

T.C.
FIRAT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**KEBAN (ELAZIĞ) DOĞU FIRAT KEBAN DERE CİVARI BAKIR
OLUŞUKLARININ JEOLojİSİ, KÖKENİ VE
EKONOMİK ÖNEMİ**

Leyla KALENDER

**DOKTORA TEZİ
JEOLojİ MÜH. ANABİLİM DALI**

96354

**ELAZIĞ
2000**

T.C.
FIRAT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

KEBAN (ELAZIĞ) DOĞU FIRAT KEBAN DERE CİVARI BAKIR OLUŞUKLARININ
JEOLJİSİ, KÖKENİ VE EKONOMİK ÖNEMİ

Leyla KALENDER

DOKTORA TEZİ

JEOLJİ MÜH. ANABİLİM DALI

Bu Tez, Tarihinde, Aşağıda Belirtilen Jüri Tarafından Oybirliği / Oyçokluğu
ile Başarılı / Başarısız Olarak Değerlendirilmiştir.

(İmza)

(İmza)

(İmza)

Danışman

ÖZET

Doktora Tezi

**KEBAN (ELAZIĞ) DOĞU FIRAT KEBAN DERE CİVARI BAKIR
OLUŞUKLARININ JEOLJİSİ, KÖKENİ VE EKONOMİK ÖNEMİ**

Leyla KALENDER

Fırat Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Jeoloji Mühendisliği Anabilimdalı

2000, Sayfa: 110

İnceleme alanı Elazığ ilinin 40 km. batısında Keban ilçesi sınırları içerisinde bulunmaktadır. İnceleme alanında bulunan bakır oluşuklarının kökenini belirlemek amacıyla litolojik birimlerin, jeolojik, mineralojik, jeokimyasal ve petrolojik özellikleri yanısıra yapısal jeoloji, cevher mikroskopisi ve sıvı kapanım çalışmaları yapılmıştır.

İnceleme alanında iki jeolojik birim bulunmaktadır. Bunlar yaşlıdan gence doğru, Keban metamorfileri (Permo-Karbonifer) ve Keban magmatitleri (Üst Kretase) dir.

Kırık analizlerine göre, bakır oluşukları KB - GD doğrultulu sinjenetik tansiyon kırıkları, pirit, florit ve molibdenitler ise makaslama kırıklarını takip etmektedirler. Saçınımlı bakır sülfidlerin yukarıya doğru yapısal kontrollerin etkili olmasıyla damarlar şeklinde zenginleştiği düşünülmektedir.

Kuvars damarlarındaki kuvarslarda ve bakır oluşukları ile ilişkili kuvars, kalsit ve floritlerde mikrotermometrik ölçümler yapılmıştır. Kuvars damarlarını temsil eden kuvarslarda birincil kapanımlarda oluşum sıcaklığı 318-366⁰C aralığında ve tuzluluk değeri %21-23 NaCl eşdeğeri aralığındadır. Aynı kuvarslarda ikincil kapanımların oluşum sıcaklığı 326-356⁰C aralığında, tuzluluk değeri ise, %5-9,5 NaCl eşdeğeri aralığında değişmektedir. Bakır mineralleri ile ilişkili daughter mineralli

kuvarslardaki birincil kapanımlarda oluşum sıcaklığı ortalama 374°C ve tuzluluk değeri ortalama %17 NaCl eşdeğeridir. Kalsitlerde birincil sıvı kapanımlarında oluşum sıcaklığı $124 - 193^{\circ}\text{C}$ aralığında ve tuzluluk değeri %23-28 NaCl eşdeğeri aralığında dır. Floritlerdeki birincil sıvı kapanımların oluşum sıcaklığı ortalama 110°C ve tuzluluk değeri ortalama %19NaCl eşdeğeridir.

Birincil kapanımlardaki tuzluluk değerlerinin yüksek, ikincil kapanımların tuzluluk değerlerinin düşük olmasının nedeni; birincil kapanımların oluşumuna neden olan hidrotermal çözeltilerin denizel sedimanlar içerisinde dolaşması, ikincil kapanımlarda ise hidrotermal çözeltilerin meteorik kökenli sulardan etkilenmiş olabileceği şeklinde yorumlanmaktadır.

Cevherleşme ve sıvı kapanımlarındaki tüm veriler, kuvarsların katatermal sistemde, kalsit ve floritlerin ise epitermal sistemde oluştuğunu göstermektedir.

İnceleme alanında yüzeyleyen magmatik kayalar Keban magmatitleri olarak bilinmektedir. Bu birim siyenit, kuvars siyenit, monzonit ve kuvars monzonitlerden oluşmaktadır.

Bakır cevherleşmeleri kuvars monzonitler ve altere kuvars siyenitler içerisinde yüksek konsantrasyona ulaşmaktadır. Korelasyon analizleri sonucu, TiO_2 ile Th, Y, Nb, Ga, Sr, Ba; Fe_2O_3 ile Co; K_2O ile Y, Ba, Zn; Zr ile Cu arasında pozitif ilişkinin varlığı görülmektedir.

İnceleme alanında, pirit, kalkopirit, barit, kalsit, galen ve sfalerit hidrotermal cevherleşmeyi temsil eden önemli mineral topluluğudur. İncelemelere göre, düşük kalsitik potassik alterasyon tipi gözlenmektedir.

Y-Nb ve Y+Nb-Rb diyagramlarında Keban magmatitleri volkanik yay bölgelerini ve R1-R2 diyagramında ise geç orojenik evreyi işaret etmektedirler.

Sonuç olarak Doğu Fırat Keban Dere bakır oluşuklarının kökeni volkanik yay bölgelerinde gelişen porfiri sistemle ilişkili damar tipi cevherleşmeler olarak düşünülmektedir.

Anahtar kelimeler: Sıvı kapanım, porfiri bakır, bakır ve Keban.

ABSTRACT

Ph.D Thesis

**GEOLOGY, ORIGIN AND ECONOMIC IMPORTANCE OF THE COPPER
MINERALIZATION OF KEBAN (ELAZIĞ) EAST EUPHRATES
KEBAN DERE AREA**

Leyla KALENDER

Firat University

Gradute School of Sciece and Technology

Department of Geological Engineering

2000, Page: 110

The studied area is located in and around Keban township which is 40 kms west of Elazığ. The study deals with the geology, mineralogy, geochemistry, fluid inclusion studies, ore microscopy, structural geology and petrological features of lithological units in order to investigate origin of the copper mineralization.

Two geological units are present in the study area. These are; Keban Metamorphites (Permo-Carboniferous) and Keban magmatic rocks (Upper Createous).

According to fracture analysis, copper mineralizations are placed in KB-GD striking syngenetic tension fractures and pyrit, fluorit and molybdenite mineralizations in shear fractures. Occurance of sulfides change upward from dissemination and finally vein occurance indicating effect of structural control.

Microthermometric measurements made on primary and secondary fluid inclusions in quartz in the mineralized quartz veins and inclusions in quartz, calcite and fluorite related to copper mineralizations. The temparature for the quartz formation

change in temperature interval of 360-380⁰C and have salinity values of average 22 wt %NaCl eq. The fluid inclusions which are in quartz of mineralized veins and contain daughter minerals, have an average homogenization temperature of 374 ⁰C and average salinity of 17 wt %NaCl eq. In primary fluid inclusions of calcites, the formation temperature interval is 124 -193⁰C and have salinity values of 23-28 wt %NaCl eq. In fluorites fluid inclusions the formation temperature are average 109⁰C and have salinity values 18,9 wt %NaCl eq. In secondary fluid inclusions salinity values are low because, hydrothermal fluids have effected by meteoric water. In primary fluid inclusions salinity values are high, implying circulations of hydrothermal fluids in the marine sediments.

All of the fluid inclusion studies and investigations on mineralization, suggest that quartz is mineralized in catathedral system and the other minerals calcite, fluorite in epithermal system.

Magmatic rocks of the studied area are called Keban magmatic rocks by previous workers. This unit consists of syenite, quartz syenite, monzonites, quartz monzonites.

Copper deposits have high concentration in quartz monzonites and quartz syenite. The correlation analysis shows that TiO₂ correlate with Th, Y, Nb, Ga, Sr, Ba; Fe₂O₃ with Co; K₂O with Y, Ba, Zn; Zr with Cu.

The mineral assemblage is made of pyrite, chalcopyrite, baryte, calcite, galena, sphalerite, and represents a hydrothermal type mineralization. Investigation results, indicate a low- sodic- calcitic- potassic alteration type.

In Y-Nb and Y+Nb-Rb diagrams, Keban Magmatic rocks were plotted in the volcanic arc area. R1 and R2 diagram shows Keban magmatic rocks formed in the late orogenic stage.

In conclusion, the origin of the Keban Dere copper mineralization is considered as porphyry type deposit in magmatics and vein type mineralizations connected with porphyry system.

Key words: Fluid inclusion, porphyry copper, copper and Keban.

TEŞEKKÜR

"Keban (Elazığ) Doğu Fırat Keban Dere Civarı Bakır Oluşuklarının Jeolojisi, Kökeni ve Ekonomik Önemi" konulu bu çalışma, F.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsünde 1993-1999 yılları arasında doktora tezi olarak hazırlanmıştır.

İncelemeler, arazi, laboratuvar ve büro çalışmaları olmak üzere üç aşamada gerçekleştirilmiştir.

1993-1997 yılları arasında inceleme alanının seçimi ve literatür taramalarında yardımcı olan önceki danışmanım Doç. Dr. Hüseyin ÇELEBİ'ye, 1997-1999 yılları arasında arazi çalışmaları sırasında ve önerileri ile yardımlarını esirgemeyen tez danışmanım Yrd. Doç. Dr. Şahin HANELÇİ'ye teşekkür ederim.

Sıvı kapanım çalışmalarına yönlendiren hocam Prof. Dr. Ahmet SAĞIROĞLU'na , bu konuda maddi ve manevi yardımlarını esirgemeyen Cumhuriyet Üniversitesi Jeoloji Bölümü hocalarından Prof. Dr. Ahmet GÖKÇE ve Yrd. Doç. Dr. Fuat CEYHAN'a değerli katkılarından dolayı çok teşekkür ederim.

Tez yazımı sırasında petrografi ve jeokimya bölümlerinde gerekli düzeltmeyi yapan hocam Prof. Dr. Fevzi BİNGÖL'e ve Yrd. Doç. Dr. Melehat BEYARSLAN'a teşekkür ederim. Cevher minerallerinin mikroskopik incelemelerinde yardımlarını esirgemeyen Yrd. Doç. Dr. Ahmet ŞAŞMAZ'a ve inceleme alanının kırık analizi çalışmaları sırasında yardımlarını esirgemeyen Yrd. Doç. Dr. Murat İNCEÖZ'e ve Arş. Gör. Ali KAYA ile Arş. Gör. Hasan ÇELİK'e teşekkür ederim.

İnce ve parlak ve iki yüzü parlatılmış kesitlerin yapımı sırasında yardımlarından dolayı ince kesit teknisyeni Fuat İSTEK'e ve çizimlerin bir kısmını hazırlayan bölümümüz teknik ressamı Dursun YILMAZ'a teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa No</u>
1. GİRİŞ	1
1.1. Çalışmanın Amacı	1
1.2. Çalışma Yöntemleri	1
1.3. Coğrafi Konum	2
1.4. Önceki Çalışmalar.....	3
2. LİTOLOJİK BİRİMLER.....	8
2.1. Keban Metamorfizmaları.....	8
2.1.1. Rekristalize Kireçtaşları.....	8
2.1.2. Dolomitik Kireçtaşları.....	11
2.1.3. Kalkşist.....	11
2.1.4. Serizit Klorit Şistler.....	12
2.1.5. Laminallı Kireçtaşı.....	13
2.1.6. Metatürbiditler.....	13
2.2. Keban Mağmatitleri	14
3. TEKTONİK.....	16
4. PETROGRAFİ.....	21
4.1. Keban Metamorfizmaları.....	21
4.1.1. Rekristalize Kireçtaşları.....	21
4.1.2. Kalkşist.....	22
4.1.3. Serizit Klorit Şistler.....	23
4.2. Keban Mağmatitleri.....	24
5. CEVHERLEŞMELER.....	32
5.1. Saha Özellikleri.....	32
5.2. Mineralojik ve Dokusal Özellikleri.....	35
6. SIVI KAPANIM ÇALIŞMALARI.....	44
6.1. Materyal Metod.....	44
6.2. Kapanımların Genel Özellikleri.....	45
6.3. Kuvars Damarlarındaki Kuvarların Sıvı Kapanım Özellikleri.....	49
6.4. Cevherleşme ile İlişkili Minerallerde Sıvı Kapanım Özellikleri....	57

7. JEOKİMYA.....	67
7.1. Örnek Malzemesi, Analiz ve İnceleme Yöntemleri.....	68
7.2. Keban Metamorfitlerinin Jeokimyasal İncelenmesi.....	74
7.3. Mağmatik Kayaçların Jeokimyasal İncelenmesi.....	78
7.3.1. Mağmatik Kayaçların Ana Oksit ve Eser Element Değişimi....	78
7.3.2. Ana Elementlere Göre Magmatik Kayaçların İsimlendirilmesi.	85
7.3.3. Mağmatik Kayaçların Oluştığı Tektonik Ortamın İncelenmesi	86
7.4. Cevherleşmelerin Jeokimyasal İncelenmesi	88
8. JEOTEKTONİK EVRİM.....	91
9. BAKIR CEVHERLEŞMELERİNİN KÖKENİ.....	94
10. EKONOMİK JEOLJİ.....	99
11. SONUÇLAR VE TARTIŞMA.....	101
12. KAYNAKLAR.....	103



ŞEKİLLER LİSTESİ

<u>Şekil No</u>	<u>Sayfa No</u>
Şekil 1.1. İnceleme alanının yer bulduru haritası.....	3
Şekil 2.1. İnceleme alanının genel jeoloji haritası.....	9
Şekil 2.2. İnceleme alanının genelleştirilmiş stratigrafik sütun kesiti (Ölçeksiz).....	10
Şekil 3.1. Cevherli kırıklara ait gül diyagramı.....	18
Şekil 3.2. Cevhersiz kırıklara ait gül diyagramı.....	18
Şekil 3.3. Rekristalize kireçtaşları içindeki cevherli kırıklara ait gül diyagramı.....	19
Şekil 3.4. Cevherli kırıklardan bir görünüş.....	19
Şekil 4.1. Rekristalize kireçtaşlarının mikroskopik görünüşü.....	22
Şekil 4.2. Kalkışitlerin mikroskopik görünüşü.....	23
Şekil 4.3. Serizit şistlerin mikroskopik görünüşü.....	24
Şekil 4.4. Keban magmatitlerine ait kayaçların QAP diyagramında adlandırılması.....	25
Şekil 4.5. Kuvars, K-feldispat, albit ve anortitin derinlikle değişimi.....	27
Şekil 4.6. İleri derecede serizitleşmiş Keban magmatitlerinin mikroskopik görünüşü.....	27
Şekil 4.7. Diyopsit, enstatit k-feldispat ve hematitin Cu ile değişim diyagramları.....	31
Şekil 5.1. Nallıziyaret Tepede yer alan N-5 nolu sondaj yerinin görünüşü.....	34
Şekil 5.2. Sfaleritlerde gözlenen zonlu yapılardan bir örnek.....	35
Şekil 5.3. Limonitlerde görülen kolloform doku.....	36
Şekil 5.4. Kalkopiritlerde gözlenen kataklastik dokudan bir görünüm.....	36
Şekil 5.5. Piritler içindeki kalkopiritlerin mikroskopik görünüşü.....	37
Şekil 5.6. Kalkopiritler içerisindeki enarjit ayrışmasının mikroskopik görünüşü.....	37
Şekil 5.7. Sfalerit ve galenle birlikte bulunan arsenopiritlerin görünüşü.....	38

Şekil 5.8. Pirit-pirotin dönüşümleri.....	38
Şekil 5.9. Kalkopirit ile birlikte bulunan löninjitlerin görünüşü.....	39
Şekil 5.10. Molibdenitlerin mikroskopik görünüşü.....	39
Şekil 5.11. Magmatik kayaç kalkışist dokonağında gelişen molibdenitler.....	40
Şekil 5.12. Yarma-2'de gözlenen malakit ve azuritlerden bir görünüm.....	40
Şekil 5.13. Sfaleritler içerisinde gözlenen pirit ve kalkopiritlerin mikroskopik görünüşü.....	41
Şekil 6.1. I.tip sıvı kapanımlarının mikroskopik görünüşü.....	46
Şekil 6.2. II.tip sıvı kapanımlarının mikroskopik görünüşü.....	46
Şekil 6.3. III.tip sıvı kapanımlarının mikroskopik görünüşü.....	47
Şekil 6.4. IV.tip sıvı kapanımlarının mikroskopik görünüşü.....	47
Şekil 6.5. Kuvarslar içinde dört değişik tip sıvı kapanımlarının mikroskopik görünüşü.....	48
Şekil 6.6. Sıvı kapanımlarının dondurulması sırasında sıcaklık düşmesine bağlı olarak gelişen değişimler.....	54
Şekil 6.7. Kuvars damarlarına ait homojenleşme sıcaklıklarını gösteren diyagramlar.....	55
Şekil 6.8. Homojenleşme sıcaklığı, %NaCl eşdeğer tuzluluk oranı korelasyon diyagramı.....	56
Şekil 6.9. Kuvars, kalsit, floritlerde homojenleşme sıcaklığı sıklık diyagramı.....	61
Şekil 6.10. %NaCl eşdeğeri homojenleşme sıcaklığı arasındaki korelasyon diyagramı.....	62
Şekil 6.11. Sıvı kapanım homojenleşme sıcaklığı ve tuzluluk diyagramı.....	63
Şekil 7.1. Cu,Pb, Zn, Ba 'a ait varyogramlar ve en iyi örnek aralıkları.....	69
Şekil 7.2. Cu, Pb, Zn, Ba, ve Ga'nın derinlikle değişimi.....	70
Şekil 7.3. Magmatik kayaçların derinlik değişimi ve Cu, Pb, Zn, Th, Zr ve Nb'nin dağılımı.....	71
Şekil 7.4. Cu-SiO ₂ , Ba-Sr, Cu-Zn, Cu-Pb, Cu-Y, Cu-Th, SiO ₂ -K ₂ O, SiO ₂ -Al ₂ O ₃ , arasındaki ilişkiyi gösteren diyagramlar.....	72
Şekil 7.5. Cu, Zn, Pb, Ga, Ba, Nb, Y, Th'a ait sıklık diyagramları.....	73

