ignimbirit fasiyesi kayaları üste doğru kristal ignimbirit matriks içinde yine aynı fasiyese ait breşlerin yer aldığı breşik fasiyeslere dereceli olarak geçer.

Breşik fasiyesler içinde tane boyuna dayalı olarak iki farklı fasiyes ayırtlanmıştır. Alt breşik fasiyes içinde breş konsantrasyonu düşüktür ve breş boyları 0.5 – 4 cm arasında değişir (Şekil 2.8). Matrik gri-bordo renklil kristal ignimbiritlerdir. Genellikle beyaz-gri renkli breşler bazı bölümlerde basılmış, yönlenmiş ve

kaynaklanmıştır (Şekil 2.9). Alt breşik fasiyes üste doğru dereceli olarak daha yüksek tane konsantrasyonu gösteren ve 3 – 30 cm arasında değişen çaplarda breşler içeren Üst breşik fasiyese geçer. Kül ve kristal kırıntılarından yapılmış matrik içinde yine masif kristal ignimbiritlere ait breşler bulunur (Şirket Raporu).



Şekil 2.8 Breşleşmiş ignimbiritlerin dokusal karakteristiklerini gösteren arazi fotoğrafı.



Şekil 2.9 Breşik ignimbiritlerdeki akma dokusu (kristal ignimbirit matriks içindeki breşler düzleşmiş ve uzamıştır).

Alt ignimbirit biriminin üzerine, Sındırgı-Simav yolunun kuzey bölümünde değişik alanlarda beyaz-sarı renkli, bol boşluklu, masif/kalın-orta-ince katmanlı, baskın olarak püms kırıntıları ve volkanik cam kırıntılarından yapılmış ve ender olarak kuvars ve feldspat kristal kırıntıları içeren Üst ignimbirit birimi gelir (Şekil 2.10). Üst ignimbirit birimi tabanları ortaça-kaba dokulu çakıl ve bloklu seviyelerle temsil



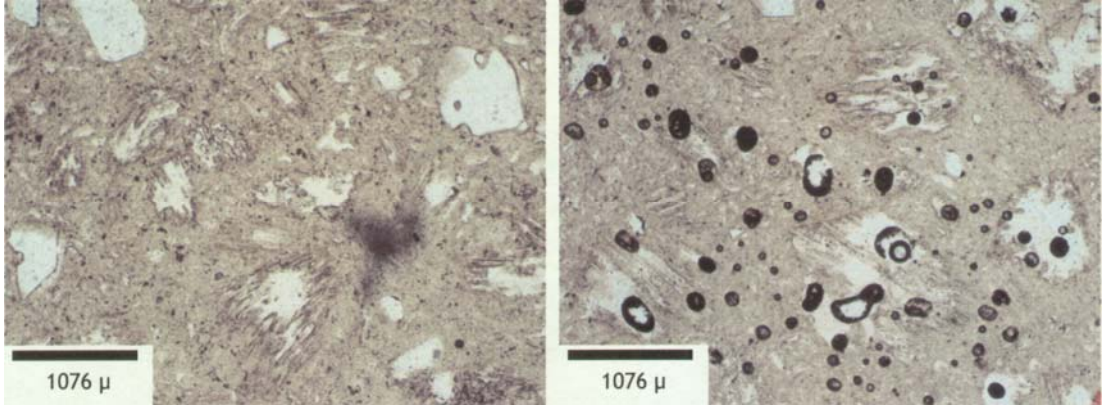
edilen aşınma düzlemlerinden oluşan iki farklı akma birimi içerir (Şekil 2.11 ve 2.12). Üst ignimbirit birimine ait alt akma biriminde tabanda yer alan çakıllı düzey daha ince çakıllardan yapıldır; 1-5 cm. Üst akma birimi ise tabanında 4-50 cm arasında değişen çakıl ve bloklardan yapıldır. Tabanda yer alan çakıl-blok düzeyleri baskın olarak Alt ignimbirit birimi içindeki farkı fasiyeslere ait çakılları ve ender olarak bütün istifin temelini oluşturan ofiyolitik kayalara ait aksesuar blokları içerir. Çakıllı ve bloklu taban bölümlerinin üzerine gelen bol pümis içerikli bölümde yer yer basılmış, uzamış ve yönlenmiş pümis boşlukları ile temsil edilen kaynaklanmış (welded) bölümler gözlenir. Tane bileşimi : Pümis kırıntıları 30-50 %, kristal kırıntıları (quartz, potasyum feldspar, plajiyoklas, biyotit) 15-25 % ve cam kırıkları 15-25 % (Şirket Raporu), (Şekil 2.13).



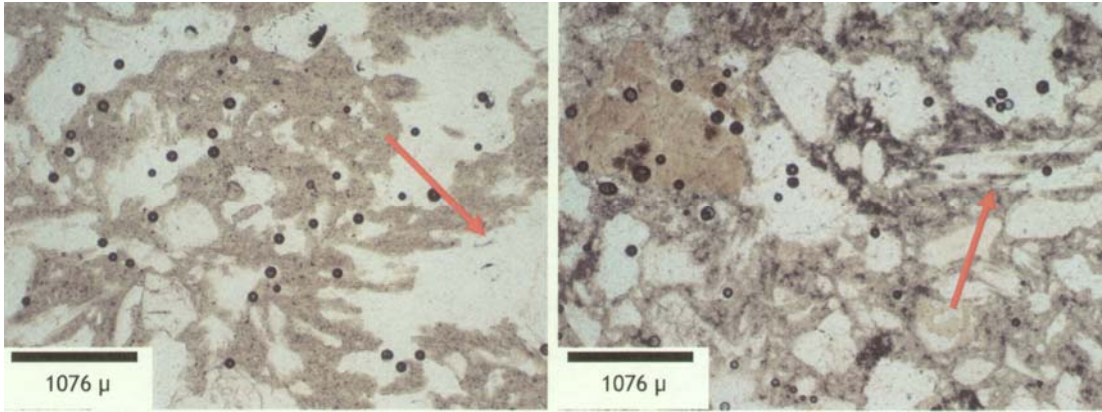
Şekil 2.10 Üst ignimbirit biriminin alt kısımlarındaki iri tanelerin gösterildiği arazi fotoğrafı.



Şekil 2.11 Akma katmanları ve pümişçe zengin üst ignimbirit birimi.



Şekil 2.12 Üst ignimbirit biriminin dokusal karakterini gösteren mikroskop fotoğrafı. Püms kırıntıları ile kül matrisi içerisindeki cam kırıkları ve kristal kırıntılar gözlenebilmektedir.



Şekil 2.13 Üst ignimbirit birimi içerisindeki düzleşmiş püms kırıntıları az dan orta dereceye akma dokusunu gösteren mikroskop fotoğrafı. Oklar düzleşmiş püms kırıntılarını göstermektedir.

Kavaklıdüz sahası içerisindeki diğer birimlere göre daha üst seviyelerde yüzlek veren birim üst ignimbiritlerdir. Birim, çalışma alanının kuzeyinde Karadüz çevresinde yaklaşık olarak 1 km<sup>2</sup>'lik bir alanda yüzlek vermektedir. Bazı seviyelerinde özellikle alt ignimbiritler ve riyolit birimi ile olan dokanak çevresinde yoğun olarak silisleşme gözlenmektedir. 13 ve 14 nolu quartz damarlarının yaklaşık 300-400 metre kuzey batısında bulunan 85 nolu quartz damarı riyolit birimi içerisinden yüzlek vermeye başlar ve alt ignimbirit içerisinde bir süre devam ederek belirli bir seviyeden sonra alt ignimbirit biriminin altına dalmaktadır. Bu durum 85 nolu damarın yaklaşık 400 metre kuzey doğusunda yer alan 14 nolu quartz damarı içinde geçerlidir. Damar riyolit birimi içerisinde yüzlek vermeye başlamış alt

ignimbirit birimi içerisinde yüzlek vermeye devam etmiş son olarak üst ignimbirit biriminin altına dalmakta ve kaybolmaktadır. Bu veriler ışığında ilerde yapılabilecek, sondaj ve jeofizik gibi çeşitli çalışmalarla birlikte, kuvars damarlarının alt ve üst ignimbirit biriminin altında devam ettiği söylenebilir.

Çalışma alanı içerisindeki bir diğer volkanik birim Riyolit birimidir. Riyolit birimi çalışma sahası içerisinde en geniş yayılım sunan birimdir. Genel olarak beyaz renkten sarı rengi tonlarına değişen renk özelliği gösterirler. Birim çalışma alanının farklı kısımları içerisinde orta ayrışma derecesinden, yüksek ayrışma derecesine değişen oranlarda gözlenmektedir. Çalışma alanı içerisinde, genel olarak dasit birimi ile iç içe birliktelik sunarlar. Bazı durumlarda iki benzer volkanik kayacı ayırt etmek oldukça zor olmasından dolayı genel anlamda birim riyolit olarak adlandırılmıştır.

Kavaklıdüz çalışma sahası çevresindeki tüm piroklastik sekans Karadüz sahasının kuzeyinden kavaklıdüzün güneyine doğru yüzlek veren ve beyaz renkten sarı renge değişen riyolitik stokla kesilir. Bu masif ve uyumlu riyolitlerin kontakları boyunca belirgin dikine eğimlenen akma yapraklanması gösterir, ayrıca bu riyolitler dış çember zonlarında kendi otobreşleri ile çevrelenmiştir (Şekil 2.14).