Şekil 7.6. Keban magmatitlerinin Bas ve diğ. (1986)'nın geliştirdiği R1-R2 diyagramındaki konumları	85
Şekil 7.7. Keban magmatitlerine ait kayaçların Pearce ve diğ. (1984) tarafından geliştirilmiş Nb-Y diyagramındaki dağılımı.....	86
Şekil 7.8. Keban magmatitlerine ait kayaçların Pearce ve diğ. (1984) tarafından geliştirilmiş Nb+Y-Rb diyagramındaki dağılımı.....	86
Şekil 7.9. Keban magmatitlerine ait kayaçların Kuno (1966) tarafından geliştirilmiş ALK/SiO ₂ diyagramındaki konumu.....	87
Şekil 7.10. Keban magmatitlerine ait kayaçların Kayaç /ORG-Kayaç/Kondrit ile eser elementlerin dağılımı.....	87
Şekil 7.11. Keban magmatitlerinin Batchelar ve Bowen (1985) tarafından geliştirilmiş R ₁ -R ₂ diyagramındaki dağılımı.....	88
Şekil 7.12. Ga, Pb, Cu, Zn'ye ait logaritmik sıklık diyagramları.....	89
Şekil 8.1. Keban ilçe merkezinden geçen rekristalize kireçtaşı ile kalkışist dokanağı.....	93
Şekil 9.1. Porfiri bakır yataklarında alterasyon ve mineralleşme kuşakları.....	96
Şekil 9.2. Volkanik yay bölgelerindeki cevherleşmeler.....	98

ÇİZELGELER LİSTESİ

<u>Çizelge No</u>	<u>Sayfa No</u>
Çizelge 4.1. Magmatik kayalara ait kayaların model minerolojik bileşimi.....	26
Çizelge 4.2. N-5 nolu sondaj karot örneklerinin XRD sonuçları.....	28
Çizelge 4.3. Hidrotermal alterasyon topluluğu.....	30
Çizelge 5.1. Örneklerin cevher minerali içeriği.....	43
Çizelge 6.1. Kuvars minerallerindeki sıvı kapanımlarının geometrik şekillerine göre sınıflandırılması.....	49
Çizelge 6.2. Kuvars damarlarındaki kuvarsların sıvı kapanımlarının özellikleri.....	50
Çizelge 6.3. Sıvı kapanımlarda sık gözlenen bazı tuzların su ve ötektik sıcaklıkları.....	51
Çizelge 6.4. Cevherleşme ile ilişkili minerallerdeki sıvı kapanım özellikleri...	58
Çizelge 7.1. Keban metamorfitlelerine ait anaoksit ve eser element içerikleri....	76
Çizelge 7.2. Keban metamorfitlelerine ait korelasyon analiz sonuçları.....	77
Çizelge 7.3. Keban magmatitlerine ait anaoksit ve eser element içerikleri.....	80
Çizelge 7.4. Keban magmatitlerine ait korelasyon analiz sonuçları.....	81
Çizelge 7.5. Keban magmatitlerine ait yüzey örneklerinin anaoksit ve eser element içerikleri.....	82
Çizelge 7.6. Keban magmatitlerine ait yüzey örneklerinin korelasyon analiz sonuçları.....	83
Çizelge 7.7. N-5nolu sondaj karot örneklerinde K ₂ O-Ba-Cu içeriği.....	84
Çizelge 7.8. Porfirlerle ilişkili bakır yatağındaki düşük ve yüksek sülfidasyon karakteristikleri.....	90

EKLER LİSTESİ

Ek-1. İnceleme alanının 1/5000 ölçekli jeoloji haritası ve jeolojik enine kesiti.



1. GİRİŞ

1.1 Çalışmanın Amacı

Bu çalışma kapsamında Keban Dere, Siftil Tepe ve Nallıziyaret Tepe civarında bugüne kadar yapılan çalışmalar yeniden değerlendirilerek, arazi çalışmaları ve jeokimyasal analiz sonuçlarından elde edilen veri, bulgu ve gözlemler ışığında bakır oluşuklarının kökeni araştırılmıştır.

1.2 Çalışma Yöntemleri

Amaca ulaşmak için yapılan çalışmalar, literatür çalışmaları, arazi çalışmaları laboratuvar çalışmaları, sonuçlar ve değerlendirme olmak üzere dört aşamada gerçekleştirilmiştir.

Literatür çalışmaları, arazi çalışmalarından önce başlamış ve çalışmanın her aşamasında devam etmiştir. Bu çalışmayla inceleme alanı ve yakın çevresinin jeolojisini konu alan ilgili rapor, makale, kitap v.s. gibi çalışmalar derlenmiştir. Ayrıca inceleme alanı ve yakın çevresinde diğer oluşuklar ve kökenleri araştırılmış ve benzeri yataklanma tipleri ve özellikleri dünya literatürlerinden taranarak tartışılmıştır.

Arazi çalışmaları sırasında inceleme alanının 1/5000 ölçekli jeoloji haritası yapılarak bölgenin stratigrafisi ve tektoniği ortaya çıkarılmıştır. Çalışma alanında yüzeyleyen litolojik birimlerden örnekler derlenerek bunların makroskopik özellikleri saptanmıştır. 1972 yılında Elektrik İşleri Etüt İdaresince yapılan sondajlardan mümkün olduğu kadar sistematik örnekler alınarak incelenmiştir.

Laboratuvar çalışmaları yaklaşık bir yıl sürmüştür. Sondajlardan alınan 26 örneğin tamamı, yarmalardan alınan altı örnek ve dört yüzey kayaç örneğinde jeokimyasal analiz yapılmıştır. 30 örneğin petrografik ince kesitleri, 40 örneğin tamamı XRF (X-Ray flüoresans) ve 9 adet örneğin ise XRD (X Ray Difraktometre) metodları ile analizleri yapılarak jeokimyasal özellikleri ile mineral içerikleri saptanmıştır.

Çalışma alanında gözlenen farklı dokusal ve mineralojik özellikteki porfirlerden örnekler alınarak bunların cevherleşme ile ilişkisi araştırılmıştır.

Yüzeyden yapılan sondajlar seyrek yapıldıklarından ve yeterli derinlikte

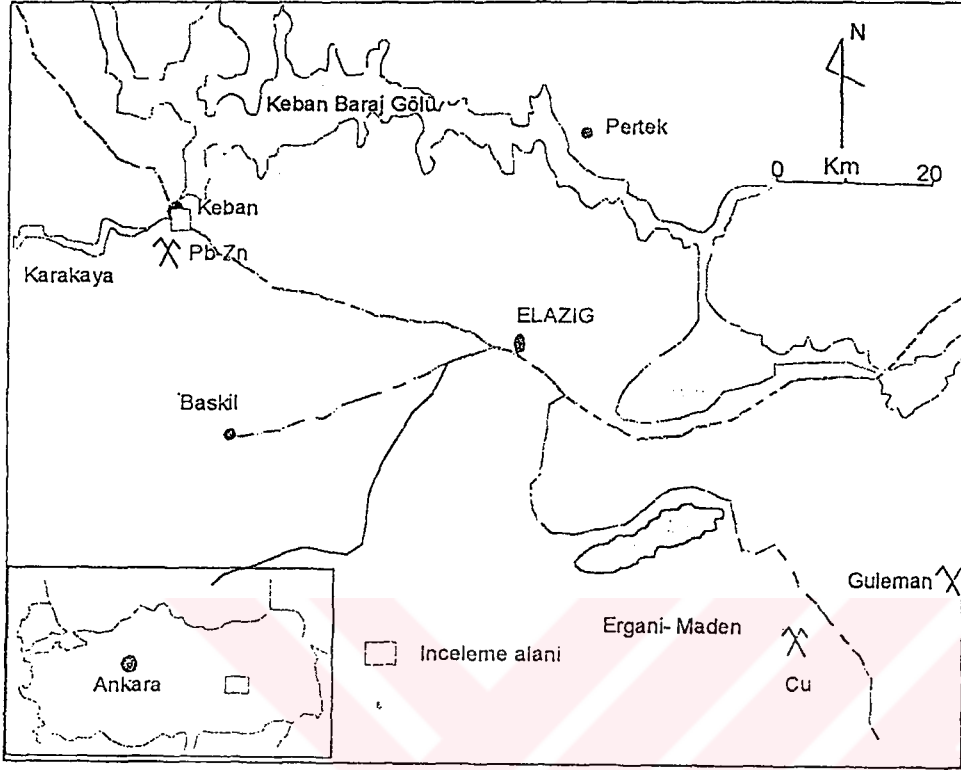
olmadığından ve iyi korunmadıklarından cevher aramada ve değerlendirmelerde Nallıziyaret Tepe hariç hemen hemen hiç katkıları olmamıştır. Nallıziyaret Tepede sondajlar arası mesafe 80-200 m arasındadır. Sondaj karotlarının iyi muhafaza edilemeyişi nedeniyle bu çalışmada rezerv hesabı yapılamamıştır. Ancak Keban dere'nin güneyinde yarma-1 ve yarma-2'deki Cu ve Au analizlerinden yararlanılarak Hanelçi ve diğ. (1989) tarafından yarma-1de 113.000.000 ton, yarma-2'de ise 90.000.000 ton muhtemel rezerv hesaplanmıştır.

Nallıziyaret Tepede N-5 sondaj karot örneklerinin ortalama bakır içeriğinin %0,014 (147ppm), Keban Dere civarından alınan örneklerde ise ortalama %0,015 (150ppm) Cu olduğu saptanmıştır.

1.3. Coğrafi Konum

İnceleme alanı, Elazığ İli'nin 40 km batısında Keban İlçesi sınırları içerisindeki Nallıziyaret Tepe (876m) ve Siftil Tepe (1072m)'yi içeren 1/25 000 ölçekli Malatya K41 a3 paftasında 8 km²'lik bir alanı kapsamaktadır (Şekil 1.1).

İnceleme alanı, Fırat Nehri'nin doğusunda yer almaktadır. İnceleme alanının güneyinde Derebaca, kuzeyinde ise Asker Tepe yer almaktadır. Çalışma alanında yer alan dereler Keban Dere, Pamuk Dere ile Kudikan Dere'dir. Akış yönleri yaklaşık doğudan batıya doğrudur. Tipik karasal iklimin hüküm sürdüğü bölgede yazlar sıcak ve kurak kışlar soğuk ve yağışlıdır (yaklaşık 400 mm/yıl). Bölge bitki örtüsü bakımından oldukça fakirdir. Özellikle yerleşim yerlerinde meyve bahçeleri ve kısmen ağaçlandırma çalışmalarına başlanmıştır. Yöre halkının en önemli geçim kaynağını tarım ve hayvancılık oluşturmaktadır.



Şekil 1.1. İnceleme alanının yer bulduru haritası.

1.4. Önceki Çalışmalar

Bölge tarihi incelendiğinde, MÖ 3500-4500 yıllarında Roma ve Bizanslılar tarafından başlayan madencilik, daha sonra 18yy ve 19yy'da Osmanlılar tarafından işletilmiş ve daha çok gümüş üretimi yapılmıştır (Seeliger ve diğ.1985). Sonraki yıllarda ilk çalışmayı 1935 yılında MTA başlatmış ve 1953 den sonra Etibank araştırmalarını sürdürmüştür. 1972'de Elektrik İşleri Etüd İdaresi bir dizi sondajlar yapmış fakat bunlar sistemli ve yeterli sayıda olmadığından sağlıklı sonuç alınamamıştır.

Ziserman (1969), bölgede çok yönlü bir çalışma yaparak Fırat Tip (Doğu Fırat) ve Kısmet Tip (Batı Fırat) olarak cevherli yatağı iki kısma ayırarak, Doğu Fırat cevherleşmelerinin masif kireçtaşlarını kesen cevherli porfirlerin en üst seviyesinde

olduğunu belirtmektedir. Aynı araştırmacı, Derebaca, Siftil Tepe ve Pamuk Dere civarı olmak üzere Doğu Fırat cevherleşmelerini üç bölümde inceleyerek, buradaki cevherli zonun 70 m genişliğinde, 100 m uzunluğunda ve 10m kalınlığında olduğunu belirtmiştir. Keban Dere civarının bakır oluşukları hakkında ise, bakırın saçınımlı oluşu, porfirlerle ilişkileri, porfirlerde görülen alterasyonlar, altının varlığı, kıtasal levha kenarında oluşu sebebiyle yapısal olarak porfiri bakır oluşukları üzerinde durmuştur.

Kineş (1969), mangan mineralleri ile az miktarda manyetit içeren, Keban şelit yatağı ve ana sülfid yatağının skarn zonlarında (225-620⁰ C) oluştuğunu belirtmektedir.

Köksoy (1975), yapılan jeokimyasal çalışmalarından elde edilen verilere göre, Keban'da Pb-Zn cevherleşmesinin mağmatik hidrotermal sıvılar tarafından oluştuğu fikrini ileri sürmüştür.

Kipman (1976), Keban civarında yaptığı çalışmalarda Keban Metamorfitlerini yaşlıdan gence doğru; mermer (rekristalize kireçtaşı), alt şist (kalkşist), ve üst şist (kalk fillit) olmak üzere üç ayrı birime ayırmıştır. Araştırmacı tıpkı diğerleri gibi (Kumbasar, 1964 ve Kineş, 1969) cevherleşmenin oluşumunu metazomatizma koşullarına bağlamıştır .

Akıncı (1977), Nallıziyaret Tepe civarında yapılan 19 adet sistematik sondajların karot örnekleri incelendiğinde, kireçtaşı, skarn kayaçlar ile porfirler içerisinde pirit-kalkopirit, molibdenit, wolframit, manyetit, granat, epidot ve floritlerden oluşan değişik oranda mineral parajenezi gözlenmiş ve sondaj karotlarının değerlendirilmesinde Cu-Mo ve WO₂ minerallerinin kontakt zonunda mı yoksa porfirler içerisinde mi dissemine halde kosantre oldukları ve hangi koşullarda hangi minerallerin arttığı ve azaldığına dair bir çalışmanın olmadığını bu nedenle Nallıziyaret Tepe'deki cevherleşmenin kontakt pirometasomatik mi yoksa porfiri tip bir yatak mı olduğu saptanamamıştır. Akıncı tarafından yapılan analizlerde molibdenin bakıra oranla daha yaygın olduğu belirtilmiştir.

Balçık ve diğ. (1978), Kudikan Dere içinde 8 adet sondaj, Zeryan Dere'de ise 14 adet sondaj yapılmıştır. Zeryan Dere'deki en zengin cevher 2 nolu sondajda rastlanmış kalınlığının 4 m olduğu belirtilmiştir. Sondajların porfiri tip bakırın varlığını ortaya koyup koymadığının araştırılması gerektiği vurgulanmaktadır.

Balçık ve diğ. (1979), Keban çevresinde yaptıkları çalışmada simli kurşun yatağı olarak bilinen Keban maden sahasının, kontakt pnömatolikten epitermale kadar değişen cevher parajenezleri içeren polimetalik bir yatak olduğunu belirtmektedirler.

Perinçek (1979), tanımladığı Yüksekova Karmaşığının (Elazığ Mağmatitleri), kireçtaşı, şeyl, kumtaşı, volkanik kumtaşı, tuf, aglomera, bazalt, diyabaz, gabro, serpentinit, granit ve granodiyoritlerden oluştuğunu belirterek kireçtaşlarında saptadığı fosillere dayanarak karmaşığa Kampaniyen Meastrihtiyen yaşını vermiştir.

Yazgan (1984), Elazığ Malatya bölgesinde yaptığı çalışmada bölgenin kuzeyden güneye doğru biri Üst Kretase'de (Elazığ Mağmatitleri), diğeri Orta Eosen'de (Maden Karmaşığı) olmak üzere iki ayrı dizge içinde oluşan volkanik ve derinlik kayaçlarının genç ve kalın olmayan bir kıta kabuğu üzerine yerleşmiş etkin kıta kenarı ürünleri olduğunu, Elazığ Mağmatitlerine ait kayaçların alkali eğilimli kalkalkali özellik gösterdiğini belirtmektedir.

Kipman (1982), inceleme alanında metamorf temeli kesen Üst Kretase-Paleosen yaşlı subvolkanik kayaçların bulunduğunu ve bunların siyeno monzonitik bileşimli salik alkalice zengin bir mağmadan dört ayrı evrede türediğini belirtmiştir. Bu evrelerin, 1- Piroksen trakilatit 2- Piroksen hornblend trakilatit 3- Hornblend-biyotit trakit 4- Alkali trakit olduğunu, trakitlerin normal koşullarda katılaşmış olabileceğini ancak, trakitlerin kristallenme süresince bir potasyum metazomatizmasının var olduğunu bu metazomatizmanın, hornblend-biyotit trakitleri oluşturan mağmada, alkali feldispat fenokristallerinin meydana gelmesinden sonra başladığını ve alkali trakitleri oluşturan mağmada ise oldukça geliştiğini ileri sürmüştür.

Bingöl (1982), Elazığ-Pertek-Kovancılar arasında yaptığı çalışmada toleyitik ve kalkalkalen kayaçlardan oluşan Elazığ Mağmatitlerinin kuzeye dalımlı bir yitim zonunda kısmen okyanus kısmen de kıta kenarı üzerinde gelişmiş yay mağmatizması ürünleri olduğunu vurgulamaktadır.

Dirim ve diğ. (1985), Nallıziyaret Tepede cevherin kontakt pnömatolitik olarak porfir, skarn ve kalkıştler içerisinde geliştiğini Keban bölgesinde izlenen işletilen veya varlığı araştırılan tüm yatakların siyenit porfirlerle ilişkilerinin kesinliğini cevherli çözeltilerin sıcaklık ve buhar basınçlarının değişmesiyle yan kayacın fiziksel kimyasal ve yapısal özelliklerindeki farklılaşmadan ötürü olduğunu, yanal ve düşey mineral birliklerinde görülen yerel kuşaklanmaya (zonlanmaya) bağlanmıştır. Orta

sıcaklıkta, su buharının egemen olduğu buhar basıncı yüksek olmayan sulu çözeltilerden kaynaklanan, sfalerit, galen, pirit ve kalkopirit birliğinden oluşan cevherli kütlenin Keban Dere civarında yoğunlaştığını belirtmişlerdir. Aynı araştırmacılar, Yiğit, 1989 ve Yılmaz ve diğ. 1992 gibi Sedex tipi yataklanmaların olduğunu belirtmektedirler

Ulutan (1987), 1935 yılından 1985 yılına kadar Keban yatağının gelişimi ve işletme koşulları hakkında bilgi vermiştir.

Hanelçi (1989), Keban yatağı içinde bulunan tüm pasalardan sistematik örnek alarak Au-Ag değerlerine göre cevherleşme ile ilgili korelasyonlar yapmıştır. Çalışmalar sonucu, Batı Fırat'ta pasaların çoğunlukla kalkıştılar içinde bulunduğunu, Doğu Fırat'ta ise masif rekristalize kireçtaşları, kalkışt ve serizit klorit şist dokanaklarında olduğunu belirtmektedir.

Öztunalı (1989), cevherleşmenin oluşumunda etkili olan hidrotermal sıvıların metamorfik kökenli olduğunu belirtmektedir.

Hanelçi (1991), Keban (Elazığ) Zeryan Dere-Siftil Tepe metalojenisinin incelenmesi konulu çalışmasında, cevherlerin yerleştiği kayaların dokusu ve sedimentolojik verilere dayanarak çalışma sahasındaki birimlerin kıta kenarında, derin olmayan sığ denizel ortamlarda oluştuğunu ve Zeryan Dere sülfid cevherleşmesini volkanosedimanter olarak oluşmuş Kuruko tipi cevherleşme olduğunu belirtmiştir.

Akgül (1993), "Piran köyü (Keban) çevresindeki magmatik kayaların petrografik ve petrolojik özellikleri " konulu doktora tez çalışmasında; Çalışma alanındaki en yaşlı birimin Keban metamorfikleri olduğunu, mermer ve kalkfillik formasyonlardan oluşan birimin Yüksekova karmaşığı (Elazığ Mağmatikleri) ile oluşturduğu dokanak bazı kesimlerde intrüzif bazı kesimlerde tektonik olduğunu belirtmektedir. Çalışmasının asıl konusunu Üst Kretase yaşlı diyorit, gabro, tonalit ve granodiyorit bileşimli derinlik, mikrotonalit, aplit, lamporfir, bileşimli yarı derinlik, sipilitik bazalt, bazaltik andezit, andezit dasit gibi yüzey ve filiş özelliğindeki volkanoklastik sedimanter kayalar oluşmuştur. Bu birimin ada yayında gelişen, toleyitik seriye ait kafem magma tipini belirleyen I-tipi granitoyitler olduğu araştırmacı tarafından tespit edilmiştir.

Bingöl ve diğ. (1996), Elazığ mağmatitlerinin jeokimyası ve petrolojisi konulu çalışmalarında Üst Kratase sonunda kuzeydeki Bitlis-Pütürge-Keban Masiflerinin adayayı üzerine doğru itildiğini ve kabuğun kalınlaşmasına neden olduğunu bunun

sonucu olarak da alttaki gabro ve piroksenitlerin kısmi ergimeye uğrayarak hem gabro ve diyabazları hem de daha önce oluşan tüm yay malzemesini ve Keban metamorfizitlerini kesen granitik mağmayı verdiğini belirtmektedirler.

Çelebi ve diğ. (1997), Karamağara (Keban) molibdenit-florit cevherleşmelerinin jeokimyası konulu çalışmalarında, yüksek BaO ve Pb oranları ile düşük S, Cu, Zn, Co, Ni, derişimleri nedeniyle bu cevherleşmelerin eksalatif sedimanter oluşum savını kuvvetlendirdiğini, bu oluşukların yakınında sülfid cevherleşmelerinin bulunması ve baritin sülfidli cevherlere eşlik etmesiyle yüksek F ve Mo derişiminin olması Keban polimetalik cevherleşmelerinin eşoluşumlu, eksalatif sedimanter olduğunu vurgulamışlardır.

Çelebi ve diğ. (1997), Keban (Elazığ) mağmatitleri sanidinlerinin jeokimyasını incelerken, Karamağara Dere Mağmatitlerindeki alkali feldispatların sanidin olduğunu, kesintisiz bir tek mağmatik ayrımlaşmanın ürünü olduklarını belirterek, eser element derişimlerinin Keban Mağmatitleri ve sanidinlerin sahadaki cevher oluşumunda rol oynamadıklarını vurgulamışlardır.

2. LİTOLOJİK BİRİMLER

2.1. Keban Metamorfitleri

Keban civarının jeolojisi ilk defa Maucher (1938) ve Kovenko (1941), tarafından incelenmiştir. Daha sonraki çalışmalarda, Keban metamorfitlerini, Kipman (1976), mermer, rekristalize kireçtaşı, kalkşist, metakonglomera ve kalkfillit, Balçık ve diğ. (1979) ve Yılmaz (1993), alt şist (Nimri Fm.), mermer (Keban Mermeri), üst şist (Deli Mehmet Fm.) olarak incelemişlerdir. Hanelçi (1991), kalkşist, serizit klorit şist, tabakalı kireçtaşı, laminalı kireçtaşı ve dolomitik kireçtaşı (Şekil 2), Yılmaz ve diğ. (1992) ise Keban metamorfitlerini, mermer ve şist (Permo-Karbanifer) olarak tanımlamışlardır. Çalışmanın ana konusunu Keban Dere civarı bakır oluşukları oluşturduğu için bu oluşukları içine alan birimlerden kısaca söz edilecektir.

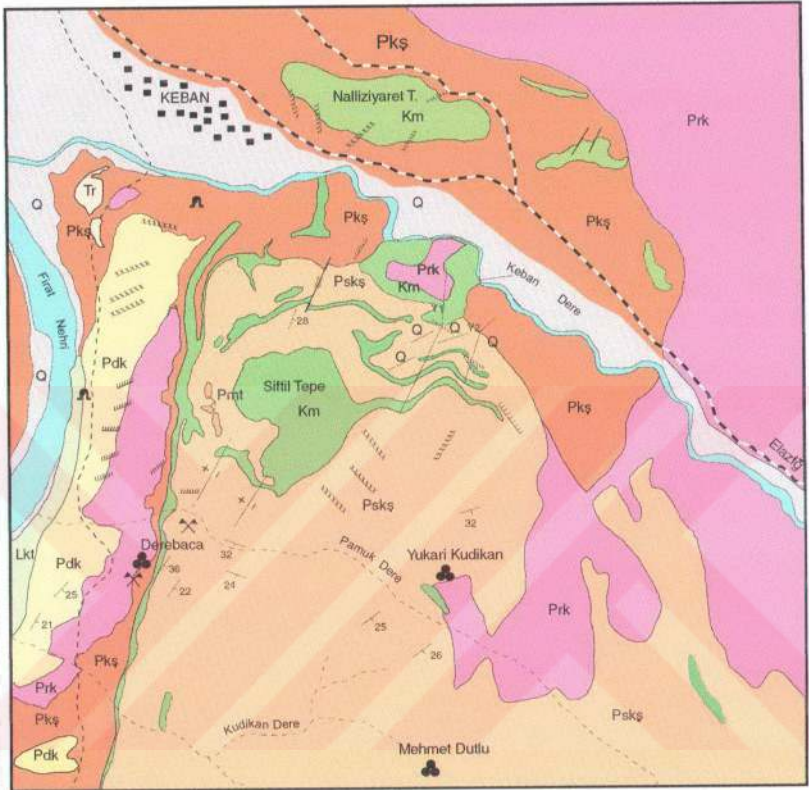
Çalışma alanı içinde gözlenen Şekil 2.2’de stratigrafik dikme kesitte görüldüğü gibi makroskopik ve mikroskopik özelliklerine göre kayalar, başlıca altı ayrı birim altında incelenmiştir. (Şekil 2.1; Ek-1).

2.1.1. Rekristalize Kireçtaşı (Prk)

Bu birim Siftil Tepe kuzeyi, Derebaca ve Yukarı Kudikan civarında gözlenmektedir (Şekil 2.1; Ek-1). İnceleme alanında en yaşlı birimi oluşturmaktadır. Rekristalize kireçtaşları genellikle beyazımsı sarı renkli olup kırılma yüzeyleri pembemsi bir görünüme sahiptir. Kayaç oldukça sert ve kırıklıdır. Çoğunlukla karstik yapıların hakim olduğu birim çatlak sistemi içinde dolaşan Fe ve Mn’lı çözeltilerden dolayı kırmızımsı ve kahverengimsi bir renk almıştır.

Bazı araştırmacılar, rekristalize kireçtaşlarını Keban mermeri, bazıları ise masif kristalize kireçtaşı olarak adlandırmışlardır. Kipman (1976), rekristalize kireçtaşlarının Permiyen yaşlı kalkşistler üzerine gelmesinin petrografi ve yapı özelliklerine göre anormal olduğunu bu nedenle rekristalize kireçtaşlarının daha yaşlı olması ve bindirme ile kalkşistlerin üzerine gelmiş olabileceğini vurgulamıştır. Kineş (1971), rekristalize kireçtaşlarının şistler ile aynı yaşlı olmadığını, fakat daha sonra bunların içine girerek budingleştiğini ileri sürmüştür. Kipman (1976), şistler ile rekristalize kireçtaşları

KEBAN DERE (KEBAN-ELAZIĞ) ÇİVARININ JEOLJİ HARİTASI



Q	Kum, kil, çakıl taşı	Pkş	Kalksist	Ocak yeri	Q	Kuvars damarı
Km	Keban magmatitleri	Pdk	Dolomitik kireçtaş	Cevherli kırıklar	Yerleşim yeri	
Lkt	Laminall kireçtaş	Prnt	Metaturbidit	Cevhersiz kırıklar	Y1	Yarmalar
Pskş	Serizit klorit şist	32	Eğim yönü	Fay		
Prk	Rekrystalize kireçtaş	Kuru dere		Sulu dere		



arasında az da olsa geçişin olduğunu savunarak kalkfillitlerin kimyasal olarak çökeldiğini ve daha sonra gelişen disarmonik kıvrım sonucu şistlerle mercekler arasındaki geçişin yok olduğunu ileri sürmüştür. Fakat saha gözlemleri kalkıştiller ve diğer birimlerle olan dokanak ilişkilerinin, rekristalize kireçtaşlarının güney ucunun tabakalı kristalize kireçtaşları tarafından sarılmış olması bu birimin tektonik değil olistolit olduğu fikrini doğurmuştur (Hanelçi, 1991).

2.1.2. Dolomitik Kireçtaşı (Pdk)

İnceleme alanında dolomitik kireçtaşları Keban Dere'nin güneyinden başlayarak GB'ya doğru devam ederek harita alanını terk etmektedir (Şekil 2.1; Ek-1).

Dolomitik kireç taşları kalkıştillerle yanal ve düşey yönde geçişlidir. Kayaç oldukça sert olup tansiyon ve makaslama kırık sistemlerinin her ikisine de sahiptir. Dolomitik kireçtaşlarının tabaka kalınlıkları 1-2cm'den 10m'ye kadar değişmektedir. Dolomitik kireçtaşları yer yer az da olsa klivaj yapısı sunmaktadır. Kırık ve çatlak düzlemleri arası ikincil kalsitler tarafından dolmuştur. İnceleme alanında dolomitik kireçtaşları içerisinde Kipman (1976) tarafından türleri saptanamamakla birlikte Glomospira ve Amediscus familyasına ait olduğu saptanan mikroorganizmalar bulunmuş ve bunlara bağlı olarak kabaca Permo-Karbonifer yaşı verilmiştir.

2.1.3. Kalkışt (Pkş)

Keban Metamorfitlerinin ait kalkıştiller Keban'ın güneyinde Fırat vadisi boyunca görülmektedir (Şekil 2.1; Ek-1). Bu birim içinde yer alan dolomitler tabakalı yapı gösterirler. İnce tabakalı olanlar koyu gri renkli iyi kristalleşmiş, kalın tabakalı olanlar açık gri renkli veya bej renklidir ve birkaç cm'ye varan siyah şeyl tabakaları içermektedir. Ziserman (1969), bu birime ait renk ve tabakalanma değişikliklerinin metamorfizmadan önce kayalarda bulunan organik madde ve kayacın bileşiminden kaynaklandığını belirtmiştir. Bu çökellerin evaporitik koşulların hakim olduğu bir havzada depolanmış olabileceğini belirtmiştir.

Kalkıştılar çalışma alanı içinde Nallıziyaret Tepe'nin güneyinde, Siftil Tepe'nin kuzeyinde ve Keban Dere'nin güneyinde gözlenmekte ve yer yer siyenit porfirlerle kesildiği görülmektedir.

Toplam kalınlık 250 m 'den daha kalındır. Fakat yer yer kırıklarla kesilmiştir. Zeryan Dere civarında yoğun kıvrımlanmalar vardır. Keban Dere civarında tabakalanmaya uyumlu şistozite yapıları gözlenmektedir.

Kalkıştılardan alınan örneklerde lepidoblastik doku ve çok evreli rejyonel metamorfizmanın sonucu kink bantlar gelişmiştir.

2.1.4. Serizit Klorit Şist (Pskş)

Serizit klorit şistler Siftil Tepe ve Keban Dere civarında mostra vermektedirler. Serizit klorit şistler kalkıştırlarla yanal ve düşey yönde geçişlidirler (Şekil 2.2;Ek-1). Kipman (1976), tarafından üst şist olarak isimlendirilmiş olan bu birim rekrizalize kireçtaşı olizolitleri ve metatürbiditleri içermektedir.

Serizit klorit şistler, yeşilimsi çok hafif morumsu renkli olup yer yer grimsi renk tonu vermektedir. Ayrışma yüzeyleri koyu kahverengi ile sarımsı kahve tonundadır. Bu renk değişimi kuvars, serizit klorit yoğunluğuna bağlı veya demiroksit içeriğine göre değişebilmektedir.

Serizit klorit şistler kırılğandır ve şistozite düzlemlerine paralel yapraklanmalar gelişmiştir. Tektonizmanın etkisiyle kıvrımlanmalar meydana gelmiştir.

Şerizit klorit şistler çeşitli araştırmacılar tarafından da tartışılmıştır. Kipman (1976)'a göre serizit klorit şistler kalkıştırlar üzerine uyumsuz olarak gelmekte ve metamorfik bir konglomera ile başlamaktadır. Bu çalışmacıya göre kalkıştırların çökmesinden sonra meydana gelen transgresyon sırasında konglomeraların oluşmuş ve paleotopoğrafyadaki çukurları doldurdıkları için devamlılıkları yoktur. Yarmalarda gözlenen kalkıştırla ile serizit klorit şist kantağının yanal yönde geçişli olduğu gözlenmiştir.

Serizit klorit şistler içinde gözlenen metatürbiditler Siftil Tepe ve Keban Dere civarında görülmektedir ve kalınlıklar 585m civarındadır (Hanelçi,1991). Meta

türbiditler içinde iri kireçtaşı parçacıkları içeren bir düzey bulunur. Çakılların boyutları 1-5 cm arasında değişmektedir. Eliptik şekilli bu çakıllı düzeyin üzerine kırıntıları karbonattan oluşan metakumtaşı ve en üstte ise metasilttaşı gelmektedir.

Turan (1984), serizit klorit şistler içinde mineral parajenezleri ve dokuları ile metabazaltların da yer aldığını belirtmektedir.

2.1.5. Laminalı Kireçtaşı (Lkt)

İnceleme alanının batısında yer alan laminalı kireçtaşları, Fırat Nehri'ne paralel olarak GB'ya doğru devam etmektedir.

Kalkışistler ve dolomitik kireçtaşları ile geçişli bulunan laminalı kireçtaşları açık grimsi renkli olup yer yer bej renklidir. Çok belirgin tabakalı yapı sunmakta ve tabakaların kalınlıkları 1-20 cm arasında değişmektedir. Kayaç oldukça sert bir yapı sunmaktadır. İnce kırık ve çatlaklarında 0,5-2cm kalınlığında sekonder kalsit damarları gelişmiştir.

Kalkışistlerle ardalanmalı olarak bulunan laminalı kireçtaşları incelerken üste doğru kalkışistlere geçer (Şekil 2.1; Ek-1). Bu noktalarda laminalı kireçtaşı tabakalarının kalınlıkları 1-2 cm'ye kadar incelik. Buna karşılık kalkışist katmanları 2,5-10cm kalınlıktadır. Kalkışistler ve laminalı kireçtaşları birlikte kıvrımlanırken kireçtaşları budinaj yapıları oluşturmuşlardır.

Laminalı kireçtaşı tabakaları arasında şist düzeyleri kıvrımlanırken şistler içerisinde yer yer kayma yapıları görülmektedir.

2.1.6. Metatürbiditler (Pmt)

İnceleme alanının içerisinde küçük bir alan kaplayan metatürbiditler, Sifil Tepe'nin batısında yüzeylenmektedir (Şekil 2.1;Ek-1).