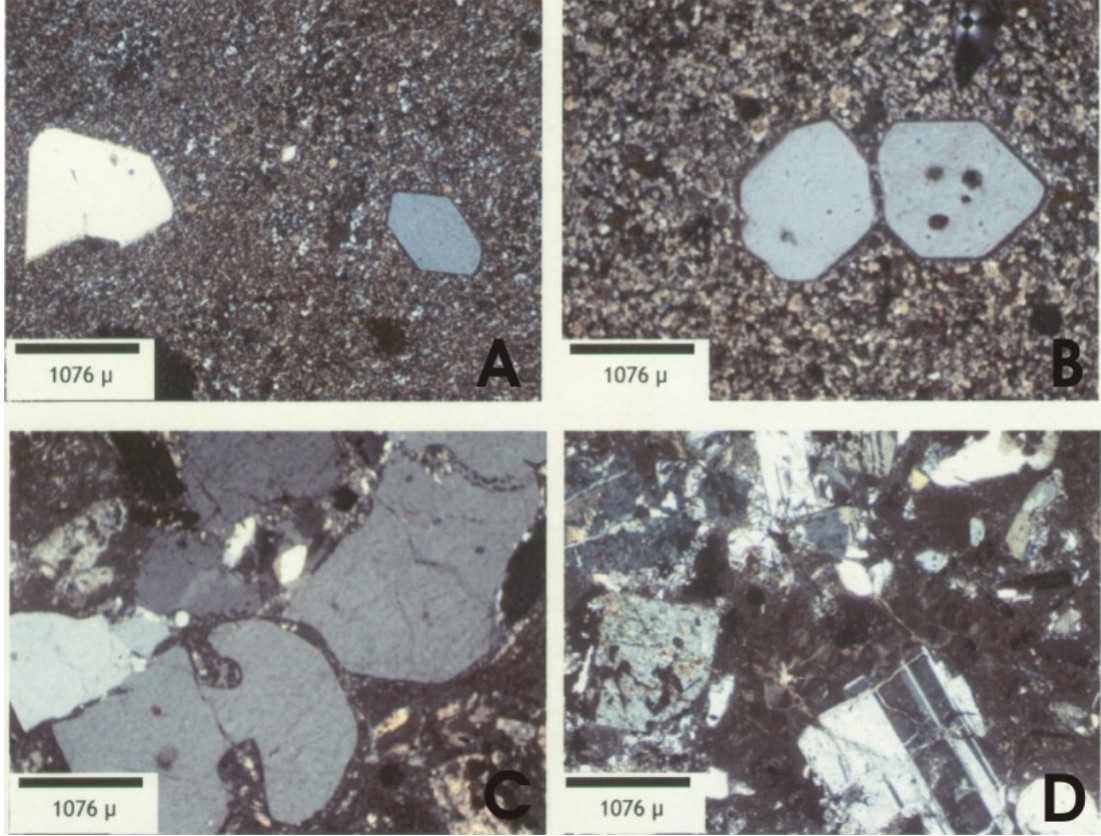


Şekil 2.14 Riyolitlerdeki akma yapraklanması ve riyolitleri çevreleyen otobreşik riyolitleri gösteren el örneği.

Çalışma alanındaki sub-volkanik riyolitler camsı matriks içinde öhedralden subhedrale nitelenirler. Camsı matriks içinde yeniden kristalleşme yada de-



itrifikasyon yaygın olarak gözlenen doku karakterleridir. Mineral kompozisyonu %30 quartz, %25 potasyum feldspar, %20 plaioklas, %15 biyotit ve %10 amfibol oluşturur (Şirket Raporu), (Şekil 2.15).

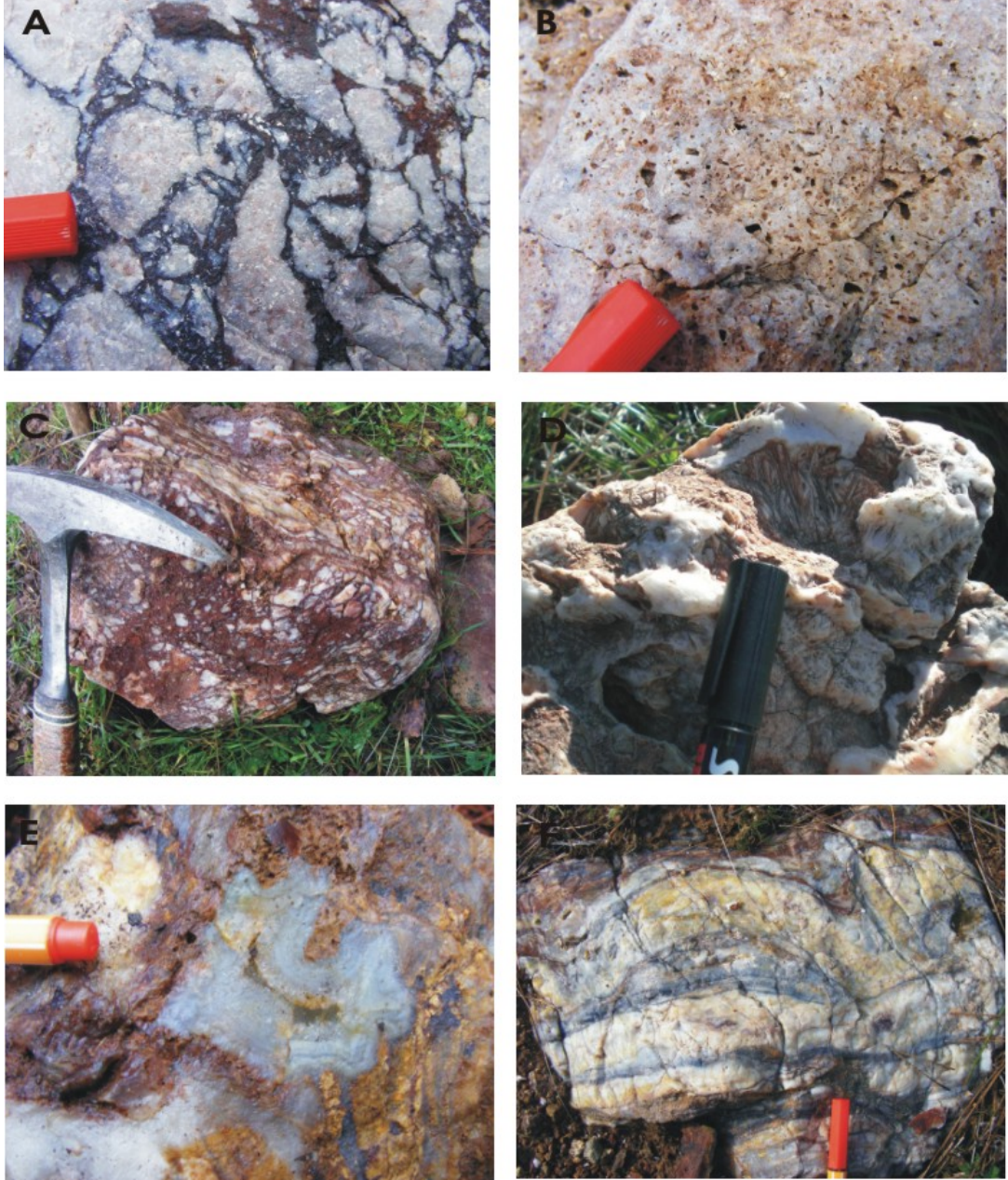


Şekil 2.15 Riyolit biriminin mineral kompozisyonunu ve dokusal karakterini gösteren mikroskop fotoğrafı. (A) ve (B) Tekrar kristalleşmiş matrxs içindeki subhedral ve öhedral kuvars fenokristalleri, (C) Camsı matriks içindeki potasyum feldspar kristalleri, (D) Devitrifiye camsı matriks içindeki kuvars, potasyum feldspar ve plajiokas fenokristallerini görölmektedir.

Riyolit birimi içerisinde gelişmiş olan kuvars damarları 12-13-14-85 nolu damarlardır. 13-14 nolu damarların bir bölümü alt ignimbirit biriminde yer almaktadır.

### 2.3 Damar Minerolojisi

Yapılan arazi çalışmalarında alt ignimbirit birimi ile riyolit birimi arasındaki dokanağın yakın çevresinde killi, hematitli ve silisli zonlar belirlenmiştir. Silisleşmiş yapılar genellikle kafes yapılı karbonat ornatma dokusu gözlendiği kalsedonik kuvarstan oluşmuştur (Şekil 2.16D). Bu dokular kavaklıdüz damar sisteminin baskın dokularıdır. Bunların dışında daha nadir olarak kuzeyde karadüz bölgesinde vugy kuvars, krustiform, kolloform bantlaşmaları ile kuvars breşlerine rastlanmıştır (Şekil 2. 16A,B,C,E,F).



Şekil 2.16 Kavaklıdüz Karadüz çalışma alanındaki epitermal kuvars damarlarının temel dokuları: A) Hematit matriksli kuvars damar breşi. B) Vugy kuvars dokusu. C) Hematit limonit matriksli kuvars damar breşi. D) Karbonat ornatma, kafes dokusu. E) Kolloform dokusu. F) Kolloform-krustiform dokuları ve sülfid bantlaşmaları.