Serizit klorit şistler içerisinde gözlenen ve önceki çalışmacıların metakonglomera olarak tanımladıkları metatürbiditler ilk defa Hanelçi (1991) tarafından belirlenmiştir. Sifil tepe ve Keban Dere civarında gözlenmektedir. Metatürbiditler içinde iri kireçtaşı parçaları içeren bir kısım bulunmaktadır. Eliptik şekilli bu çakıllı kısım üzerine metakumtaşı ve metasilttaşı gelmektedir. Geçişler tedricidir. Bu istif bakır zonu içinde açılmış yarmalarda görmek mümkündür. Metatürbiditlerin tabanı oldukça

düzensizdir. Çakılların etrafını saran metasilt taşları siyahımsı renklidir. Taneler düzensizdir. Kalınlıkları 1m civarındadır.

2.2. Keban Mağmatitleri (Km)

Keban mağmatitleri olarak isimlendirilen kayaçlar, alkali siyenit, siyenit, kuvars siyenit ve kuvars monzonit, monzonit bileşimli plutonik kayaçlar ve bunların yüzey kayaçlarından oluşmuştur. Kuzey güney doğrultusunda bir hat boyunca Yahyalı köyünden Kurubekir mahallesi güneyine kadar uzanan bu kayaçlar, özellikle Keban Arapkir karayolu, Karamağara Dere ve Zeryan Dere ile inceleme alanı içerisinde, Siftil Tepe ve Nallıziyaret Tepe civarında yüzeylemektedir (Şekil 2.1; Ek-1).

Intrüzif kütle kalınlıkları birkaç metre ile birkaç on metre arasında değişirken, sil kalınlıkları 200-250m'ye ulaşmaktadır. Keban Dere civarında 20 m derinliğinde ve 1-1,5 m çapında damarlar gözlenmektedir. Mağmatik sokulum kütlelerinin her yerde aynı tane boyuna ve renge sahip olmayışı soğumadaki ani değişikliğe, metazomatizmanın şiddetine ve mağmanın bileşimine bağlanmaktadır.

Cevherleşme ile yakın ilgisi olması nedeniyle Keban mağmatitleri bazı araştırmacılar tarafından (Kineş, 1969; Köksoy, 1972; Kipman, 1976; 1981; Balcık ve diğ., 1977) incelenmiştir. Kipman (1982), siyenomonzonitik bileşimli bu kayaçların alkalice zengin bir mağmadan, piroksen trakilatit, piroksen hornblend trakilatit, hornblend-biyotit trakit ve alkali trakitten oluştuğunu, trakitlerin normal koşullarda katılaştığını ancak kristallenme süresi içinde bir potasyum metazomatizmanın meydana geldiğini, bu metazomatizmanın, hornblend-biyotit trakitleri oluşturan mağmada, alkali feldispat fenokristallerinin meydana gelmesinden sonra başladığını belirtmiştir. Asutay ve diğ. (1988), Keban mağmatitlerinin Baskil derinlik kayaçlarının son ürünü olduğunu belirtmektedir. Baskil mağmatitlerinin gabrolarla başlayıp, siyenitlerle son bulduğunu, plajiyoklaslarla zengin bazik kayaçlarla başlayıp, biraz kuvarsa zenginleştikten sonra K-feldispat miktarı artarak sonuçlandığını belirtmektedirler.

Çelebi (1997), Keban mağmatitlerinin petrolojisi ve jeokimyası konulu çalışmasında Karamağara Dere civarından 3 m aralıklarla tesadüfi olarak alınan 5

sanidin kristalinde yaptığı incelemeler sonucu, An %6,46 - 1,97 ; Ab % 19,24 - 20,86 Or % 74,13 - 77,71 olduğunu ve K_2O ile BaO ve Rb miktarının doğrusal olarak arttığını, K/Rb-K uyumlu değişiminin düzenli ayrışmayı doğruladığını (Murty ve Griffin, 1970) ve bunun yanında Na_2O/K_2O oranı Na_2O ile artarken, SrO/CaO ile eğrisel olarak azaldığını bu Na_2O/K_2O oranı ile Na_2O arasındaki bağıntının magmatik ayrışmanın sonuna doğru K'a oranla daha uyumlu olan Na'un arttığını ve albite geçişi gösterdiğini ikincisi ise plajiyoklaslara bağlı Ca'un Sr 'a oranla hızla azaldığını belirtmektedir. Alkali feldispatların sanidin olduğunu ve bunların kesintisiz tek bir magmatik ayrışmanın ürünü olduğunu belirtmiştir.

Yüzeysel ayrışmanın yoğun olması nedeniyle feldispatlar kısmen kil minerallerine dönüşerek fenokristallerin serbest hale gelmesini sağlamışlardır. Yoğun çatlaklı ve kırıklı yapıya rastlanmaktadır

Keban magmatitlerinin kökeni hakkında birçok araştırmacı farklı yorumlar yapmışlar ancak Bingöl ve Beyarslan (1996), Üst Kretase sonunda, Kuzeydeki Bitlis-Pütürge-Keban Masiflerinin Üst Kretasede oluşan adayayı üzerine doğru itildiğini ve kabuğun kalınlaşmasına neden olduğunu bunun sonucu olarak alttaki manto kamasının kısmi ergimeye uğrayarak hem gabro ve diyabazları hem de daha önce oluşan tüm yay malzemesini ve Keban metamorfitlerini kesen granitik magmayı verdiğini belirtmektedirler.

Siyenitik ve monzonitik kayaçları oluşturan magma bu magmatik ayrışmanın son ürünü olarak yorumlanmaktadır. Kıtasal kirlenmenin neden olduğu bu magmatik kayaçlarda, Rb, Sr, Ti/Y ve Zr/Y değerlerinin yüksek, k-feldispatların yoğun olması ile yakından ilişkilidir.

Keban magmatitlerinde yaş tayini yapan Yazgan (1983), derinlik kayaçlarında 82-86 m.y. (Koniasiyen-Santoniyen); yarı derinlik ve yüzey kayaçlarının yaşı ise, 74-80 m.y. (Kampaniyen) olarak belirlemiştir. Bu da Üst Kretaseye karşılık gelmektedir.

Asutay (1988), tarafından K/Ar yöntemiyle yapılan izotopik yaş tayinine göre, Keban magmatitlerine 76-78 m.y yaş verilmiştir. Bu değerlere göre magmatitlerin yaşı Üst Kretase olarak belirlenmiştir.

Yazgan ve diğ. (1991), K/Ar yöntemiyle rekristalize kireçtaşı ile siyenit dokonağında yapılan yaş tayininde 76 m.y ve 78 m.y olarak tespit etmişlerdir.

3. TEKTONİK

İnceleme alanı Torid orojenik kuşağının doğusunda yer almaktadır. Bölgede paleotektonik dönemde oluşan yapısal unsurlar hakimdir.

İnceleme alanında kırıklar boyunca yerleşen cevherlerin yoğun olması sebebiyle kırık tektoniği ile ilgili çalışmalar yapılmıştır. Çünkü yerleşim yeri ne olursa olsun cevher kütlelerinin toplanması ve biçimlenmesi cevherleşmeden önce veya sonra gelişen kırıklarla kontrol edilmektedir. Bu nedenle cevherli ve cevhersiz kırıklar arazide ayırtlanarak haritaya işlenmiş ve hangi yönlü tektonik kuvvetin cevherleşmeye eşlik ettiği ve kırık analizi sonucu elde edilen bilgiler değerlendirilmiştir.

Kırıklar serizit klorit şistler, kalkıştler, dolomitik kireçtaşları ve rekristalize kireçtaşlarında yoğun olarak görülmektedir. Kalkıştlerde tabakalara paralel Mn, W ve Ba zenginleşmeleri gözlenirken, serizit klorit şistler ile dokanak oluşturan Keban magmatitleri ile ilişkili kırıklarda yoğun Pb-Zn ve Cu cevherleşmeleri bulunmaktadır.

İnceleme alanında gözlenen hakim kırık tipleri, makaslama kırıkları ve bunları dik olarak kesen tansiyon kırıklarıdır. Makaslama kırıklarının atımları vardır. Atım miktarı birkaç santimetre ile 1 m arasında değişmektedir. Kırık düzlemleri boyunca çizikler, kertikler ve cilalanmalar görülmektedir. Böyle kırıklar içerisinde yer yer floritler yerleşmiş ve D-B doğrultulu bantlı yapıda damarlar oluşturmuştur.

Tansiyon kırıkları ise atımsızdırlar ve cevher yerleşmesi bakımından en uygun kırıklardır. İntruzif kütle ile yankayaç dokanakları boyunca anklavlar görülmektedir. Hidrotermal çözeltilerin yankayaçlardan sökü� aldığı serizit klorit şist, rekristalize kireçtaşı ve kalkışt parçaları breşik yapıyı oluşturmaktadır. Bunlar içinde gözlenen ince makaslama çatlakları içinde florit, kalsit, pirit yoğun olarak görülmekte olup, malakit ve azurit sıvama halinde tüm kayaç yüzeylerini kaplamıştır. Tansiyon kırıkları makaslama kırıkları ile birlikte görülür ancak onları yaklaşık K-G doğrultuda dik olarak kesmişlerdir (Şekil 3.1). Yoğun Cu-Pb-Zn zenginleşmeleri ile karakteristiktirler. İnceleme alanında ilk bozunma ürünü olan limonit bileşimleri ile kendilerini belli ederler. Kırık genişlikleri birkaç santimetre ile 1-2 metre arasında değişmektedir.

Keban Dere kuzeyi ve güneyinde yapılan ölçümler sonucu cevherli kırıklar KB-GD doğrultulu tansiyon kırıklarıdır. Bu kırıklar cevherlidir ve cevher içermeyen KD-GB doğrultulu daha genç kırıklar tarafından kesilmiştir.

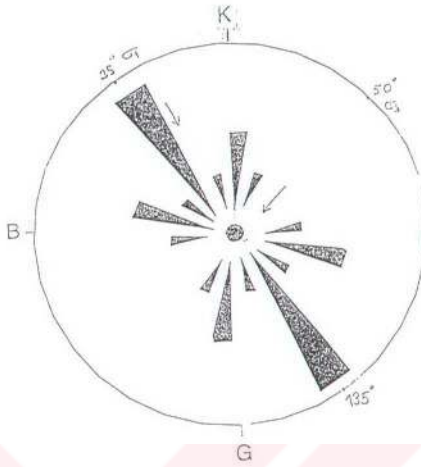
Çalışma alanında yer alan bakır cevherleşmesinin kökenini yorumlamak amacıyla magmatitler ile kalkıştelerin dokanağında, dolomitik kireçtaşlarında ve rekristalize kireçtaşlarında yer alan kırık ve çatlakların cevherli (Şekil 3.1) ve cevhersiz (Şekil 3.2) olanları ayırtlanmış hakim kırık yönünü belirlemek amacıyla gül diyagramları yapılarak tektonizma-cevherleşme ilişkisi ortaya çıkarılmaya çalışılmıştır. Rekristalize kireçtaşları içindeki cevherli kırıklar (Şekil 3.3) diğer cevherli kırık doğrultuları ile yaklaşık aynı değerleri vermektedir. Tansiyon kırıkları Keban Dere'nin kuzeyinde ve güneyinde koyu kahve ve turuncu rekli limonitlerle kendilerini belli ederler (Şekil.3.4).

Yaklaşık 250 çatlağın duruşu gül diyagramında değerlendirildiğinde, makaslama kırıklarını kesen KB-GD doğrultulu tansiyon kırıklarının varlığını ortaya koymaktadır.

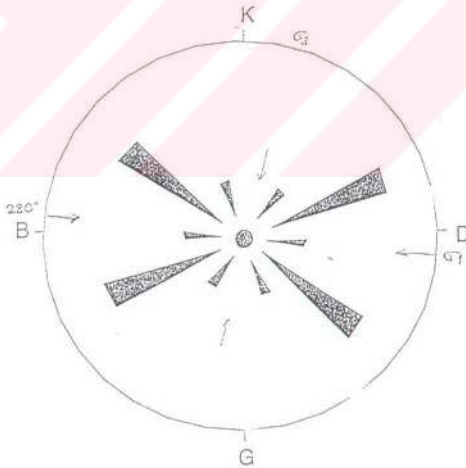
Nallıziyaret Tepe (Keban Dere kuzeyi) ve Siftil Tepe (Keban Dere güneyi) civarında bir kısım makaslama ve bunlara dik tansiyon kırıklarının varlığı görülmektedir.

Nallıziyaret Tepe'de makaslama kırıkları içerisinde düşük sıcaklıklarda oluşan (110°C - 190°C) kalsit, florit, pirit ve molibdenit zenginleşmeleri gözlenirken, tansiyon kırıkları içerisinde ana minerali kalkopirit ve pirit olduğu düşünülen kırmızımsı limonit zonları gözlenmektedir.

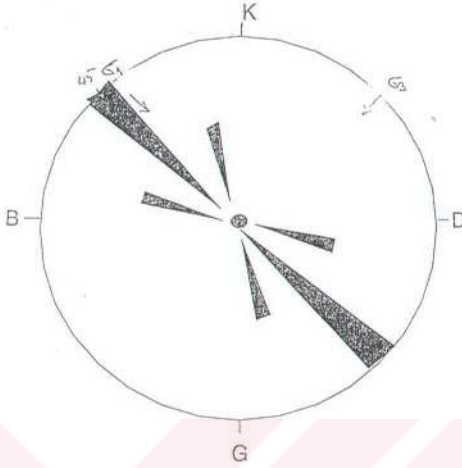
Siftil Tepe'de makaslama kırıkları hiç cevher içermez iken, tansiyon kırıkları içinde tuğla kırmızısı renginde limonit zonları görülmektedir. Gümüş (1995), tuğla kırmızısı renginin piritden, portakal renginin ise galenden kaynaklandığını ve makaslama kırıklarının yüksek ısıli cevherleşmelere, tansiyon kırıklarının ise düşük ısıli cevherleşmelere eşlik ettiğini belirtmektedir. Ancak Nallıziyaret Tepe'deki durum bunun tam tersini yansıttığı görülmektedir. Makaslama kırıklarının tansiyon kırıklarından daha genç, tansiyon kırıklarının ise magmatik aktivasyonla eş yaşlı olduğu şeklinde yorumlanmaktadır. Zira siyenit porfirler etrafında gelişen tansiyon kırıklarını işinsal kırıklar olarak ifade etmek mümkündür, bu gibi kırıklar orta ve düşük sıcaklık polimetallik cevher yatağı içerebilirler.



Şekil 3.1. Sifil Tepe ile Nallıziyaret Tepe civarında yer alan cevherli kırıkların doğrultu değerlerini gösteren gül diyagramları. Ölçü Sayısı:100. σ_1 :en büyük asal gerilme σ_3 :en küçük asal gerilme.



Şekil 3.2. Sifil Tepe ile Nallıziyaret Tepe civarındaki cevhersiz kırıkların doğrultu değerlerini gösteren gül diyagramları. Ölçü sayısı:120 . σ_1 :en büyük asal gerilme σ_3 :en küçük asal gerilme.



Şekil 3.3. Nallıziyaret Tepe civarında yüzeyleyen rekristalize kireçtaşlarına ait cevherli kırıkların doğrultu değerlerini gösteren gül diyagramları. Ölçü sayısı: 53. σ_1 : en büyük asal gerilme σ_3 : en küçük asal gerilme.



Şekil 3.4. Dolomitik kireçtaşlarında yer alan cevherli tansiyon kırığı. Siftil Tepe'nin Batısı. Pdk: dolomitik kireçtaşı; Bakış KD'ya doğrudur.

Siftil Tepe'deki Ag, Pb, Zn yatakları tansiyon çatlakları içerisinde yoğunlaşmışken, Nallıziyaret Tepe'de Cu, Mo, F, zenginleşmeleri hem tansiyon hem de makaslama kırıkları içerisinde gözlenmektedir.

Gümüş (1995), düşey kesitte birbirini kesen, planda ise birbirine paralel olan makaslama kırıklarının derin deformasyon olaylarını temsil ettiğini belirtmektedir. Bu nedenle inceleme alanında cevher içermeyen makaslama kırıklarının, magmatik aktivasyondan sonra gelişen derin kökenli deformasyon olaylarından etkilendiği düşünülmektedir.

Keban Dere güneyinde, cevherli kırıklardan alınan ölçülerin tamamı tansiyon kırıkları doğrultuları ile paraleldir. Cevherleşmenin KB-GD doğrultulu çatlaklarda yoğunlaştığını göstermektedir (Şekil 3.1).

Siftil Tepe ile Zeytindağ arasındaki sırtta açılan Y-1 485m uzunluğunda ve 1,22 m genişliğinde ve 1,14 m derinliğindedir. Bunun doğusunda Y-2 300m uzunluğunda, 1,20 m genişliğinde ve yaklaşık 1 m derinliğindedir. İki yarmada bakır cevherleşmeleri yaklaşık K-G doğrultulu kırıklar içerisinde yerleşmiştir. Magmatik intrüzyonun yoğun gözleendiği bu yarmalar arasında yaklaşık K65B doğrultulu kuvars damarları görülmektedir.

Cevher içeren hem makaslama hem de tansiyon kırıklarının cevherleşme ile eş yaşlı olduğu, içermeyenlerin ise cevherleşmeden daha sonra gelişen genç kırıklar olduğu düşünülmektedir.

Cevherlerin yerleştiği tansiyon kırıklarının cevherleşme ile aynı yaşlı ve σ_1 (en büyük asal gerilme)'nin düşey olması, kırıkların magmatizma ile eş yaşlı olduğunun göstergesidir.

Berger (1996), volkanizma ile ilişkili hidrotermal aktivite sırasında kırık sistemi boyunca cevherleşmelerde düşük dereceli ısılarda oluşan kuvars damarlarının varlığının önemli olduğunu belirterek, Nevada-Bonanza Cevherleşmesinde yaptığı çalışmasında, hidrotermal akıntının deformasyon sonucu tektonik yapılara bağlı boşlukları izlediğini, çekme gerilmesi etkisiyle gelişen kırık ve çatlaklarda dolaşan hidrotermal sıvıların, σ_3 ' edik σ_1 'e paralel olduğunu belirterek volkanizma ile ilişkili hidrotermal aktivitenin oluşmasına, çekme gerilmesi esnasında oluşan kırıklı ve faylı yapının etkili olduğunu, tektonizmaya eş yaşlı hidrotermal çözeltilerin düşük derecede cevher içeren kuvars damarları ile ilişkili olduğunu belirtmiştir.

Magmatik aktivite ile eş yaşlı hidrotermal çözeltilerin mobilize ettiği cevherlerin oluşum mekânı bakımından yukarıda sözü edilen kırık ve çatlaklara yerleştiği, Sifil Tepe'nin doğusunda bulunan kuvars damarlarının ise yaklaşık D-B doğrultulu kırıklar içinde yoğunlaştığı görülmektedir (Şekil 2.1; Ek-1).

4. PETROGRAFİ

Çalışma alanı içinde gözlenen birimler Keban metamorfileri ve Keban mağmatitleri olarak iki grup altında incelenmiştir. Bu bölümde bu grupları oluşturan kayalardan yapılan 40 ince kesit örneği incelenerek kayaların mineralojik ve petrografik özellikleri açıklanmaya çalışılmıştır.

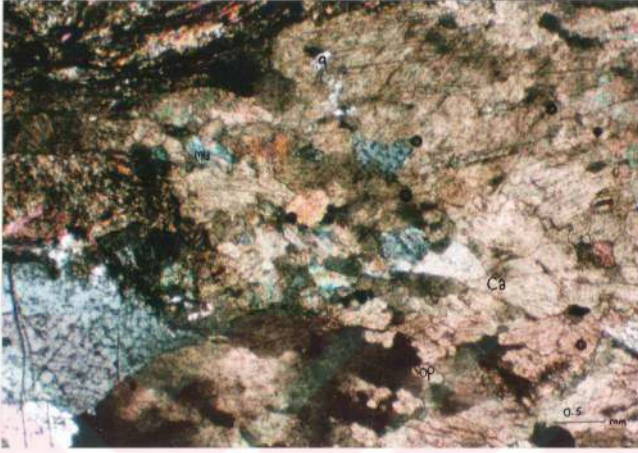
4.1 Keban Metamorfileri

İkinci bölümde belirttiği gibi Keban metamorfileri litolojik olarak kalkıştı, rekristalize kireçtaşları ve serizit klorit şistlerden oluşmuştur.

4.1.1. Rekristalize Kireçtaşları

İnceleme alanında birimin yoğun olarak görüldüğü yer, Sifil Tepe batısı ve Nallıziyaret Tepe'nin doğusunda yüzeyleyen rekristalize kireçtaşları makroskopik olarak bej ve pembe renkli, bol kırık ve çatlaklı olup masif görünümlüdür. Esas olarak %95'den fazla kalsitten oluşmuştur. Az oranda (%1-2) muskovit ve kuvars (%5-10) içermektedir (Şekil 4.1).

Kalsit kristallerinde mekanik ikizlenme ve rölief paleokroizma görülür. Taneler yaklaşık eş boy taneli olup mozayik doku göstermektedirler. Rekristalize kireçtaşlarından yapılan ince kesitlerde cevhere rastlanmamıştır. Çatlaklı yapının pembe veya siyah oluşu dolgu malzemesinin bileşiminden kaynaklanmaktadır. Fe'li bileşenler pembemsi, Mn'li bileşenler ise siyahımsı renk göstermektedir.



Şekil 4.1. Rekristalize kireç taşlarının mikroskopik görünüşü. Ca: kalsit q: kuvars mu: muskovit, op: opak mineral (Ç.N.32).

4.1.2. Kalkşist

Kalkşistler Keban Dere'nin kuzeyinde ve güneyinde yüzeylenmektedir. Açık kahverenkli bu birimde belirgin şistozite yapılarını görmek mümkündür. Kalkşistlerde gözlenen mikrokıvrımlar kayacın deformasyona maruz kaldığını göstermektedir.

Kalkşistler; esas olarak kalsit, kuvars, az (%3-5) biyotit ve klorit minerallerinden oluşmaktadır (Şekil 4.2). Kalsit kristalleri farklı tane boyuna ve kayma ikizlerine sahiptir. Hemen hepsinde çok iyi gelişmiş çift yönlü dilinim izlenmekte ve mikroskop tablası çevrildiğinde rölyef paleokroizması görülmektedir. Kalsit kristallerinde görülen deformasyon ikizleri bu minerallerin tektonizma öncesi oluştuğuna işaret etmektedir. Çok evreli bölgesel metamorfizma sonucu gelişen kırık ve çatlaklara sahiptirler.



Şekil 4.2 Kalkışitlerin mikroskopik görünüşü. Ca:kalsit, q:kuvars, bi: biyotit, cl: klorit (Ç.N, 32.).

4.1.3. Serizit Klorit Şistler

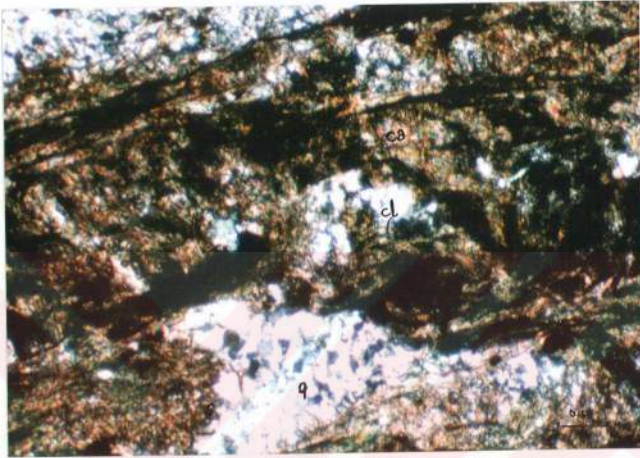
İnceleme alanında serizit klorit şistler, Keban Dere-Sifil Tepe arasında ve Fırat Nehri'nin doğusunda yüzeyleme sunmaktadır.

Makroskopik olarak ayrışma yüzeyleri koyu kahverengi veya sarımsı kahverenginde yer yer yeşilimtrak renktedir. Foliyasyon düzlemleri oldukça belirgindir. Demir oksitlerin artmasıyla renkte koyulaşma meydana gelmektedir. Gevrek kırılmalı bir yapıya sahiptir.

Kayaç içerisinde genel şistozite dışında mikrokıvrımların varlığı, kayacın en az iki sıkışma evresinden etkilendiğini yani çok evreli deformasyona maruz kaldığını göstermektedir (Şekil 4.3).

Serizit klorit şistler esas olarak kuvars, serizit, klorit, az oranda ise kalsit, epidot, feldispatdan (%20'den az) oluşmaktadır. Klorit en çok izlenen mineraldir. Koyu yeşilimsi renklidir. Muskovitin tamamı serizite dönüşmüştür. Granolepidoblastik doku görülmektedir. Serizit klorit şistler ile magmatik kayaç kontaklarından alınan serizit klorit

şistlere ait koyu renkli şistlerde yapılan analiz sonucu bunların grafit olmadığı palinolojik deneyler sonucu MTA (1985), analiz raporlarında belirtilmiştir.

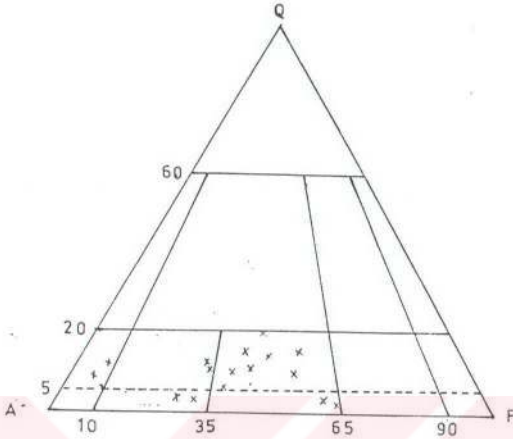


Şekil 4.3. Serizit şistlerin mikroskopik görünüşü. q: kuvars, s:serizit, cl:klorit, ca:kalsit, Ç.N.x32.

4.2. Keban Magmatitleri

Keban magmatitleri, Keban Dere'nin kuzeyinde ve güneyinde Keban metamorfitletlerini kesen sil ve dayklar şeklinde görölmektedir. Birim, makroskopik olarak oldukça altere olmuş pembemsi renkli farklı tane boyuna sahip alkali feldispat kristallerinden oluşan siyenit porfirlerle temsil edilmektedir .

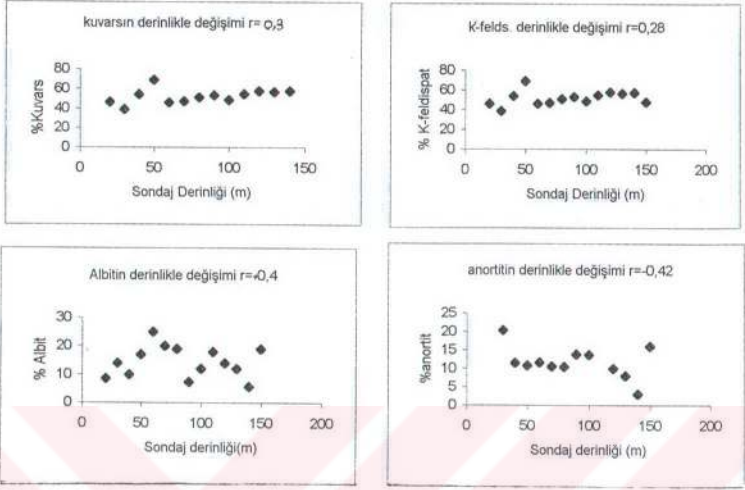
İnceleme konusu olan Keban magmatitlerinin, Şekil 4.4'de QAP diyagramında mikroskopik özelliklerine göre tespit edilen modal mineralojik bileşime göre, alkali siyenit, siyenit, kuvars siyenit, monzonit, kuvars monzonit; Çizelge 4.1 ve 4.2 de ise normatif bileşimine göre değerlendirildiğinde; siyenit, kuvars siyenit, monzonit, kuvars monzonit ve bunların yüzey kayaçları ile temsil edildiği görölmektedir.



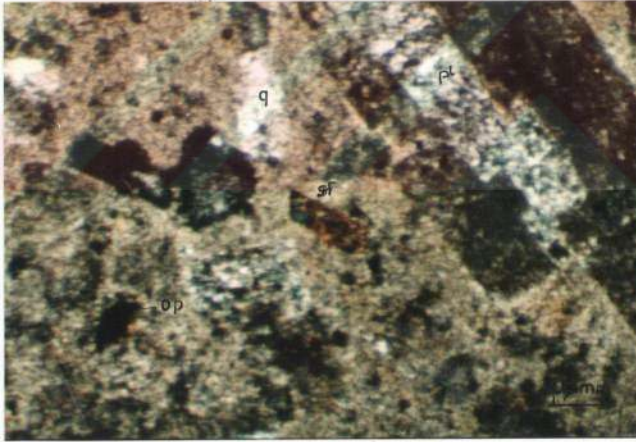
Şekil 4.4. Keban magmatitlerine ait kayaçların QAP diyagramında adlandırılması (Strenkeishen 1978).

Sistematik örnek alınan N-5 nolu sondaj karot örneklerinin CIPW normuna göre normatif mineralojik bileşimleri Çizelge 4.1'de verilmiştir. Kuvars, K-feldispat, albit ve anortitin derinlikle değişimi Şekil 4.5.'de görülmektedir. Kuvars mineralinin zayıf pozitif ilişkili, K-feldispatın ve albitin çok zayıf pozitif ilişkili ve anortit mineralinin çok zayıf negatif ilişkili olduğu görülmektedir. Kuvars, alkali feldispat ve plajiyoklasların ise derinlikle azaldığı görülmektedir.

Kipman (1973), Keban Mağmatitlerinde yaptığı petrografik ve petrolojik çalışmada, ilk kristalleşen mineralin Ca'ca zengin piroksenler olduğunu, bunun ardından plajiyoklasların oluştuğunu, plajiyoklasların oluşumundan sonra kalıntı sıvının alkali ve H₂O ile zenginleşerek alkali feldispatlar ile hornblendlerin oluştuğunu ifade etmektedir. Aynı araştırmacıya göre, kristallenmenin başlangıcında alkali feldispat olarak sanidin oluşmakta ve plajiyoklasları örtmektedir, ancak kristallenme şartlarındaki ani değişim sanidinin yerine ortoklasın oluşmasına ve hamur malzemesi içerisindeki kuvarsların kristalleşmesine neden olmaktadır. Önemli kristal ayrışması sonucu plajiyoklaslar albittçe zenginleşmektedir. Tali mineral olarak sfen en yaygın olanıdır. Kama şeklinde bir kaç mm büyüklüğünde kristaller halindedir. Mikroskopta sarımsı kahverengi ve kuvvetli röliye fi ve zonlu büyümesi ile dikkat çekicidir (Şekil 4.6).



Şekil 4.5. Kuvars, k-feldispat, albit ve anortitin derinlikle değişimi.



Şekil 4.6. İleri derecede serizitleşmiş magmatik kayaların mikroskopik görünüşü. pl: plajiyoklas, q: kuvars, op:opak min. s:serizitlemiş feldispat. Sf:sfen. (Ç.N. 32).

İnceleme alanındaki magmatik kayaçların bileşimleri mafik mineral topluluğuna, alkali oksitlerin miktarına ve silisyum oranına göre değişmektedir. Mineralojik doku farklılıkları sıcaklığın bir fonksiyonudur.

Nallıziyaret Tepe N-5 sondaj karotlarından alınan 7 örnekte XRD (X-ray difraktometri), analiz sonuçları Çizelge 4.2'de verilmiştir. Tüm örneklerde ana bileşenin ortoklas, kuvars ve plajiyokaslardan ibaret olduğu görülmektedir.

Çizelge 4.2. Nallıziyaret Tepe N-5 sondaj karot örneklerinin XRD analiz sonuçları.

Örn. No	K.Felds.	Plajiyoklas	Piroksen	Granat	Kuvars	Biyotit	Epidot	Muskovit	Kaolin it	Montmorillonit
6-2	Ortoklas	Albit			—			—		
14	Ortoklas	Anortit		Gross	—			—		
15-1	Sanidin	Anortit			—	—				—
15-2	Sanidin	Albit	Diyopsit		—		—		—	—
20	Mikroclin	Albit			—		—		—	
26	Ortoklas	Albit	Diyopsit		—	—		—		
36	Sanidin	Albit			—	—	—	—		
47	Mikroclin	Albit			—			—	—	

6-2 no'lu örnek 48 m.'den alınmıştır. Esas bileşen Ortoklas>Kuvars>Plajiyoklas dir. Tali mineral olarak, muskovit; opak minerallerden, pirit ve kalkopiritin olduğu görülmektedir.

14 nolu örnekte, esas bileşenin plajiyoklas>kuvars>K-feldispat olduğu, floritlerin kuvarsla dokanak oluşturduğu görülmektedir, anortit yaygın plajiyoklas mineralidir (%75 An-%35 Al). Bu örnek, ağısı florit ve pirit damarları tarafından kesildiği için florit miktarının yoğunluğu dikkat çekicidir.

15-1 nolu örnekte 90 m. derinden alınan örneğin, k-feldispat>plajiyoklas>kuvars ana minerallerini içerdiği, kalkopiritlerin, biyotit ve plajiyoklas etrafında yoğunlaştığı görülmektedir. Bu örnekte bol miktarda kalkopirit bulunmaktadır. İkincil mineral olarak montmorillonit ve zeolit gözlenmektedir. Montmorillonitin dioktaedral semektit türü olduğu ve feldispatların yüksek PH koşulları altında ayrışması ve feldispatlardaki Na^+ , Ca^{2+} , K^+ , çözeltiliye geçmesi ile Mg^{2+} 'nın ise feldispatların yapısına girmesi ile montmorillonitin oluştuğu belirtilmektedir (Konta,1986). Chiristitis (1995), zeolitlerin ise yüksek tuzluluk ve yüksek PH ortamlarında çözeltilerin

$\text{Na}^+ + \text{K}^+ / \text{H}^+$ aktivasyon oranının yüksek olduğu ortamlarda oluşan bir kil minerali olduğunu belirtmektedir. Bu sebeple montmorillonit ve zeolitlerin varlığı yüzeysel ayrışma olaylarını temsil etmektedir. Tüm feldispat minerallerinde gözlenen killeşmelerin büyük bir bölümünün kaolinit olduğu görülmektedir. K-feldispatların olması alkali feldispatların hidrotermal asidik çözeltiyle reaksiyona girerek kaolinite dönüştükleri düşünülmektedir (1).



Feldispatlar asidik ortama Na^+ , Ca^+ , K^+ gibi alkallenlerini çözeltiye geçirerek asidik ortamı bazik yapar ve $\text{PH}'ı$ yükselterek killeşmenin oluşumuna katkıda bulunurlar (Erler, 1984).

15-2 nolu 100 m. derinden alınan örnekte, K-feldispat, plajiyoklas ve kuvarsın yanı sıra piroksen içermektedir. Epidot, kaolinit ve montmorillonit ikincil minerallerdir.

140 m derinden alınan 20 nolu örnekte, K-feldispat>plajiyoklas>kuvars ana mineral olarak görülmektedir. Alkali feldispatların düşük sıcaklık versiyonu olan mikroklin, biyotit ve epidot tali mineral, pirit, markazit, kalkopirit ve jakobsit ise opak mineralleri oluşturmaktadır. Serizit ikincil mineral olarak feldispatların altere olması sonucu oluşmuş olabilir.

180 m'den alınan 26 nolu örnekte, K-feldispat> plajiyoklas>kuvars ana mineraldir. Ortoklas ve plajiyoklaslardan düşük sıcaklıkta kristalleşmiş albit opak minerallerden pirit ve markazitin varlığı ile karakteristiktir.