Cevherli zonların özellikle alt ignimbirit birimi ile olan dokanaklarında iri taneli pirit mineralleri ve baskın olarak hematitleşme ve limonitleşmeler gözlenmiştir. Pirit ve kalsedonik kuvars içinde az oranda saçınmış olarak

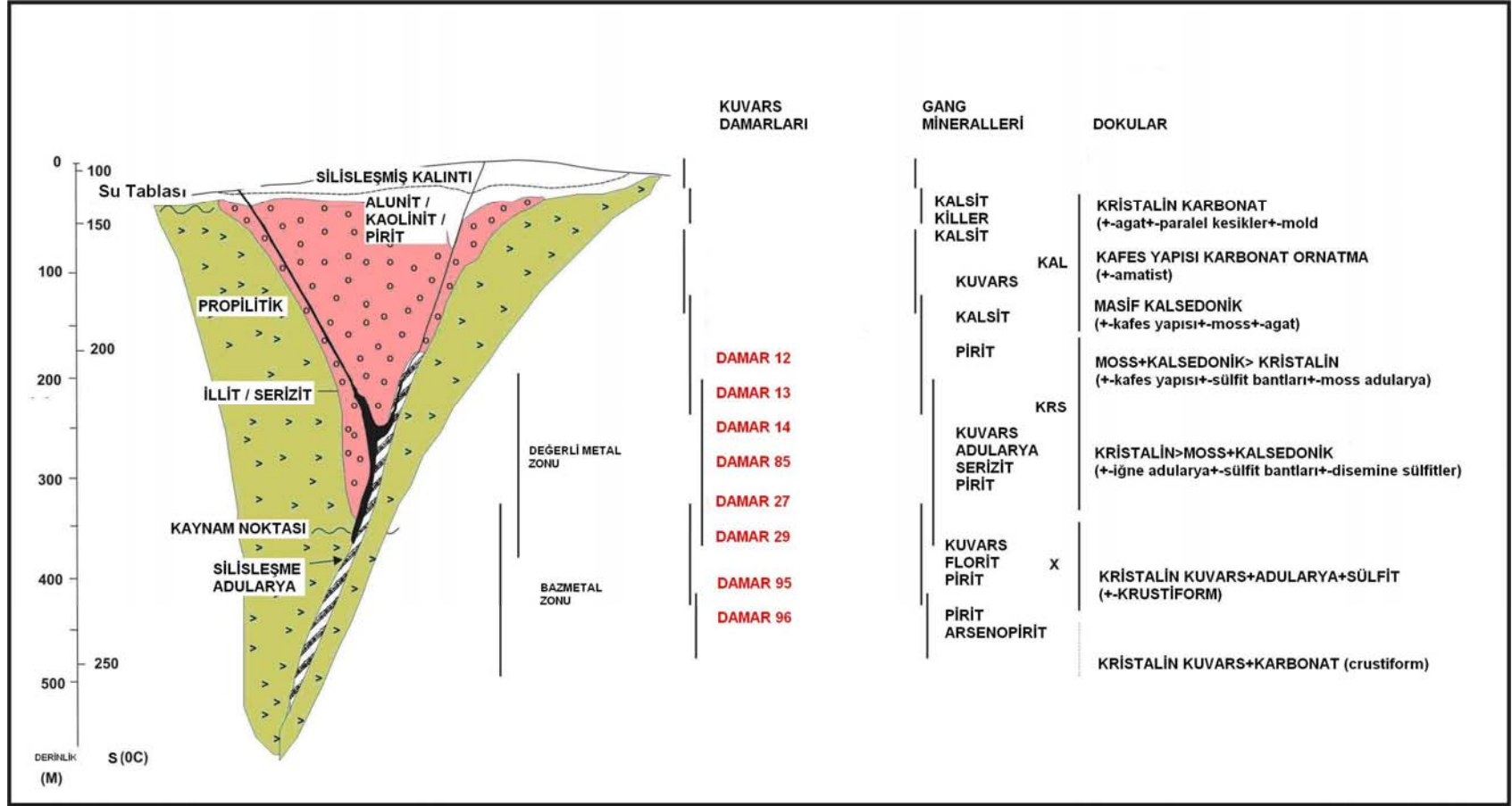
bulunur. Çalışma alanındaki dokular göz önüne alındığında kavaklıdüz sahasının düşük sülfidasyon damar tipi bir cevherleşme olduğu söylenebilmektedir.

Yapılan arazi ve ofis çalışmaları kapsamında kuvars damarlarının genel özellikleri, yapısal ve dokusal ayrıntıları, kapsadıkları bulundurdukları mineraller ve alterasyon çeşitleri sınıflandırılmıştır (Tablo 2.1). Kuvars damarlarının dokusal özelliklerine bakılarak, düşük sülfidasyon epitermal bir sistemin hangi düzeyinde bulunduğu saptanmıştır. 27 ve 29 numaralı kuvars damarları krustiform ve kolloform dokularına sahip olmakla birlikte kapsadığı kuvars breşlerinin hidrotermel kökenli olduğu söylenebilir. Kuvars breşlerinin yoğun hematit matriks içinde yer yer köşeli olmaları bunların çatırdama (crackle) ürünü olduğunu göstermektedir (Şekil 2.17).



Tablo 2.1 Kavaklıdüz-Karadüz epitermal kuvars damarlarının özellikleri

<b>Kavaklıdüz-Karadüz Sahası Kuvars Damarlarının Düşük Sülfidasyon Epitermal Sistem Dizaynı</b>										
<b>Kuvars Damarları</b>		<b>Damar 12</b>	<b>Damar 13</b>	<b>Damar 14</b>	<b>Damar 85</b>	<b>Damar 18</b>	<b>Damar 27</b>	<b>Damar 29</b>	<b>Damar 95</b>	<b>Damar 96</b>
<b>Doğrultu Eğim</b>	<b>Doğrultu (derece)</b>	135	150	Değişken	150	310	320	310	235	310
	<b>Eğim (derece)</b>	45 / 55 KB	50 KB	80 KB	45 / 55 KB	60 KD	60 / 70 KD	60 / 70 KD	75 / 80 KB	80 KD
<b>Toplam Uzunluk (m)</b>		500	200	500	80	200	440	200	230	460
<b>Kalınlık</b>	<b>Maksimum (m)</b>	1,7	2	0,7	1	2,2	3,2	0,8	1,1	1,8
	<b>Ortalama (m)</b>	0,5	0,7	0,4	0,9	1,7	2,1	0,6	0,9	1,2
<b>Komşu Birimler</b>	<b>Litoloji</b>	Riyolit, Alt İgnimbirit	Riyolit, Alt İgnimbirit	Riyolit, Alt İgnimbirit, Üst İgnimbirit	Riyolit, Alt İgnimbirit	Temel Kayaları, Riyolit	Alt İgnimbirit	Alt İgnimbirit	Riyolit	Alt İgnimbirit, Üst İgnimbirit
	<b>Alterasyon</b>	Arjillik Alterasyon, Silisleşme	Arjillik Alterasyon, Silisleşme	Arjillik Alterasyon, Silisleşme	Arjillik Alterasyon, Silisleşme	Arjillik Alterasyon, Silisleşme	Arjillik Alterasyon, Silisleşme	Arjillik Alterasyon, Silisleşme	Arjillik Alterasyon, Silisleşme	Arjillik Alterasyon, Silisleşme
<b>Kuvars Damarlarının Özellikleri</b>	<b>Yapılar</b>	Masif Kristalin ve Kalsedonik kuvars, Amatist	Masif Kristalin ve Kalsedonik kuvars, Amatist	Masif Kalsedonik kuvars, Amatist	Masif Kalsedonik	Masif Kristalin	Masif Kristalin Amatist	Masif Kristalin Amatist	Masif Kristalin, Kuvars Damar Breşleri	Masif Kristalin, Kuvars Damar Breşleri
	<b>Dokular</b>	Karbonat ornatma ve Kafes dokusu	Karbonat ornatma ve Kafes dokusu	Karbonat ornatma ve Kafes dokusu	Karbonat ornatma ve Kafes dokusu	Vugy kuvars	Kolloform, Karbonat ornatma dokusu	Kolloform, Karbonat ornatma dokusu	Kolloform-Krustiform ve sülfür bantlaşmaları	Kolloform-Krustiform dokuları ve Vugy Kuvars
	<b>Mineralizasyon</b>	Pirit, Oksit Mineralleri	Pirit, Oksit Mineralleri, Götüt	Pirit, Oksit Mineralleri, Götüt	Pirit, Oksit Mineralleri, Götüt	Pirit	Pirit, Oksit Mineralleri	Pirit, Oksit Mineralleri	Pirit, Oksit Mineralleri	Pirit, Oksit Mineralleri
<b>Kuvars Damarlarının Cevher Sistemindeki Yeri</b>		Kalsedonik-Kristalin	Kalsedonik-Kristalin	Kalsedonik	Kalsedonik	Kristalin	Kristalin	Kristalin	Kristalin	Kristalin



Şekil 2.17 Kavaklıdüz-Karadüz sahasındaki kuvars damarlarının düşük sülfidasyon epitermal sistemdeki yerleri (Corbett, G.J., 2002a dan uyarlanmıştır)

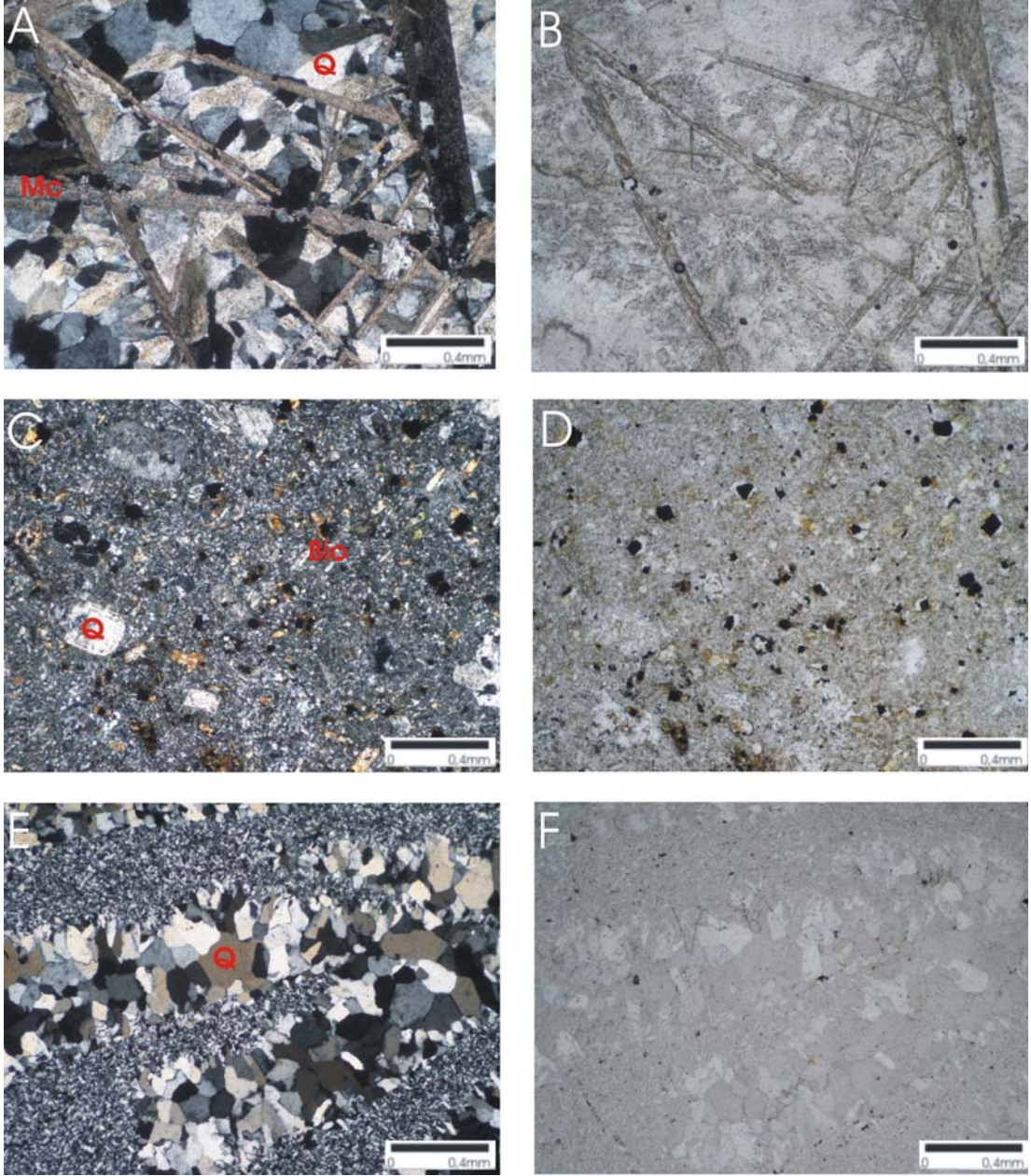
### 2.3.1 Gang Mineralleri

Çalışma alanının güneyinde bulunan kuvars damarları genel olarak kalsedonik kuvars ve kafes yapısı göstermektedir. Bununla birlikte az oranda kolloform ve krastiform bantlaşmaları bulunmaktadır. İnce taneli pirit mineralleri nadir olarak bu bantlaşmalar doğrultusunda gözükmektedir. İri taneli pirit mineralleri ise baskın olarak kuvars damarlarında saçınmış olarak gözlenmektedir. Çalışma alanının kuzeyinde karadüz sahasında ise daha çok düşük sülfidasyon sistemlerde baskın olarak kaynama zonunu temsil eden kolloform ve krastiform bantlaşmaları gözlenebilmektedir. Pirit mineraline bu bölgede güneye oranla daha az rastlanmasına rağmen kuvars damarlarında ağsı görünümde birbirini kesen ince sülfid damarlarına rastlanmıştır.

Yapılan arazi çalışmalarında kolloform yapılu kalsedonik kuvars damar breşi içerisinde limonit hematit gibi FeOx karışımları ve pirit mineralinin oksitlenmesi sonucu oluşmuş küçük kübik boşluklar gözlenmiştir.

Kuvars damarlarının yan kayaçlarla olan dokanaklarında silisleşmeler ve ağsı ince kuvars damarcıkları stokvörk yapısı şeklinde bulunurlar. Bu damarcıklar özellikle alt ignimbirit biriminin altere olmuş kısımlarında gözlenmektedir. Bu yapılar damarın maksimum 10-15 m uzağında son bulurlar.

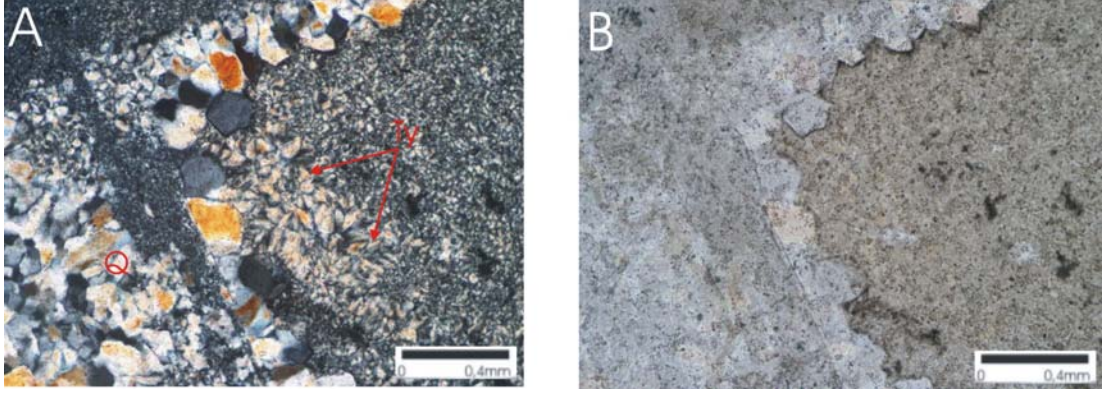
Epitermal sistemlerde kuvars minerali gang minerali olarak bulunur. Çalışma alanından alınan örneklerin ince kesitleri üzerinde yapılan çalışmada mika (Mc) minerallerin ışınal bir şekilde uzanıp orta taneli kuvars (Q) tanelerini kestikleri gözlenmiştir (Şekil 2.18A,B). Şekil 2.18C ve D de ince taneli kuvars (Q) mineralleri ile paralel ve haç nikelde de siyah renkte biyotit (Bio) minerali gözlenmektedir. İnce taneli matriks içerisinde iri taneli kalsedonik kuvars (Q) bantlaşmaları ile bıçak ağzı karbonat dokularının kuvars (Q) tarafından ornatıldıkları Şekil 2.18E, F deki mikroskop görüntüsünde gözlenmektedir.



Şekil 2.18 Epitermal kuvars damarlarından alınan örneklerin mikroskop görüntüleri: A) Mika (Mc) mineralleri tarafından kesilmiş kuvars (Q) taneleri. B) Mika (Mc) minerallerinin haç nikeldeki görüntüsü. C) İnce taneli kuvars (Q) ve biyotitler (Bio). D) Biyotitlerin (Bio) haç nikeldeki görüntüleri. E) İri taneli kuvars (Q) stokvörk dokusu. F) İri taneli kalsedonik kuvars (Q) ve biyotitlerin haç nikel görüntüsü.

Şekil 2.19A ve B de düşük sülfidasyon damar tipi epitermal sistemlerde sıkça rastlanan tüysü yapıdaki (Ty) kuvars (Q) taneleri gözlenmiştir.