230 m'den alınan 36 nolu örneğin de diğer örnekler gibi K-feldispat>plajiyoklas> kuvars ana minerallerini içerdiği, alkali feldispatların sanidin olduğu ve plajiyoklasların ise %80An-%20 Al olduğu belirlenmiştir.

47 nolu yüzey örneği mikroklin, albit, kuvars ve ikincil olarak serizitleşmiş muskovit ve kaolinit içermektedir.

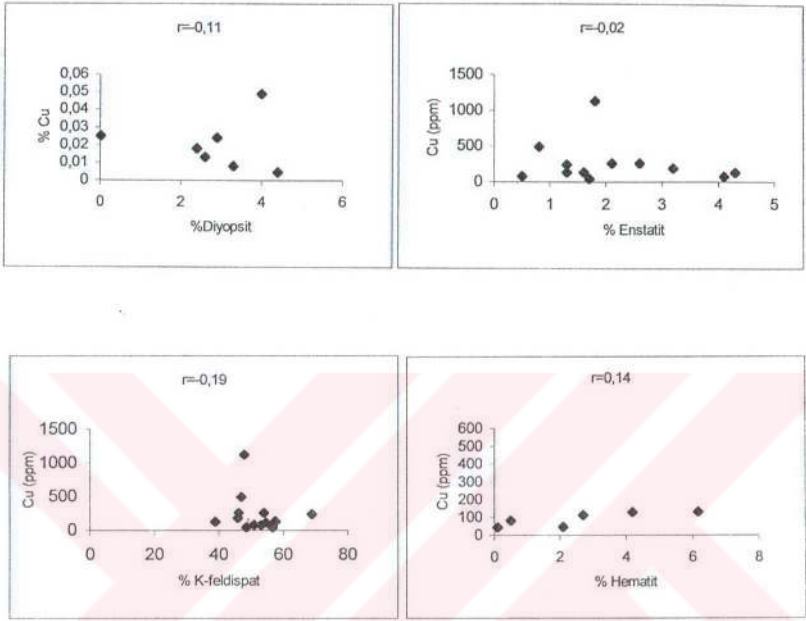
Dilles ve diğ. (1992), Nevada'da Ann Mason Porfiri bakır kuşağındaki kuvars monzonit porfirlerin metasedimanter yankayaçlarla ilişkisini açıklayan hidrotermal alterasyon topluluğunu, Çizelge 4.3'de mineral içeriklerine göre 7 bölümde incelemişlerdir. Çizelge 4.1 ve Çizelge 4.2'de görüldüğü gibi çalışma alanı içinde magmatik kayaç mineral topluluğu sırasıyla şunlardır:

Plajiyoklas, kuvars ve ortoklas yanında biyotit, epidot, kalkopirit, kalsit, molibdenit, ilmenit, rutil, hematit, enstatit, diyopsit, apatit, az manyetit, klorit ve piritin

Plajiyoklas, kuvars ve ortoklas yanında biyotit, epidot, kalkopirit, kalsit, molibdenit, ilmenit, rutil, hematit, enstatit, diyopsit, apatit, az manyetit, klorit ve piritin varlığı belirlenmiştir. Tüm bu veriler Çizelge 4.3'e göre değerlendirildiğinde, yukarıda mineral içeriği verilen inceleme alanının alterasyon tipinin zayıf sodyumlu kalsitik potasik alterasyonun üçüncü grubuna yakın olduğu görülmektedir.

Çizelge 4.3. Hidrotermal alterasyon topluluğu (Dilles ve diğ. 1992'den).

Alterasyon tipi	Yeni, rekristalize olmuş mineraller
İlk ana faz	Grandit+Labradorit (An_{50-68}) Olg/And (An_{21-36}) ³ +sfen=kuvars
Orta sodik -kalsitik faz	Olg/And+Sfen+Kuvars Olg+Aktinolit+Kuvars+Sfen+Epidot=pirit
Zayıf sodik-kalsitik potasik	Epidot+Sfen+Olg/Ab+Kuvars+Aktinolit+Biyotit+Serizit+Pirit K-feldispat+Albit+Biyotit+Kuvars+Kalkopirit+Bornit+Molibden+Rutil+Klorit Biyotit+Epidot+Kuvars+Albit+Kalkopirit+Bornit veya Pirit+Rutil+Serizit+Kalsit+Klorit
Profillitik	Biyotit+Epidot+Kalkopirit+Kuvars Aktinolit+Biyotit+Klorit+Albit+Epidot+Hematit+Serizit=Kalsit+Rutil+Pirit+Turmalin(=kalkopirit)
Kloritik faz	Klorit+Rutil+Kuvars Klorit+Hematit=Pirit=Serizit=Kalsit=Albit=Epidot (=Kalkopirit=Vermikülit)
Albitik	Klorit+Albit+Hematit+Rutil+=Epidot=Pirit=Serizit Kalsit (=kalkopirit=Vermikülit) Olg/Ab+Klorit+Vermikülit=Rutil=Sfen=Pirit=Kuvars
Serizitik	Albit+Klorit+Serizit+Pirit Albit+Turmalin+Rutil+Pirit+Klorit+Serizit Serizit+Kuvars+Pirit+Rutil



Şekil 4.7. Cu-diyopsit, Cu-enstatit, Cu- k-feldispat ve Cu-hematit arasındaki ilişki.

Aynı derinliklerden alınan örneklerin magmatik kayaç mineralleri ile Cu içerikleri Şekil 4.7’de karşılaştırılmıştır. Buna göre, Cu-diyopsit arasında $r = -0,11$, Cu-enstatit $r = -0,02$ ve Cu-k-feldispat arasında $r = -0,2$ ile korelasyon ilişkisinin olmadığı, Cu-hematit arasında ise $r = 0,14$ ile çok zayıf pozitif ilişkinin olduğu gözlenmektedir (Şekil 4.7).

Kuşçu ve diğ.(1999), granat-piroksen skarnlarında yapmış olduğu çalışmada, diyopsit bileşiminde bulunan demirin +3 değerlikli (ferrik, Fe^{3+}) ve hadenberjit de +2 değerlikli (ferrus, Fe^{2+}) olmasını tercih ettiği için alkalilerce zengin sistemlerde diyopsit miktarının daha yüksek olabileceğini belirtmişlerdir. Piroksenlerin diyopsit bileşiminde olduğu bölgelerde Pb-Zn-Fe yanında Cu-W’ca zenginleşmelerin olabileceğini belirtmektedirler.

İnceleme alanında toplam alkali değeri ortalama %0,2-10 arasında değişmektedir. 6-2, 8, 12, 15-1, 16, 20, 24, nolu örneklerde rastlanılan diyopsitin alkali feldispatlarla ilişkisinin $r=0,066$ ile çok zayıf pozitif olduğu görülmektedir.

5. CEVHERLEŞMELER

5.1 Saha Özellikleri

İnceleme alanında bakır oluşukları, Nallıziyaret Tepe'den başlayıp Siftil Tepe'nin doğusundaki yarmalara kadar devam etmektedir. Keban Dere'nin kuzeyinde ve güneyinde yüzeye yakın kısımlarda oksitli bakır mineralleri gözlenirken alta doğru sülfidli minerallere geçmektedirler. Siftil Tepe'de gözlenen malakit ve azuitlelerin varlığı derinlerde bakır sülfidlerin bulunabileceği olasılığını kuvvetlendirmektedir.

İnceleme alanında cevherleşmeler, Keban magmatitleri ve Keban Metamorfitleleri içerisinde saçınımlı halde bulunmaktadır.

Cevher mineralleri, pirit, kalkopirit, az enarjit, arsenopirit, az lölinjitten oluşmaktadır. Manyetit ve spekülrit çok azdır. İkincil olarak; kovelin, kakosin, hematit, limonit, azurit ve malakit bulunmaktadır.

Ana magmatik kayaç geometrisi, esasen porfirik dokulu olup, tane boyu ve kayaç rengi oluşum sıcaklığı, oluşum derinliği ve magma bileşimindeki değişikliğin bir fonksiyonu olarak yer yer farklılıklar göstermektedir. Ana magmatik kütleli oluşturan Keban magmatitleri Keban Metamorfitleleri ile intrüzif dokanak oluşturmaktadır. Bu nedenle yan kayaç alterasyonları yoğun olarak izlenmiştir. Cevherleşmelerin çoğu kırık tektoniğine bağlı olarak gelişmiş, dayk kümeleri şeklinde gelişmişlerdir.

İnceleme alanında bakır oluşuklarının kökenini ortaya koymak amacıyla, Nallıziyaret Tepe'de 1977 yılında E.İ.E.İ tarafından yapılan toplam 22 adet sondajdan, sadece N-5 nolu sondajdan iyi korunmuş olması nedeniyle sistematik olarak örnekler alınmış, gerek jeokimyasal ve gerekse petrografik analizler yapılarak çalışmalar desteklenmiştir. N-9 ve N-12 nolu sondajlardan ise korunmuş kısımlarından birkaç örnek alınmıştır. Ayrıca Keban Dere güneyinde açılan iki yarmadan örnekler alınarak, burada yüzeyleyen magmatik kayaç, serizit klorit şist dokanağından alınan örneklerin petrografik ince kesitleri yapılmış ve ayrıntılı olarak çalışılmıştır.

Makroskopik olarak siyenit porfirlerin sokulum yaptığı kalkıştiller içerisinde yoğun kuvars, pirit, florit, molibdenit, kalkopirit ve az spekülalit minerallerine rastlanmıştır .

Yarmalarda yüzeysel oksidasyon sonucu olduğu sanılan azurit ve malakit mineralleri oldukça altere florit damarları ile birlikte görülmektedir.

Bakırın yoğun olduğu zonlar, saçınımlı halde kalkıştiller ve porfirler içerisinde yukarı doğru tektonizmanın kontrol ettiği kırıklardır. Büyük bir olasılıkla silisyumca zengin bir mağmanın kırık ve çatlaklardan çıkarken bakır elementini de beraber getirdiği şeklinde düşünülebilir.

Yarma 1 ve yarma 2’de siyenit porfirlerle ilişkili bakır kuşaklarının birbirlerini takip etmesi yaklaşık KB-GD doğrultulu bir kuşak boyunca bakırca zenginleşmenin olduğunu belirtir.

Ana mağmatik kütlelerin alkali siyenit, kuvars siyenit, siyenit, kuvars monzonit, monzonit, bileşimli olduğu ve Keban Dere’nin kuzeyinden başlayarak güneye doğru yerleştiği, bu intrüzif kütleyle yakın, kalsit, florit, pirit ve granat içeren skarn zonlarından anlaşılmaktadır. Keban Dere’nin kuzeyinden başlayan yoğun Cu mineralizasyonunun güneye doğru tamamıyla, Pb, Zn zenginleşmesine geçmesi, kuzeyde gözlenen hidrotermal aktivasyonun güneye doğru yüzeysel işlevlerin daha etkili olduğu ve süperjen zenginleşmeye geçiş olabileceği fikrini desteklemektedir.

Kalkopirit, bakır içeren en önemli cevher minerali olarak bulunmaktadır. Sondaj karot numunelerinde de kalkopirit sıvımalı örneklerde bol miktarda rastlanmıştır. Bakır mineralleri Nallıziyaret Tepe’den başlayıp Siftil Tepe’nin doğusundaki yarmalara ve Keban Dere’nin içerisine kadar devam eden bir zonda yaygınlık göstermektedir. Keban Dere’nin kuzeyinde ve güneyinde alt seviyelerde sülfürlü bakır mineralleri ile üst seviyelerde ise malakit ve azurit gibi oksitli bakır mineralleri yaygın olarak gözlenmektedir. Nallıziyaret Tepe sondaj karot örneklerinde açıkça gözlenen bu olay, güneyde Siftil Tepe’de üst seviyelerde gözlenen malakit ve azuritli seviyelerin alt kesimlerinde de bakırlı seviyelerin bulunabileceği fikrini desteklemiştir.

Cevher mineralleri kalkopirit, pirit ve yer yer molibdenitler, yankayaç (kalkışt, serizit klorit şist) ile magmatik kayalar içerisinde saçınımlı halde izlenmektedir. Florit, kuvars, kalsit, granatdan oluşan skarn mineralleri ise rekristalize

kireçtaşları ile magmatik kayaç kontağında küçük boyutlu makaslama çatlakları boyunca görülmektedir.



Şekil 5.1 Nallıziyaret Tepe’de magmatik kayalardaki N-5 sondaj noktası. Km: Keban magmatitleri, Pks: kalkışist. Nallıziyaret Tepe’nin güneyi. Bakış yönü kuzeye doğrudur.

Nallıziyaret Tepe sondaj karot örnek yerleri şekil 5.1’de görülmektedir. N-5 nolu sondaj noktası kalkışistler içerisine açılmıştır. Kalkışistler içerisinde gözlenen kuvarslar, kalsit kristallerine oranla küçük ve eş boy tanelidirler. Kuvarslar kayaç içinde gelişigüzel bir dağılım göstermektedir. Opak mineraller pirit ve kalkopirittir. Şekil 4.2’de görüldüğü gibi opak mineraller, biyotitlerin alterasyonu sonucu kloritler içerisinde yoğunlaşmıştır. Bu şekilde bir yoğunlaşma, Cu^{2+} ’ın sülfürün yoğun olduğu ortamlarda kendi sülfür minerallerini oluşturmuş olabileceğini akla getirmektedir.

Kalkışistler, ağsal ve dissemine olarak bakırlı cevher mineralleri içermektedir. Bunlar çoğunlukla makroskopik olarak gözlenen mavi ve yeşil renkli azurit ve malakit şeklindedirler. Hidrotermal çözeltilerin yankayaçtan çözebildikleri maddelere ek olarak mağmadan gelen ve Na, K, Ca, Mg ve Cu gibi katyonlar ve Cl, SO_4 , HCO_3 gibi anyonları da içerebileceği bu çözeltilerin tamamının magmatik kökenli olmayıp meteorik suların yankayaçtan (kalkışistler) çözdüğü HCO_3 kökleri ile Cu’nun bileşik

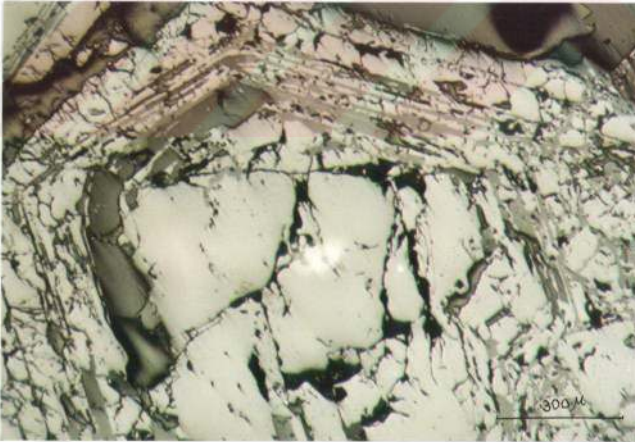
oluşturmuş olabileceği şeklinde yorumlanabilir. Bu sebepten yüzeysel koşulların hakim olduğu yerlerde $\text{Cu}_2(\text{OH})_2\text{CO}_3$ malakit ve $\text{Cu}_2(\text{OH})_2(\text{CO}_3)_2$ azurit minerallerini görmek mümkündür.

5.2. Mineralojik ve Dokusal Özellikleri

Çalışma alanında gözlenen bakır cevherleşmelerinin mineralojik ve dokusal özelliklerini araştırmak amacıyla cevherli kütlelerden alınan örneklerde 50 parlak kesit, 10 ince kesit hazırlanarak mikroskopik incelemesi yapılmıştır. Cevher mikroskopisi Ramdohr (1980)'de belirtilen mineral özelliklerine göre çalışılmıştır.

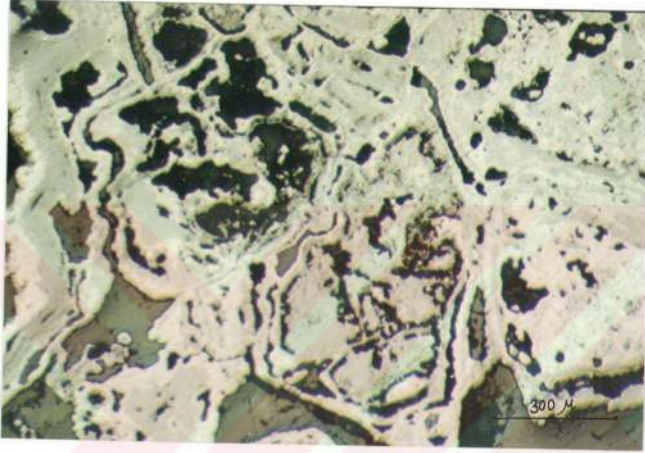
Bakır cevherleşmelerinin ana minerali kalkopirittir. 6 mağmatik kayaç örneği ve 3 kalkıştı örneği XRD metoduyla analiz edildiğinde mağmatik kayaç içerisinde saçınımlı halde bulunan kalkopiritlerin, kuvars, plajiyoklas, ortoklas ve az biyotit mineralleri ile birlikte bulunduğu tespit edilmiştir.

Cevher minerallerinde üç tip doku türü tespit edilmiştir. Sfaleritlerde görülen zonlu doku (Şekil 5.2), pirit ve kalkopiritlerin alterasyonu sonucu oluşan limonitlerde gözlenen kolloform doku (Şekil 5.3) ve kalkopiritlerde gözlenen kataklastik doku (Şekil 5.4) dur.

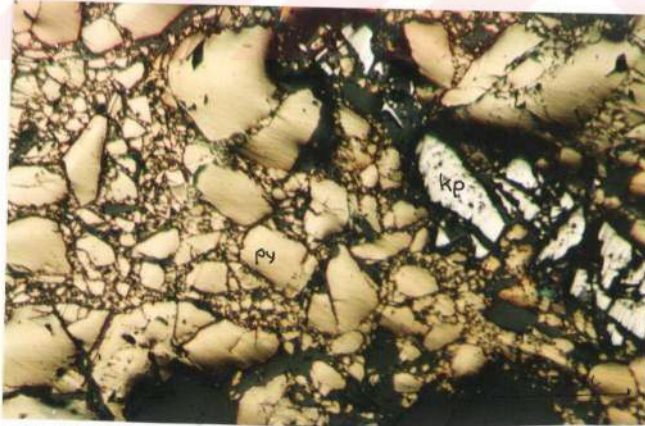


Şekil 5.2 Sfaleritlerde gözlenen zonlu doku (T:N, 100).