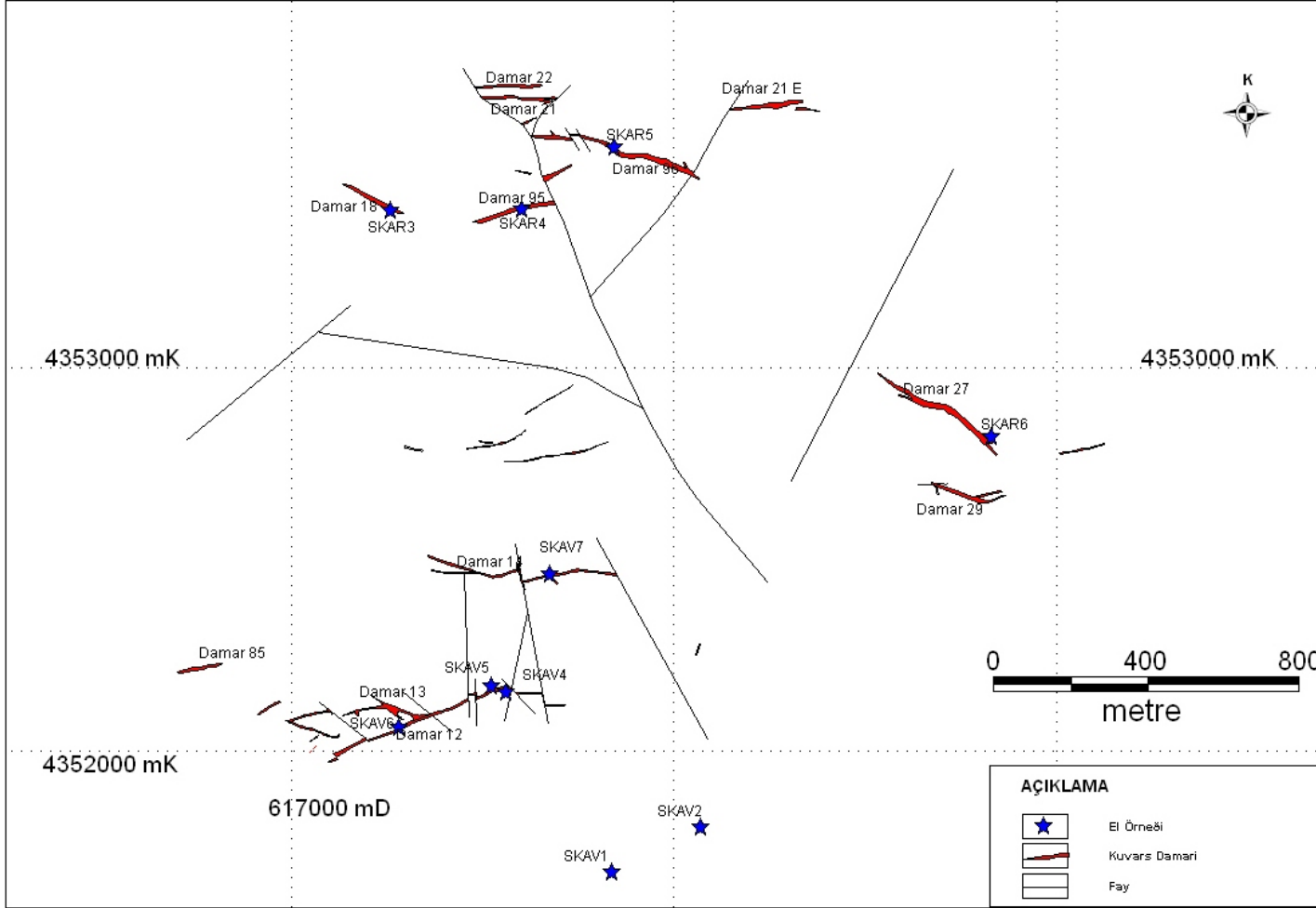




Şekil 2.19 Çalışma sahasından alınan örneklerdeki belirgin dokular: A) Epitermal sistemlerde gözlenen tüsü yapıdaki (Ty) kuvars (Q) taneleri. B) A da gözlenen yapıların ve kuvars (Q) tanelerinin haç nikoldeki görüntüsü.

### 2.3.2 Cevher Mineralleri

Pirit, elektrum, altın gümüş, arjentin; kalkopirit, sfalerit, galen, tetrahedrit, sülfat tuzu ve selenit mineralleri Sındırgı bölgesinin en yaygın cevher mineralleridir. Kavaklıdüz sahasındaki kuvars damarlarının toplam uzunluğu yaklaşık 3km yi bulmakta ve daha önce yapılmış olan sondaj programlarına görde dikey olarak 350-400m devam etmektedir. Kuvars damarlarının alt ignimbirit biriminin altında doğru kaybolduğu düşünülürse cevherli zonun genişliği artabilir. Bununla birlikte alt ignimbirit biriminde bulunan silisli zonlar ve kuvars stokvörklerde gözlenen benzer yapı ve dokulardan yola çıkarak post mineralizasyon şeklinde mineralizasyon olmadığı söylenebilir. Ana hatlarıyla sistemin en üst kısmını Au-Ag cevherleşmesi daha derinde Ag zengin cevher zonu ve son olarak sistemin tabanını da piritik zon oluşturur. Daha ayrıntılı olarak ise yüzeyden derine doğru Au-Ag-As-Sb-Hg, Au-Ag-Pb-Zn-Cu, ve Ag-Pb-Zn dir. Kavaklıdüz den alınan örnek lokasyonları Şekil 2.18 de gösterilmiştir. Ayrıca örneklerin açıklamaları Tablo 2. 2 de verilmiştir.



Şekil 2.20 Kavaklıdüz-Karadüz sahasından alınan örneklerin lokasyonları.

Tablo 2.2 Kavaklıdüz-Karadüz sahalarından alınan örneklerin açıklamaları

Numara	Örnek Numarası	Bölge	Koordinatlar	İnce Kesit	Sıvı Kapanımı	Ar/Ar Yaş	Izotop	Jeokimya	XRD	Açıklamalar
1	SKAV1	Kavaklıdüz	617838 / 4351683	x			x	x		Kristalin kuvars
2	SKAV2	Kavaklıdüz	618069 / 4351800	x					x	Arjillik ve silisik alterasyon
3	SKAV3	Kavaklıdüz	616193 / 4351921	x						Demir oksit (FeOx)
4	SKAV4	Kavaklıdüz	617560 / 4352154	x						Kristalin kuvars
5	SKAV5	Kavaklıdüz	617523 / 4352169	x						Kristalin kuvars
6	SKAV6	Kavaklıdüz	617281 / 4352061						x	Arjillik ve silisik alterasyon
7	SKAV7	Kavaklıdüz	617674 / 4352461					x		Karbonat ornatma, kafes dokusu
8	SKAR1	Karadüz	617505 / 4353721	x			x	x		Kristalin kuvars
9	SKAR2	Karadüz	617465 / 4353691	x						Karbonat ornatma dokusu
10	SKAR3	Karadüz	617258 / 4353411					x		Vugy kuvars
11	SKAR4	Karadüz	617599 / 4353416					x		Kolloform-krustiform yapısı ve sülfür bantlaşması
12	SKAR5	Karadüz	617842 / 4353577					x		Kuvars damar breşi
13	SKAR6	Karadüz	618828 / 4352820					x		Kolloform kristalin kuvars

## 2.4 Hidrotermal Alterasyon

Çalışma alanında altın cevherleşmesinde etkin olan yapıların çevresinde genel olarak killeşmiş, hematitleşmiş ve silisleşmiş volkanik kayalar gözlenir. Altın içeren silisleşmiş volkanik kayalar hematitik killi alterasyon ile çevrilidir.

Tablo 2.3 te ana alterasyon minerallerinin XRD analizleri tanımlanmıştır. Killeşmiş volkanik kayalardan alınan örneklerin analizlerinden illit, kaolinit (nakrit), klorit mineralleri saptanmıştır. Klorit yalnızca bir örnekte gözlenmiştir. Kil mineralleri dışında ise kalsedonik kuvars, feldspat ve mika minerallerine rastlanmıştır. Kalsedonik kuvars epitermal sistemlerde düşük sıcaklık ürünü hidrotermal alterasyon belirteçidir (Leach ve Corbett., 1995).

Tablo 2.3 Kavaklıdüz-Karadüz sahalarından alınan örneklerin açıklamaları

Örnek	Bölge	XRD Metod	XRD difraktogram profillerinden tanımlanmış mineraller
SKAV2	Kavaklıdüz	Kil	Kuvars, Na-Feldspat, İllit, Klorit, Mika (RS), Kaolinit
SKAV6	Kavaklıdüz	Kil	Kuvars, K-Feldspat (ortoklas), Kaolinit (Nakrit), İllit

İllit ( $<10.5\text{\AA}>$ ) $>220$  daha yüksek sıcaklıktaki oluşum koşullarını belirtir (Reyes, 1990). Kaolinit epitermal yataklarda gözlenmesine karşın kaolinitin oluşum ortam sıcaklığıyla bir ilişkisi olmasada nakrit/dikit sıcaklık göstergesidir. Kaolinit sonraki evrelerde diğer kil minerallerinden süperjen olarak türemiş olabilir.

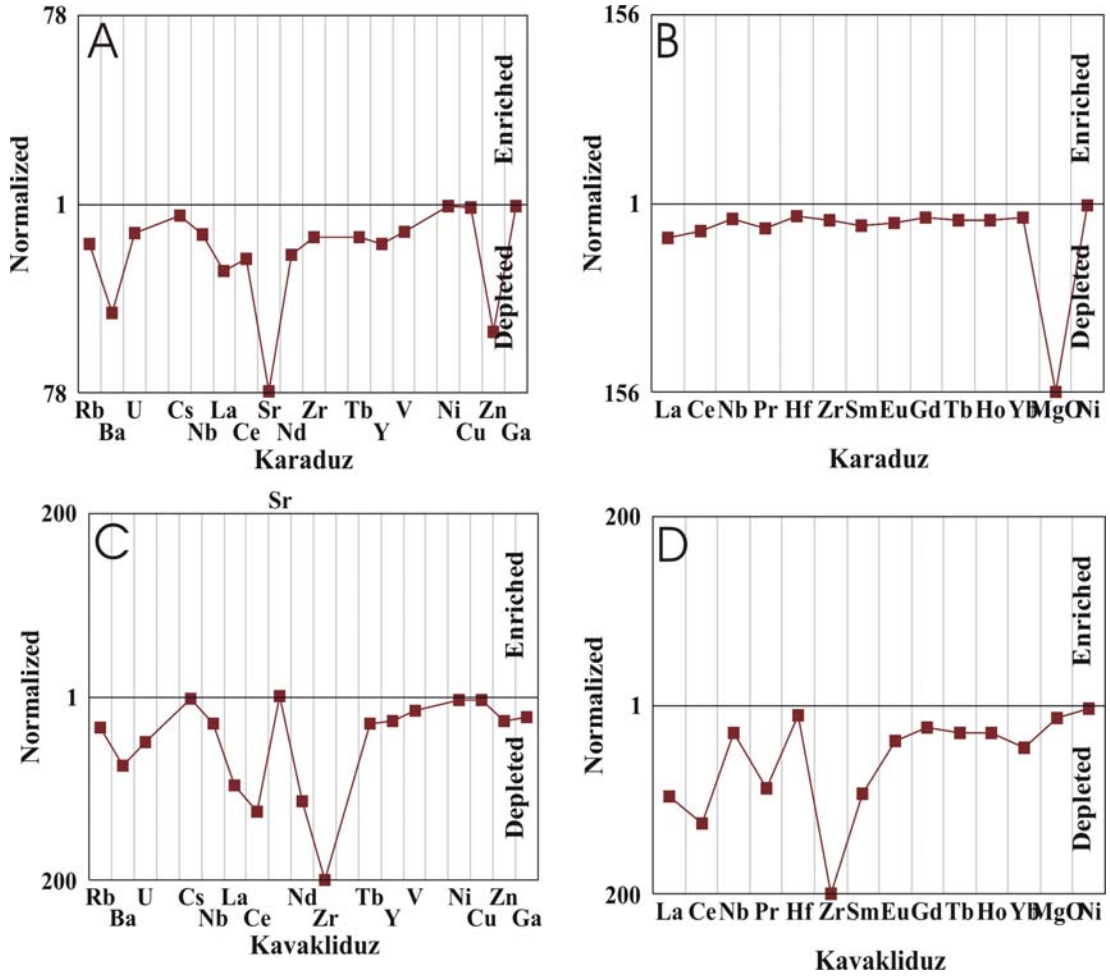
Kil minerallerinin oluşum sıcaklıkları Kavaklıdüz altın oluşum sistemi hakkında bilgi verebilir. Tipik epitermal sistemlerde, kalsedonik kuvars  $180\text{ }^{\circ}\text{C}$ 'nin altında, buna karşın kristalin kuvars  $180\text{ }^{\circ}\text{C}$  nin üstünde duraylıdır. Kaynama sırasında kristalin kuvars  $180\text{ }^{\circ}\text{C}$  nin altında, kalsedonik kuvars ise  $180\text{ }^{\circ}\text{C}$ 'nin üstünde oluşmuştur. Ortam basıncının düşmesi ve sıcaklığın azalması hidrotermal sıvıların silise doymasıyla sonuçlanır (kuvars oluşumu doğrudan sıcaklık ile

ilgilidir). Düşük sıcaklıktaki yüzey sularının hidrotermal sıvılara karışmasıyla önemli miktarda silis içeren maden yataklarının oluşumuna neden olur. Örneğin kristobalit 100 °C den daha az sıcaklıklarda, kuvars ise daha yüksek sıcaklıklarda oluşur (Leach ve Corbett., 1995). Hidrotermal akışkanlar yüzeye çıktıklarında hızlı bir şekilde soğuyup amorf sinter yapılarını oluştururlar. Altın gümüş içeren sistemlerde kuvars gang mineralidir (Heald ve diğerleri, 1987).

## 2.5 Jeokimyasal İncelemeler

Çalışma sahasından alınan örnekler üzerinde yapılan jeokimyasal analiz sonuçları altersyonlu mineralli ve taze, altere olmamış kayalar şeklinde incelenmiştir. Jeokimyasal verilerden elde edilen bilgilerle kayaların alterasyon ve mineralizasyonları arasındaki farklılıklar ortaya konulmaya çalışılmıştır. Yapılan jeokimyasal analiz verileri Tablo 2.5 te verilmiştir.

Kavaklıdüz ve Karadüz çalışma sahalarından alınan örnekler üzerinde jeokimyasal analizler sonucunda Ba, Nb, La, Ce, Sr, Nd, Zr, Tb ve Y gibi elementlere rastlanmıştır. Nadir toprak elementleri ve diğer elementler farklı dizilimlerde Hildreth diyagramlarına yerleştirildiğinde alterasyon ve mineral içerikli zonlar ile taze kayaları birbirinden farklı kılan desenler ortaya çıkar (Şekil 2.21). Alterasyon zonlarında Cs, Sr nin 4, Zn nin 9 kat arttığı yerlerde fakirleşme gösterir. Ba, Nb, La, Ce, Sr, Nd, Zr, Tb ve Y gibi iz elementler, mineralize olmuş kuvars damarları içerisinde 3 kata kadar fakirleşme gösterir. Diğer bir deyişle kuvars damarlarında Th ve Sr boyunca La, Ce, Nd, Zr, Tb ve Y elementleri orta derecede fakirleşme gösterir. Mg, Fe, Na ve Ca nin ortalama zenginleşmesi oldukça düşüktür. Kuvars damarlarındaki altere olmuş yan kayaçtaki bütün nadir toprak elementleri konsantrasyonu volkanik ana kayalardan çok daha düşüktür. Şekil 2.21 da Karadüz ve Kavaklıdüzde ki kuvars damarları ile altere volkaniklerin nadir toprak element profilleri ve minör elementlerin normalize değerlerinin karşılaştırılması gösterilmektedir.

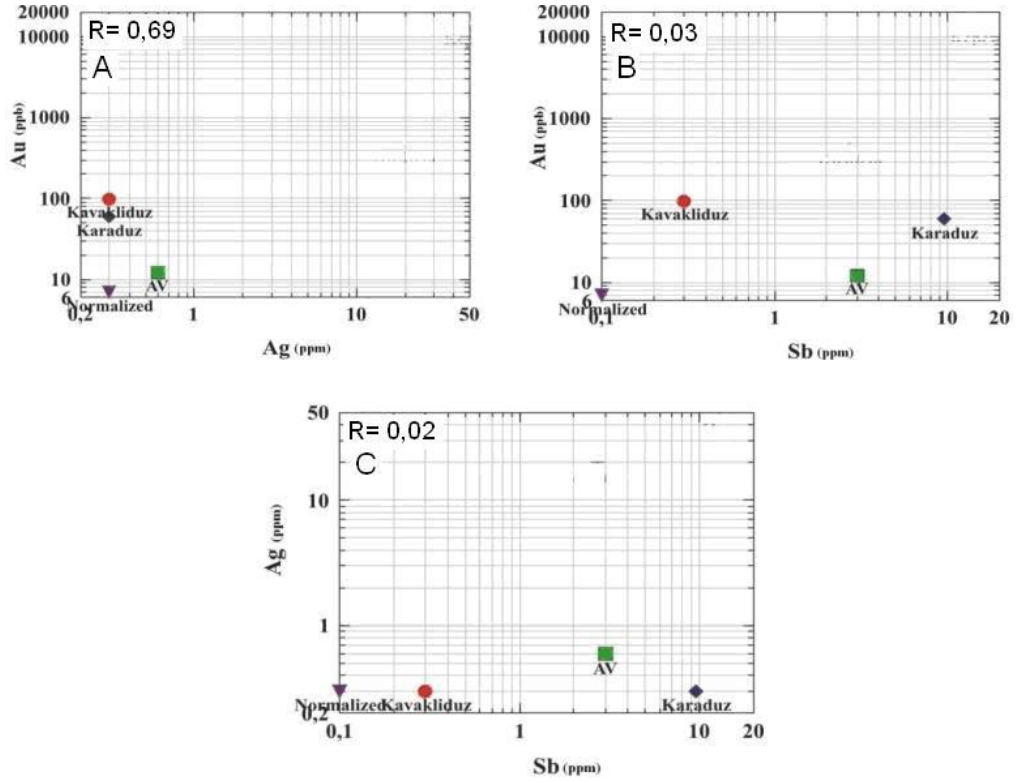


Şekil 2.21 Kavaklıdüz – Karadüz volkanik kayaçlarında; A-B-C-D: alterasyon zonlarında belirli elementlerin göreceli zenginleşmesi ve fakirleşmesi.

Au-Ag arasındaki jeokimyasal ilişki Şekil 2.22 de gösterilmiştir. Au nun pozitif korelasyon katsayısı, epitermal kuvars damarlarındaki Ag ve Sb ile karşılaştırıldığında oldukça güçlü olduğu görülür. Bu değer ölçüm yapılan birçok yerde 0,5 in üzerinde saptanmıştır. Ag ve Cd arasında korelasyonun olmadığı noktalarda Au - As ve Au - Cu in korelasyonunun oldukça zayıf olduğu gözlemlenmiştir. Tüm bu açıklamaların belirtisi olarak mineralizasyonun Au ve Ag nin farklı fazlarının mümkün tanımlamaları olarak farklı mineralizasyon oluşumları olabilir.