Koyu griden açık griye değişen renklerdeki zonlu yapı sfaleritlerdeki kimyasal bileşim farkından kaynaklanmaktadır. Demirce zengin olanların koyu renkli olduğu dikkat çekicidir. Craig ve diğ. (1995), sfaleritlerde gözlenen renk değişikliklerine bağlı olarak gözlenen zonlu yapının sfalerit bileşimindeki, Fe, Cd, Pb ve Cu oranlarından kaynaklanabileceğini belirtmektedirler.

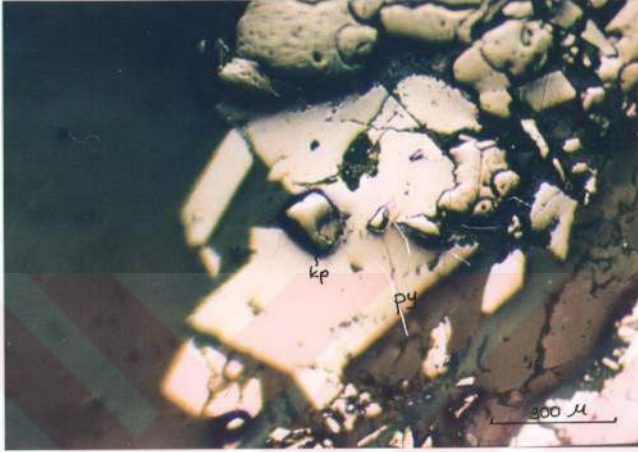


Şekil 5.3. Limonitlerde gözlenen kolloform dokuya bir örnek (T.N.100).

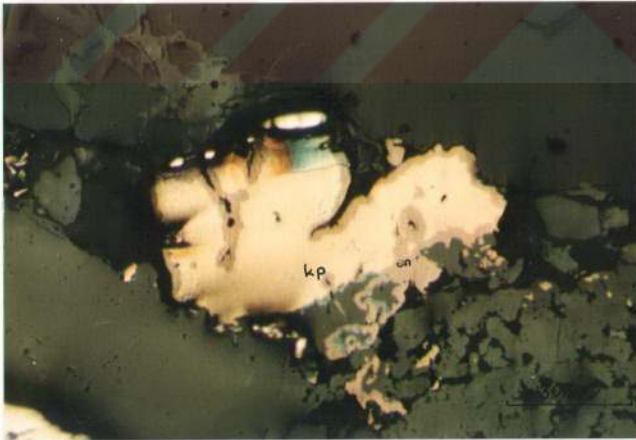


Şekil 5.4. Kalkopiritlerde gözlenen katakalastik doku, kp: kalkopirit, py: pirit, pt:pirotin (T.N., 100).

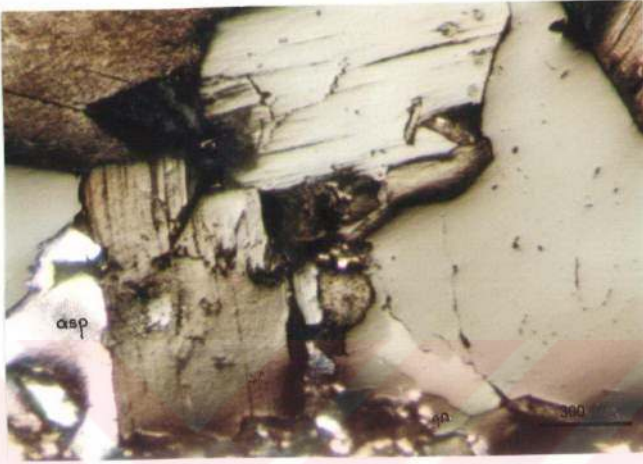
Şekil 5.3'de gözlenen kolloform doku genellikle oksit minerallerinde gözlenir. Oksidasyon zonlarında oksijenin ilavesiyle hacim genişlemesi ve elementlerin yer değişimi sırasında hacim azalması sonucu oluşurlar (Ramdhor, 1980).



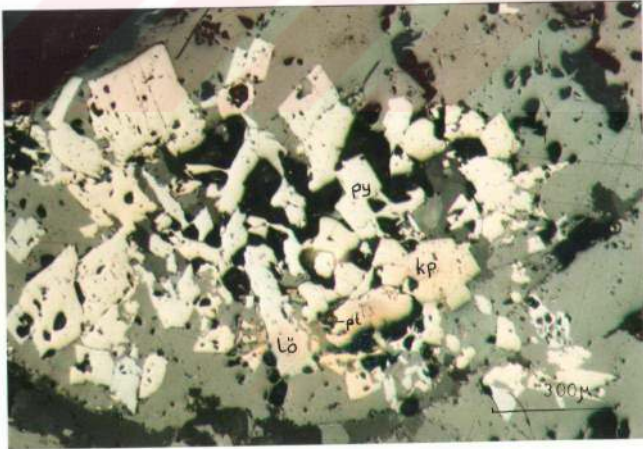
Şekil 5.5. Pirit içinde kalkopirit minerallerinin görünümü, py: pirit, kp:kalkopirit (T.N., 100).



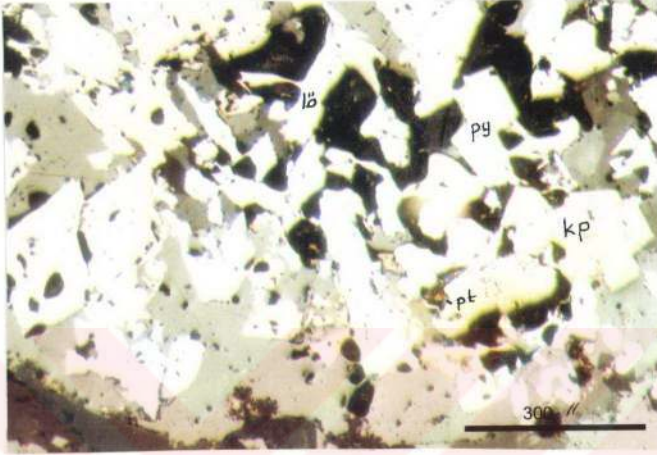
Şekil 5.6. Kalkopiritler içerisindeki enarjit ayrışması. kp: kalkopirit, en: enarjit (T.N., 100).



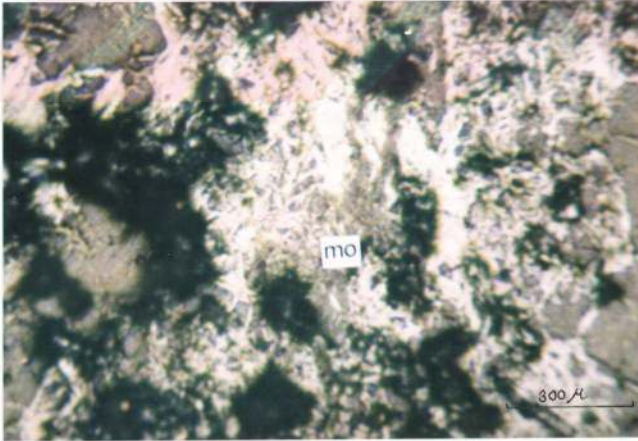
Şekil 5.7. Sfalerit ve galenle birlikte bulunan arsenoprit mineralleri. asp: arsenoprit, gn: galen, sf: sfalerit(T.N., 100).



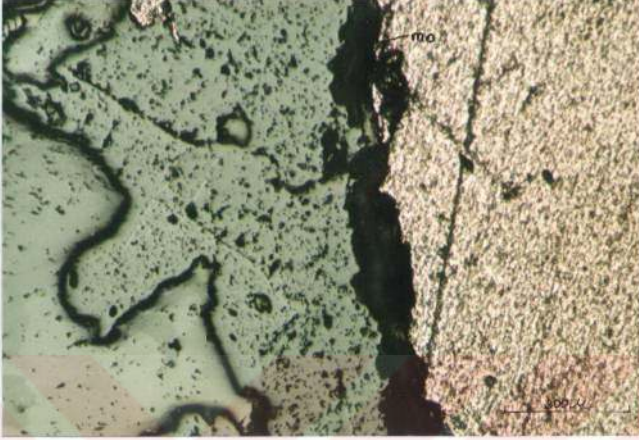
Şekil 5.8 Pirit pirotit dönüşümü. kp:kalkopirit, py: pirit, pt: pirotin, lö: löllingit (T.N., 100).



Şekil 5.9. Kalkopirit ile birlikte bulunan l linjitlerin yakından görünüşü. l : l linjit kp: kalkopirit, py: pirit, pt: pirotin (T.N., 100).



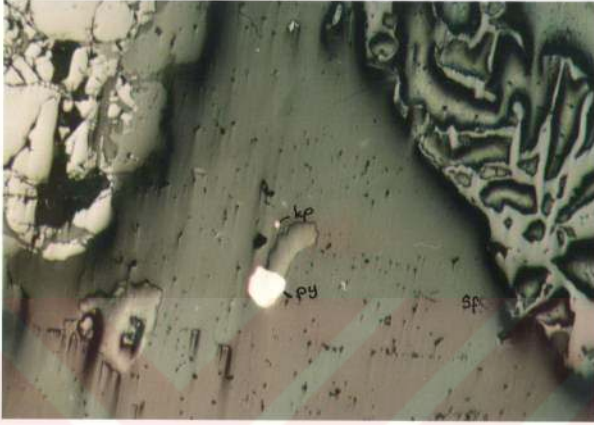
Şekil 5.10. Molibdenitin mikroskopik görünüşü. mo: molibdenit (T.N., 100).



Şekil 5.11 Mağmatik kayaç kalkışist dokanağında gelişmiş molibdenitlerin mikroskopik görünüşü. mo: molibden (T.N., 100).



Şekil 5.12. Yarma-2'de gözlenen malakit ve azuritlerin görünüşü. Balış KD'ya doğrudur.



Şekil 5.13 Sfaleritler içerisinde pirit ve kalkopirit ornmatmaları, kp:kalkopirit, py, pirit, sf:sfalerit (T.N. ,100).

Galen (PbS), düşük röliyefi ve gri rengi ve paleokroizması ile sfaleritten ayrılmaktadır (Şekil 5.7).

Sfaleritlerin (ZnS), içerisinde ise, özşekilli piritler ve arsenopiritler bulunmaktadır (Şekil 5.13).

Kalkopirit ($FeCuS_2$), sertliği galenden büyük piritten küçüktür. Parlak sarı ve yeşil gölgeli sarı rengi ile ayrılmaktadır. Hafif grimsi mavi ve yeşilimsi sarı renkli anizotropi ye sahiptir. Lamelli ikizlere çok rastlanmakla birlikte genellikle eş boy taneli ve özşekilli olarak bulunmaktadır. Kataklastik doku hemen her kesitte görülmektedir (Şekil 5.4). Bu doku tektonik deformasyon sonucu gelişmiş olabilir. Ancak bu mineraller taşınmış da olabilirler.

Şekil 5.5'da gözlenen pirit mineralleri içerisindeki kalkopirit kapanımları, kalkopiritlerin piritlerden önce oluştuğunu işaret etmektedir (Craig ve diğ. 1981).

Enarjit (Cu_3AsS_4), pembemsi kahverenginde olup rengi komşu minerallere bağlı olarak değişmektedir. Sertliği düşüktür. Enarjitte stresten dolayı bazen ikizlenme

görülmektedir. Antimuan (Sb)'ca zengin olanlar kırmızımsı, Arsenik (As)'çe zengin olanlar ise sarımsı renkleri ile belirgindir (Şekil 5.6).

Pirit (FeS_2), incelenen örneklerde krem, açık sarı ve sarımsı beyaz rengi ve yüksek yansıması ile diğer minerallerden daha kolay ayrıtılmaktadır. Yüksek sıcaklık ve düşük gerilme basıncında pirotite dönüşmüştür (Şekil 5.7). Genellikle kalkopirit pirit içerisinde yuvarlak kapanımlar şeklinde oluşmuştur.

Arsenopirit (AsFeS_2), sfalerit ve galen mineralleri ile birlikte gözlenir, açık krem rengi ve nadir ikizlenmeleri ile ayrılmaktadır. Dilinime rastlanmamıştır (Şekil 5.8).

Lölinjit (Fe, Co, Ni) As_2 beyaz bazen açık krem veya yeşilimsi sık sık idiomorf şekilli kristaller halinde bulunmaktadır (Şekil 5.9). Kuvarsla florit kontağında gelişen lölinjitler, büyük bir olasılıkla kuvarslarla gelen yüksek sıcaklık minerallerini temsil etmektedir (Ramdohr, 1980).

Molibdenit (MoS_2), koyu gri renkli anizotropisi çok büyük fakat hafif renklerde oldukça dağılgan röliyesinin düşük olması ile galenden kolay ayrıtılmaktadır (Şekil 5.10; 5.11).

Hematit (Fe_2O_3) ve limonit ($\text{Fe}_2\text{O}_3(\text{OH})$), çatlak sistemleri içerisinde ikincil mineral olarak, pirit ve kalkopiritin dönüşümü sonucu oluşmuşlardır. Hematit ve limonit çoğunlukla şekilsiz yığılımlar halindedir

Malakit ($\text{Cu}_2(\text{OH})_2\text{CO}_3$) ve Azurit ($\text{Cu}_2(\text{OH})_2(\text{CO}_3)_2$), Yarma-1 ve Yarma-2 de yüzeyleyen magmatik kayaç ile kalkıştı kontağında makroskopik olarak gözlenmektedir (Şekil 5.12).

Hidrotermal aktivasyon nedeniyle skarnlarda, kalsit, pirit ve floritlerin yoğun olarak izlendiği görülmektedir. Araştırmalar, galenin, gerilme basıncının çok düşük (1-2 Kb), oluşum sıcaklığının ise $100-400^\circ\text{C}$ arasında olduğu ortamlarda oluştuğuna dikkat çekmişlerdir (Craig ve diğ., 1981).

Pirit ve sfaleritin bir arada bulunma sıcaklığı, $300-500^\circ\text{C}$ arasında değişmektedir. Sfaleritin demir bileşenleri ile birlikteliği sıcaklığın dışında basınç koşullarına da bağlanmaktadır. Sfaleritteki %mol FeS oranı arttıkça basıncın düştüğü belirtilmektedir. Sfaleritin gerilme basıncının 3-4 Kb, sıcaklığın ise $100-500^\circ\text{C}$ olduğu ortamlarda oluştuğu belirtilmektedir (Craig ve diğ., 1981).

Çizelge 5.1. Nallıziyaret Tepe sondaj karotlarından ve yüzeyden alınan 16 örneğin cevher mineralleri içeriği.

Örnek no (m)	Pirit	Kalkopirit	Enarjit	Ars.pirit	Lölinjit	Molibdenit	Sfalerit	Galen	Mangan min.	Limonit
N-5 8	—	—				—			—	—
N-5 14	—	—								
N-5 30	—	—								
N-5 38	—	—								
N-5 19	—	—	—						—	
N-5 75										
N-5 93	—	—		—						
N-5 210	—	—		—	—					
Y1	—	—					—			

Aynı araştırmacılar, florit kontaktlarında oluşan lölinjitin pirotin ve arsenopiritle birlikte bulunabileceğini 363-491⁰C sıcaklıkta birarada oluşabileceğini ve gerilme basıncı ile ortamdaki FeS bileşiklerine bağlı olarak sfalerit, kalkopirit, pirotin ve galenin her oranda birbirleri ile birlikte oluşacağını diyagramlarla açıklamışlardır.

Malakitli örneklerde Mn minerallerinin bulunuşu, iki mineralin de ikincil olarak oluştuğunu ve oksidasyon ürünü olduklarını göstermektedir. Enarjit, kalkopiritlerle dokanak oluşturmaktadır. Ayrıca kalkopiritlerin bir kısmının etrafı alterasyon ürünleri (kovellit, kalkozit) tarafından kuşatılmıştır.

6. SIVI KAPANIM ÇALIŞMALARI

6.1. Materyal Metod

Sıvı kapanımlar, minerallerin büyümeleri veya yeniden kristalleşmeleri sırasında minerallerin içinde kapanlanmış çoğunluğu sıvı olan fakat gaz ve katı fazlar da içeren kapantılardır. Boyutları çok küçük olan bu kapantıların içinde bulundukları minerali oluşturan çözeltilerin temsilcileri oldukları ve mineralin oluşum koşullarını yansıttıkları bilinmektedir. Özellikle maden yataklarında cevherleşmeyi oluşturan sıvıların jeokimyasal özelliklerinin belirlenmesi amacıyla son derece yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu amaçla çalışma sahasındaki cevhersiz kuvars damarları ve cevher içeren kuvars, kalsit ve floritlerden örnekler derlenerek sıvı kapanım çalışmaları yapılmıştır.

Sıvı kapanım çalışmaları üç farklı örnekte yapılmıştır. Siftil Tepe'nin doğusunda bulunan yarma 1 ile yarma 2'ye yakın civarda yüzeyleyen yaklaşık KD-GB doğrultulu kuvars damarlarından ve Nallıziyaret sondaj karot örneklerinde kalkopirit ile birlikte bulunan kuvarslarda, florit ve kalsit içerisindeki sıvı kapanımların özellikleri belirlenmeye çalışılmıştır.

İnceleme yapılabilmesi için cevher içermeyen I. Grubu oluşturan kuvars damarlarından üç, cevherleşme ile ilişkili II. Grup, kalsit, kuvars ve florit içeren örneklerden çok sayıda iki yüzü parlatılmış kesitler hazırlanmıştır. İncelemeye uygun 5 adet kesit üzerinde; I.Grup kuvarslar içerisinde 100 adet, II.Grup minerallerde ise 41 adet sıvı kapanımının çeşitli özellikleri incelenmiştir.