Çalışma alanındaki silisleşmiş altere zonlardaki Au miktarı ile birlikte bulunan diğer elementler arasındaki ilişkiler ve korelasyon katsayılarına bakıldığında Ag nin

Au ( $R=0,93$ ) ve Sb ( $R=0,79$ ) ile çok güçlü korelasyonun olduğu saptanmıştır (Şekil 2.19). Buradaki Au nun Sb ve Ag ile çok yüksek korelasyonun olması Au cevherleşmesi ile Sb ve Ag nin aynı evrede geliştiğini gösterir. Dikkate değer önemli bulgulardan biride Ag / Au oranının  $>1$  olmasıdır. Bu oran epitermal sistemin beklenen doğasının belirlenmesinde oldukça önemlidir (Cole ve Drummond, 1986). Diğer bir değişle Ag / Au oranlarının 1 veya  $<1$  olduğu sistemler baskın elektrik ve serbest altın içerirler. Au-sülfür kompleksi baskındır ve ortam sıcaklığı  $250\text{ }^{\circ}\text{C}$  den düşüktür. Ag / Au nun  $>1$  olduğu durumlarda arjantit, baz metal sülfürleri, az altınlı elektrik ve klor kompleksleşmesi baskın olup oluşum ortamı sıcaklığıda  $250\text{ }^{\circ}\text{C}$  den yüksektir.



Şekil 2.22 Kavaklıdüz-Karadüz altın cevherleşmesi kayaç numunelerinde A) Au-Ag, B) Au-Sb, C) Ag-Sb, Log-Log XY diyagramları.

Tablo 2.4 Kavaklıdüz- Karadüz sahalarından alınan el örneklerinin jeokimyasal sonuçları.

Örnekler	<i>Ba</i>	<i>Be</i>	<i>Co</i>	<i>Cs</i>	<i>Ga</i>	<i>Hf</i>	<i>Nb</i>	<i>Rb</i>	<i>Sn</i>	<i>Sr</i>	<i>Ta</i>	<i>Th</i>
	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppb	ppm
<b>SKAV 1</b>	15	3	0,5	1,5	0,8	0,5	0,5	4	1	845	0,1	0,1
<b>SKAV 7</b>	80	3	0,7	1,2	0,5	0,5	0,5	3	1	24	0,1	0,2
<b>SKAR 1</b>	25	5	0,7	0,6	12,9	0,5	1,1	8	1	5	0,1	1,7
<b>SKAR 3</b>	30	2	0,6	4,3	9,6	0,5	4,3	3	3	14	0,3	5,1
<b>SKAR 4</b>	33	2	0,6	5,6	5,6	1,1	0,5	3	1	31	0,1	0,1
<b>SKAR 5</b>	33	1	1,5	5,2	8,3	0,5	1,6	4	1	47	0,1	0,4
<b>SKAR 6</b>	42	3	0,7	4,3	8,2	0,5	1,5	2	3	40	0,3	0,2
<b>753 (Normalize)</b>	1132	3	7,6	3,1	18,1	5,6	14,7	134	3	388	1,2	19,4

Örnekler	<i>U</i>	<i>V</i>	<i>W</i>	<i>Zr</i>	<i>Y</i>	<i>La</i>	<i>Ce</i>	<i>Pr</i>	<i>Nd</i>	<i>Sm</i>	<i>Eu</i>	<i>Gd</i>
	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppb	ppm
<b>SKAV 1</b>	0,1	5	1,9	1	1	0,5	0,7	0,11	0,3	0,06	0,03	0,19
<b>SKAV 7</b>	3,3	5	3,8	2	13,6	1,7	25,1	0,04	0,3	0,05	0,02	0,09
<b>SKAR 1</b>	0,4	6	0,5	14	1,6	1,7	3,8	0,47	1,6	0,31	0,07	0,39
<b>SKAR 3</b>	0,4	5	1,5	2	0,2	1,5	3,5	7,16	22,6	0,07	0,66	2,15
<b>SKAR 4</b>	4,1	6	0,2	4	14,6	0,6	4,2	2,88	0,3	0,05	0,07	2,12
<b>SKAR 5</b>	2,4	5	1,8	1	0,2	13,4	0,3	0,03	33	0,05	0,02	3,48
<b>SKAR 6</b>	0,1	5	0,6	2	0,4	0,1	0,5	5,89	1,2	3,22	0,02	2,18
<b>753 (Normalize)</b>	5	73	1,5	200	26,8	48,1	87,7	9,66	34	5,66	1,13	4,65



Örnekler	<i>Tb</i>	<i>Dy</i>	<i>Ho</i>	<i>Er</i>	<i>Tm</i>	<i>Yb</i>	<i>Lu</i>	<i>Mo</i>	<i>Cu</i>	<i>Pb</i>	<i>Zn</i>	<i>Ni</i>
	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppb	ppm
<b>SKAV 1</b>	0,03	0,09	0,03	0,06	0,02	0,05	0,01	0,3	1,6	0,5	2	1,2
<b>SKAV 7</b>	0,41	2,1	0,44	1,08	0,01	1,03	0,01	0,8	2,2	22,1	2	3,1
<b>SKAR 1</b>	0,06	0,29	0,06	0,16	0,05	0,19	0,04	0,8	2,5	2,0	1	2,6
<b>SKAR 3</b>	0,49	0,05	0,42	0,03	0,01	0,05	0,16	0,5	5,3	12,1	4	3,2
<b>SKAR 4</b>	0,01	0,05	0,02	0,03	0,15	1,41	0,04	0,2	7,5	1,7	3	4,2
<b>SKAR 5</b>	0,01	0,22	0,02	2,1	0,02	2,51	0,01	0,2	5,3	0,6	3	4,5
<b>SKAR 6</b>	0,66	0,06	0,51	1,36	0,18	1,48	0,02	0,3	6,3	0,5	4	1,2
<b>753 (Normalize)</b>	0,87	4,27	0,87	2,49	0,38	2,28	0,39	0,8	5,3	13,2	53	4,5

Örnekler	<i>As</i>	<i>Cd</i>	<i>Sb</i>	<i>Bi</i>	<i>Ag</i>	<i>Au</i>	<i>Hg</i>	<i>Tl</i>	<i>Se</i>
	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppb	ppm	ppm	ppm
<b>SKAV 1</b>	0,9	0,1	0,3	0,1	0,3	98	0,01	0,1	0,5
<b>SKAV 7</b>	52,6	0,1	2,4	0,1	41,1	52	0,01	0,1	0,5
<b>SKAR 1</b>	58,1	0,1	9,6	0,1	0,3	60	0,06	0,1	0,5
<b>SKAR 3</b>	71,2	0,1	3,0	0,1	1,2	12	0,03	0,4	0,5
<b>SKAR 4</b>	0,5	0,1	0,3	0,1	2,3	22	0,06	0,1	0,5
<b>SKAR 5</b>	33,2	0,1	1,7	0,1	12	6	0,11	0,1	0,5
<b>SKAR 6</b>	42,6	0,1	3,0	0,1	1,8	28	0,10	0,1	0,5
<b>753 (Normalize)</b>	4,8	0,1	0,1	0,1	0,3	7	0,01	0,1	0,5

<b>Örnekler</b>	<b>SiO<sub>2</sub></b>	<b>Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub></b>	<b>Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub></b>	<b>MgO</b>	<b>CaO</b>	<b>Na<sub>2</sub>O</b>	<b>K<sub>2</sub>O</b>	<b>TiO<sub>2</sub></b>	<b>P<sub>2</sub>O<sub>5</sub></b>	<b>MnO</b>	<b>Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub></b>	<b>Ni</b>	<b>Se</b>	<b>LOI</b>
	%	%	%	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	%	%	ppm	ppm	ppm	%
<b>SKAV 1</b>	71,48	0,47	0,42	1100	152300	300	600	100	0,02	500	10	17	1	12,0
<b>SKAV 7</b>	97,63	0,75	0,59	100	400	300	600	100	0,02	100	20	11	1	3,6
<b>SKAR 1</b>	96,73	1,08	1,15	100	200	100	1100	300	0,01	100	10	12	1	0,9
<b>SKAR 3</b>	86,53	0,35	2,65	100	200	300	500	100	0,14	200	10	13	3	0,8
<b>SKAR 4</b>	85,55	0,66	2,15	200	400	200	800	100	0,05	100	30	17	1	0,8
<b>SKAR 5</b>	95,66	1,05	2,23	100	200	100	400	100	0,06	100	20	15	1	2,6
<b>SKAR 6</b>	82,36	0,67	2,56	200	800	100	400	100	0,05	100	20	5	1	2,0
<b>753 (Normalize)</b>	66,02	15,32	4,18	15600	31700	32400	35550	5600	0,18	800	20	5	9	2,0

## ÜÇÜNCÜ BÖLÜM

### TARTIŞMA VE SONUÇLAR

Hidrotermal sistemler yüzeyden itibaren 1km ye kadar derinlik, 300 °C sıcaklık (genel olarak 150°C-250°C) (Berger ve Eimon., 1983), meteorik ve magmatik akışkanların karışımından oluşmuş (White ve Hedenquist, 1990; Simpson ve Simmous., 2001) sistemler olarak tanımlanmıştır. Epitermal sistemler içerdikleri altın gümüş oranı (Hedenquist ve diğ., 1996; Morrison ve diğ., 1991) kayaç bileşimi (Bonham., 1986) ve jeolojik yapılarıyla (White ve Hedenquist., 1990) diğer altın yataklarından ayırt edilir. Bir çok araştırmacı epitermal sistemleri, adularya-serizit ve asit-sülfid (Hayba ve diğ., 1985; Heald ve diğ., 1987) ve son zamanlarda ise düşük-yüksek sülfidasyonlu (Hedenquist ve diğ., 1996; Sillitoe ve Hedenquist.,2003) olmak üzere iki şekilde ayırtlanmıştır. Leach ve Corbett (1995), düşük sülfidasyonu (adayayı düşük sülfidasyon ve rift düşük sülfidasyon) /yüksek sülfidasyon olarak sınıflamıştır.

Killeşmiş volkanik kayalardan alınan örneklerin XRD analizlerinden illit, kaolinit (nakrit), klorit mineralleri saptanmıştır. Klorit yalnızca bir örnekte gözlenmiştir. Kil mineralleri dışında ise kalsedonik kuvars, feldspat ve mika minerallerine rastlanmıştır. Kalsedonik kuvars epitermal sistemlerde düşük sıcaklık ürünü hidrotermal alterasyon belirteçidir (Leach ve Corbett., 1995).

İllit epitermal sistemin >150 °C ve mineralizasyonun en az 220 C° de geliştiğini gösterir (Reyes, 1990). Kaolinit sıcaklığa duyarlı değildir.

Kavaklıdüz - Karadüz altın cevherleşmesinde kalsedonik kuvars, illit, kaolinit, klorit mineralleri ve az oranda kolloform doku varlığı sığ düzeyli epitermal sistemler için iyi bir örnektir.

Masif kalsedonik kuvars varlığı hidrotermal çözeltilerin silise doymun olduğunu ve sistemin üst seviyelerinde olduğunu gösterir. Kavaklıdüz bölgesindeki kuvars damarlarında kalsedonik kuvars daha baskın olarak gözlenmektedir ve daha üst seviyeleri temsil etmektedir. Karadüz bölgesindeki kuvars damarlarında kristalin kuvarstan oluşmakta ve daha yoğun olarak kolloform ve krustiform bantlaşmaları sunmaktadır. Kolloform ve krustiform dokuları kaynama zonunu gösterir. Dolayısı ile sistemin daha derinlerini temsil eder.

Üst düzeylerde As ve Sb artar, Au azalır ve korelasyon katsayısı da oldukça düşer. Düşmesi de mineralizasyonların (Au, As, Sb) oluşumundaki seviye farklarından kaynaklanır.

Au nun Sb ve Ag ile çok yüksek korelasyonun olması Au cevherleşmesi ile Sb ve Ag nin aynı evrede geliştiğini gösterir. Ag / Au oranının  $>1$  olması epitermal sistemin beklenen doğasının belirlenmesinde oldukça önemlidir (Cole ve Drummond, 1986). Diğer bir değişle Ag / Au oranlarının 1 veya  $<1$  olduğu sistemler baskın elektrik ve serbest altın içerirler. Au-sülfid kompleksi baskındır ve ortam sıcaklığı  $250\text{ }^{\circ}\text{C}$  den düşüktür. Ag / Au nun  $>1$  olduğu durumlarda arjantit, baz metal sülfidleri, az altınlı elektrik ve klor kompleksleşmesi baskın olup oluşum ortamı sıcaklığıda  $250\text{ }^{\circ}\text{C}$  den yüksektir.

**KAYNAKLAR**

Anderson, W.B. ve Eaton P.C. (1990). *Gold mineralization at the Emperor Mine, Vatukoeula, Fiji : J.Geochem. Exploration*, (36),267-296.

Berger, B.R., and Eimon, P.I. (1983). *Conceptual models of epithermal metal deposits in Shanks, W.C., ed., Cameron Volume on Unconventional Mineral Deposits: Society of Mining Engineers, New York*, p. 191-205.

Bonham, H. F. (1986). *Models for volcanic-hosted epithermal precious metal deposits: A review*, in proceedings of Symposium 5: volcanism, hydrothermal systems and related mineralization, February 1986, Auckland: Auckland, International Volcanological Congress, p. 13-18.

Bozkurt, E. (2001). *Neotectonics of Turkey – a synthesis*, Geodinamica Acta (14), 3-30.

Cole, D. R., Drummond, S. E. (1986). *The effect of transport and boiling on Ag/Au ratios in hydrothermal solutions: a preliminary assessment and possible implications of the formation of epithermal precious-metal ore deposits*, Journal of Geochemical Exploration, (25), 45-79.

Corbett, G.J., (2002). *Epithermal Gold for Explorationists - Australian Institute of Geoscientists Presidents lecture: AIG News No 67*, 8p.

Crowell, J.C. (1974). *Sedimentation along the San Andreas Fault: R.H.Dott (ed.),Modern and Ancient Geosynclinal Sedimentation, Soc. Econ. Paleontol. Mineral., Spec. Publ. No. (19)*, 292-303.

- Ercan.T., Günay.E. ve Savaşçın, M. Y. (1981/1982). *Simav ve çevresindeki Senozoyik yaşlı volkanizmanın bölgesel yorumlanması*: MTA Derg., (97/98), 86-101, Ankara.
- Hayba, D.O., Bethke, P.M., Heald, P., ve Foley, N.K. (1985). *Geologic, mineralogic, and geochemical characteristics of volcanic-hosted epithermal precious metal deposits*, in Berger, B.R., and Bethke, P.M., eds., *Geology and Geochemistry of Epithermal Systems: Society of Economic Geologists Reviews in Economic Geology*, v. 2, p. 129-168.
- Heald, P., Foley, N.K., Hayba, D.O. (1987). *Comparative anatomy of volcanic-hosted epithermal deposits: Acid-sulfate and adularia-sericite types*. *Economic Geology* (82), 1-26.
- Hedenquist, J.W., Izawa, E., Arribas, A., White, N.C. (1996). *Hydrothermal systems in volcanic arcs, origin of the exploration for epithermal gold deposits: A short course at Mineral Resource Department, Geological Survey of Japan, Higashi 1-1-3, Tsukuba 305, Japan*, 139 pp.
- Hemley, J. J. ve Jones, W. R. (1964). *Chemical aspects of hydrothermal alteration with emphasis on hydrogen metasomatizm*: *Econ. Geol.*, (59), 538-569.
- Konak, N. (1982). *Simav dolayını n jeolojisi ve metamorf kayaçlarının evrimi*: *İstanbul Yerbilimleri*, (3), 313-337.
- Leach, T.M., Corbett, G.J. (1995). *Characteristics of low sulfidation Au-Cu systems in the southwest pacific*, in Pacific Rim Congress 95, 19-22 November 1995, Auckland, New Zealand, proceedings, Carlton South. The Australian Institute of Mining and Metallurgy, 327-332.

- Morrison, G., Guoyi, D., Subhash, J. (1991). *Textural zoning in epithermal. Quartz veins*. James Cook University, Townsville, Australia, unpublished AMIRA report, p. 247, 1-19.
- Oygür, V. (1997a). *Metallogeny of the Simav Graben (Inner- Western Anatolia, Turkey)*: Doktora Tezi. Orta Doğu Teknik Univ., Ankara, 144 s.
- Reyes, A.G. (1990). *Petrology of Philippine geothermal systems and the application of alteration mineralogy to their assessment*. Journal of Volcanology and Geothermal Research (43), 279-309.
- Şengör, A.M.C. (1980). *Türkiyenin Neotektoniğinin Esasları* . T.J.K. Konferansları Serisi no: 2.
- Shelton, J. W., (1984). *Ustric normal faults: an illustrated summary*: A.A.P.G. Bull., (68), 801 815.
- Sillitoe, R.H., Hedenquist, J.W. (2003). *Linkages between volcanotectonic settings, ore-fluid compositions, and epithermal precious-metal deposits*. In: Simmons, S.F., Graham, I. (Eds.), *Volcanic, geothermal, and ore-forming fluids: rulers and witnesses of processes within the earth*. Society of Economic Geologists Special Publication 10, p. 315-343.
- Simpson, M.P., Mauk, J.L., Simmons, S.T. (2001). *Hydrothermal alteration and hydrologic evolution of the Golden Cross epithermal Au-Ag deposit, New Zealand*. Economic Geology (96), 773-796.
- Sylvester, A. G. (1988). *Strike-slip faults*: Geol. Soc. America Bull., 100, 1666-1703. White, N.C., Hedenquist, J.W., 1990. *Epithermal environments and styles of mineralization: variation and their causes, and guide lines for exploration*. Journal of Geochemical Exploration (36), 445-474.

Woodcock, N. G. ve Fischer, M. (1986). Strike-slip duplexes: *J. Struct. Geol.*, (8), 725- 735.

Yılmaz, H. (2007). *Low-sulfidation type Au-Ag mineralization at Bergama, Izmir, Turkey*. *Ore Geology Reviews* (32), 81-124.

Yılmaz, Y. (2000). *Ege bölgesinin aktif tektoniği*. BADSEM 2000. Batı Anadolu'nun depremselliği sempozyumu, 24-27 Mayıs 2000, İzmir, Bildiriler Kitabı s.3-14.



## EK. 1 XRD-DİFRAKTOMETRE PROFİLLERİ