Kapanımların morfolojik özellikleri petrografik amaçlı polarizan mikroskoplarla incelenmiştir. İncelemelerde önce büyütmesi küçük objektiflerle kapanımın bolluk ve dağılımı belirlendikten sonra uygun $\times 100$ büyütmeli objektiflerle incelemeler yapılmıştır.

Mikrometrik incelemeler; yapılan iki yüzü parlatılmış kesitler oda sıcaklığında sistemin içine yerleştirilmiş ve $-100\text{ }^{\circ}\text{C}$ civarına kadar soğutulmuştur. Soğutma işlemleri sıvılaştırılmış susuz (kuru) azot gazı kullanılarak yapılmıştır. Öncelikle kapanımların büyüklük, dağılım, morfolojik görünüm, faz durumu ve doldurma oranı gibi genel özellikleri incelenmiş daha sonra kapanımlar dondurulup

ısıtılarak termometrik incelemelere başlanmıştır. Termometrik ölçümler sırasında ilk ergime sıcaklığı (T_{FM}), son buz ergime sıcaklığı (T_{ICE}), ve sıvı gaz faz homojenleşme sıcaklığı (T_H) ölçümleri yapılmıştır.

Kapanımlarının genel özelliklerinin incelenmesinde James Swift alttan aydınlatmalı mikroskop kullanılmış, termometrik ölçümlerde ise Nikon Labophot-pol mikroskoba monte edilmiş Linkam THMS 600 ve HFS 91 sistemleri kullanılarak ölçümler yapılmıştır. Sistem -180°C ile $+600^{\circ}\text{C}$ aralığında soğutma ve ısıtma kapasitesine sahip olup, hata payı $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$ kadardır.

6.2 Kapanımların Genel Özellikleri

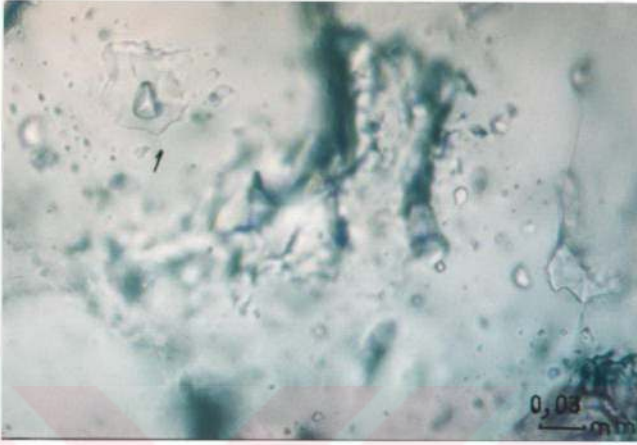
Kuvars, kalsit ve floritler içerisindeki sıvı kapanımlar morfolojik şekillerine göre dört ayrı tip sunmaktadırlar.

I.tip sıvı kapanımlar; 15mı-80mı arasında değişmektedir. Gaz fazlarının kapanım içerisindeki büyüklükleri %20- %60 arasında değişmektedir. Sıvı-gaz fazlardan oluşan bu kapanımlar oldukça şekilsiz ve büyüktürler. Doughner (ikincil) mineraller yaygın değildir. Sıcaklığa bağlı olarak sıvının hacmi katı faza göre daha fazla küçüldüğünden kapanım içinde gaz boşlukları oluşmuştur (Şekil 6.1).

II.tip sıvı kapanımlar; Sıvıca zengin $> \%50$ ve gazca zengin $> \%50$ olmak üzere iki farklı şekilde bulunmaktadır. Bunlar diğer tiplere göre düzgün şekilli kapanımlar halinde görülmektedirler. Mikrotermometrik ölçümler için oldukça elverişli kapanımlardır (Şekil 6.2).

III.tip sıvı kapanımlar; Sıvı, katı ve gaz fazı içermekte ve multifazlı kapanımlar olarak adlandırılmaktadırlar. Daha çok sıvı ve gaz fazlarca zengindirler. Katı fazlar yaygın olarak görülmemektedir. Katı fazlar halit (NaCl) kristallerinden oluşmaktadır. Bu kapanımlar da II.tip kapanımlar gibi düzgün şekilli oluşları nedeniyle mikrotermometrik ölçüm yapmaya elverişlidir (Şekil 6.3).

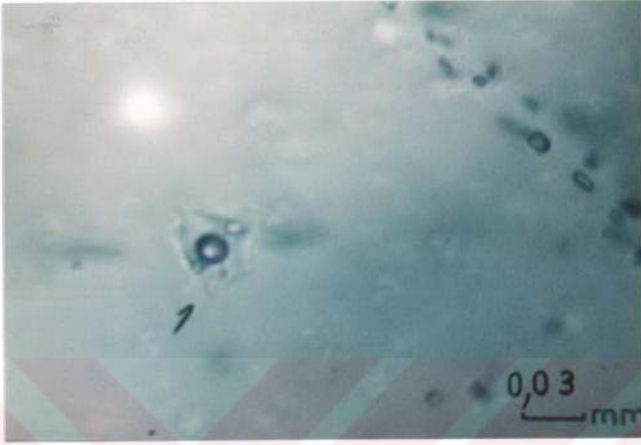
IV. tip kapanımlar karışmaz sıvılı kapanımdır. Bu sistem iki farklı sıvı faz ve bir gaz faz içermektedir. Çözelti doygun ise tuz kristalleri de oluşabilir. Bu tipe ait kuvars, kalsit ve florit kristalleri içerisinde Çizelge 6.1’de görülen farklı geometrik şekile sahip dört ayrı kapanım türü belirlenmiştir (Şekil 6.4).



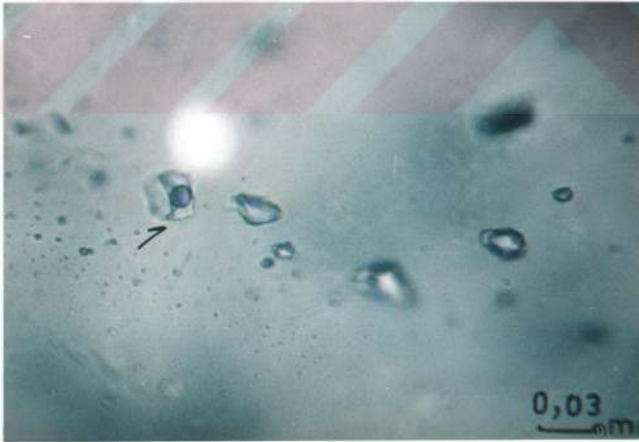
Şekil 6.1. Düzgün olmayan, parçalanmış I,tip sıvı kapanımlarının görünüşü (T.N., 50x10).



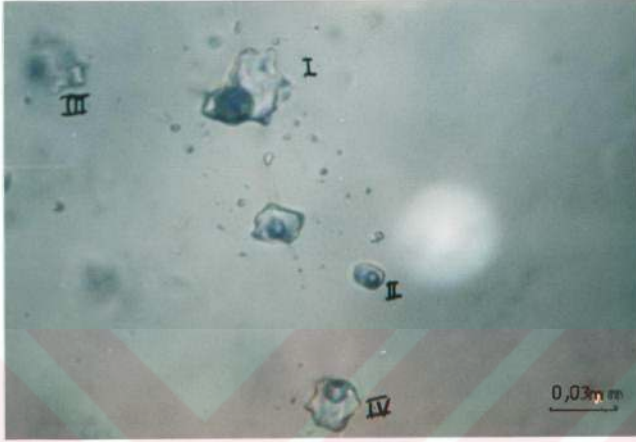
Şekil 6.2. Oldukça düzgün şekilli II,tip sıvı kapanımları ile belli bir kırık zonunu takip eden ikincil kapanımlardan bir görünüş (T.N., 50x10).



Şekil 6.3. Daughter mineral ile tuz kristalleri içeren III.tip sıvı kapanımlar ile ikincil kapanımlardan bir görünüş (T.N., 50x10).



Şekil 6.4. İki sıvı ve bir gaz faz içeren IV tip sıvı kapanımlarından bir görünüş (T.N., 50x10).

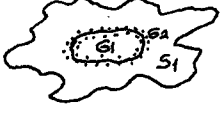
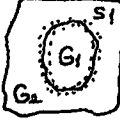


Şekil.6.5.Kuvars minerali içindeki dört değişik tip sıvı kapanımının görünüşü (T.N., 50x10).

Termometrik ölçümler yapılırken düzgün geometrik şekilli olanlar özellikle II ve III nolu şeklindeki kapanımlar tercih edilmiştir (Çizelge 6.1). Cevherleşme ile ilişkili kuvarslarda ise III. tip tercih edilmiştir.

Bu kapanımlar kendi içlerinde öncelikle birincil ve ikincil kapanımlar olarak ayırtlanmış ve her birinde ölçümler yapılmıştır. Kuvars damarlarındaki kuvars kristalleri içinde birincil kapanımlar ikincil kapanımlara oranla daha yaygın olarak izlenmektedir. İkincil kapanımlar kuvarsları kesen ince kırık ve çatlaklar boyunca sıralanmış kapanım dizileri şeklindedir. Bu kapanımların birincil mi yoksa ikincil mi oldukları Rodder (1984) tarafından ortaya konulan kriterlere göre değerlendirilmiştir.

Çizelge 6.1. Kuvars minerallerindeki sıvı kapanımların geometrik şekillerine göre sınıflamaşı (G₁: Birinci gaz fazı, G₂: İkinci gaz fazı, S₁: Birinci sıvı faz, S₂: İkinci sıvı faz).

Sıvı kapanım	Sıvı kapanımların geometrik şekilleri	Sıvı kapanımların Boyutları	Gaz hacmi	İkincil mineral (Doughter min.)
Tip I		>15mμ - <80mμ	%30	
Tip II		>15mμ - <40mμ	%50	
Tip III		16mμ - 40mμ	%70	Halit-opak mineral (NaCl)
Tip IV		30mμ - 40mμ	%5-10	

6.3. Kuvars Damarlarındaki Kuvarsların Sıvı Kapanım Özellikleri

İlk Ergime Sıcaklığı (T_{FM}) Ölçümleri;

İlk ergime sıcaklığı ölçümleri ile kapanlanmış su içindeki su-tuz sistemlerinin ötektik noktaları dikkate alınarak suyun içinde bulunan tuzun bileşimi hakkında bilgi edinilebilmektedir (Sepherd ve diğ.1985 ; Gökçe1994'den). Bu değerler çeşitli H₂O-tuz sistemleri ile karşılaştırıldıklarında, **1.kuvars damarı örneğinde;** kuvars kristallerindeki birincil kapanımlarda ölçülen (ortalama-53±0,8⁰C) değerlerin H₂O-MgO-CaCl₂ sisteminin ötektik sıcaklıklarına yakın olduğu ve çözelti içinde bu tuzların bulunabileceğini, ikincil kapanımlarda ölçülen (ortalama-23±4⁰C) değerlerin ise H₂O-NaCl-Na₂CO₃.10H₂O tuz sistemini, katı fazın ise buz+NaCl.2H₂O sisteminin ötektik sıcaklığına yakın olup su içinde NaCl, NaCO₃ gibi tuzların bulunabileceğine işaret etmektedir (Çizelge 6.3). **2.kuvars damarı örneğinde;** kuvars kristallerindeki birincil kapanımlarda ölçülen (ortalama -52±0,51⁰C) değerlerin H₂O-NaCl-CaCl₂ tuz sisteminin ötektik sıcaklıklarına yakın olduğu ve çözelti içinde bu tuzların bulunabileceğini, ikincil

Çizelge 6.2. Kuvars damarlarındaki kuvars kristallerindeki sıvı kapanımlarının özellikleri.

1.kuvars damarı				2.kuvars damarı				3. Kuvars damarı				
birincil kapanımlar				birincil kapanımlar				birincil kapanımlar				
TFM	TICM	TH	% NaCleşd.	TFM	TICM	TH	% NaCleşd.	TFM	TICM	TH	% NaCleşd.	
-52,4	-21,9	340	23,64	-51,5	-19,1	302	21,75	-52,5	-14,9	340,5	18,54	
-53,3	-20	340,5	22,37	-51,5	-20,4	306	22,72	-52,4	-14,3	353,4	18	
-54,7	-19,7	340,6	21,95	-51,7	-20	308	22,37	-52,7	-14,4	385,9	18,1	
-54,4	-18,8	340,6	21,74	-52	-19,9	308	21,9	-52,8	-25,7	374,9	26,14	
-52,4	-20,3	340	22,58	-51,2	-21,7	310	21,8	-52,3	-14,7	385	18,3	
-52,4	-20,2	341	22,51	-52	-18,9	310	22,5	-52,7	-15,5	353	19,07	
-53,5	-19,7	341,7	21,95	-51,5	-20,4	311	23,5	-52,3	-15,2	353,7	19	
-52,9	-21,5	341,7	23,6	-52,8	-19,8	314	21,74	-56,4	-27,9	360	27,6	
-52,4	-24,3	342	26,3	-51,5	-21,7	314	23,4	-56,6	-28,6	362	27,75	
-52,3	-19,8	342	21,95	-52,4	-20,5	315	22,5	-56,6	-28,5	385,8	27,82	
-52,7	-20,4	343,8	22,5	-52,4	-20,1	317	22,5	-56,5	-18,6	375,4	22,5	
-52,9	-20,5	344	21,9	-51,7	-21,1	317	23,2	-55,1	-17,5	374	20,69	
-52,5	-23,7	346,8	25,7	-51,5	-21,4	318	22,5	-52,6	-20,4	360	21,5	
-54,5	-19,8	350,4	21,9	-52,9	-21,9	318	23,64	-53,8	-17,2	368	20,1	
-52,6	-21,3	351,1	23,4	-52,4	-18,5	319	21,5	-54,8	-16	372	19,33	
-52,5	-21,5	352,5	22,5	-52,3	-19,7	320	21,9					
-52,5	-20,1	356,2	21,3	-52,4	-18,7	321	21,74					
-52,6	-19,7	361	21,9	-52,7	-21,6	333	21,5					
-52,8	-18,7	362	21,74	-51,9	-18,8	333	21,2					
-52,5	-18,5	362,4	21,32	-52,5	-19,1	345	21,75					
-52,4	-33,1	365	30,68	-52,6	-21,7	346	21,8					
				-51,8	-20,1	351	22,3					
				-51,7	-17,6	352	20,69					
StSp	0,74	3,11	8,64	2,18	0,513	1,135	11,8	22,19	1,79	5,52	13,69	21,63
Ort	-52,914	-21,12	347,9	23,02	-52,1	-20,2	318	22,25	-54,01	-19,29	366,91	21,6

TFM	TICM	TH	% NaCleşd.	TFM	TICM	TH	% NaCleşd.	TFM	TICM	TH	% NaCleşd.	
ikincil kapanımlar				ikincil kapanımlar				ikincil kapanımlar				
-21,1	-5,8	316,5	8,94	-23,7	-3,2	321	5,03	-22,5	-6,7	325	10,1	
-22	-5	316,8	7,8	-23,5	-3,3	334	5,41	-21	-4,2	345	6,73	
-22,1	-6	317,5	9,3	-31,2	-2,3	335	3,86	-26,4	-5,6	352	8,67	
-21	-5,2	317,5	7,9	-25,6	-3,3	336	5,41	-24	-3,8	365	6,26	
-33,2	-5,8	332,5	8,94	-22,1	-3,2	340	5,03	-21,3	-3,7	367	6,12	
-21,3	-4,3	332,5	6,8	-25,6	-3,2	341	5,03	-22,3	-4,3	375	6,69	
-21,3	-10,5	338,5	13,85	-21,5	-3,2	342	5,03	-24	-3,9	362	6,29	
-23,4	-7,1	339,9	12,2	-27,5	-	347						
ort.	-23,175	-6,213	326,5	9,46	-25,1	-3,1	337	4,9	-23,07	-4,6	355,86	7,2
st.sp	4,13	1,9164	10,36		3,161	0,356	7,96		1,88	1,13	16,817	1,5

Çizelge 6.3. Sıvı kapanımlarda sık gözlenen bazı tuzların su ve ötektik sıcaklıkları (Shepherd ve diğ. 1985; Gökçe, 1994'den).

Tuz Sistemi	Ötektik Sıcaklık (°C)	Katı Faz
$H_2O - Na_2SO_4$	- 1.2	Buz + $Na_2SO_4 \cdot 10H_2O$
$H_2O - Na_2CO_3$	- 2.1	Buz + $Na_2CO_3 \cdot 10H_2O$
$H_2O - NaHCO_3$	- 2.3	Buz + $NaHCO_3$
$H_2O - NaHCO_3 - Na_2CO_3$	- 3.3	Buz + $NaHCO_3$ + $Na_2CO_3 \cdot 10H_2O$
$H_2O - KCl$	- 10.6	Buz
$H_2O - NaCl$	- 21.2 (- 20.8)	Buz + $NaCl \cdot 2H_2O$
$H_2O - NaCl - Na_2CO_3$	- 21.4	Buz + $NaCl \cdot 2H_2O$ + $Na_2CO_3 \cdot 10H_2O$
$H_2O - NaCl - NaHCO_3$	- 21.8	Buz + $NaCl \cdot 2H_2O$ + $NaHCO_3$
$H_2O - NaCl - Na_2SO_4$	- 21.7	Buz + $NaCl \cdot 2H_2O$ + $Na_2SO_4 \cdot 5H_2O$
$H_2O - NaCl - KCl$	- 23.5 (- 22.9)	Buz + $NaCl \cdot 2H_2O$
$H_2O - MgCl_2$	- 33.6	Buz + $MgCl_2 \cdot 12H_2O$
$H_2O - NaCl - MgCl_2$	- 35.0	Buz + $NaCl \cdot 2H_2O$ + $MgCl_2 \cdot 12H_2O$
$H_2O - FeCl_2$	- 35.0	Buz + $FeCl_2 \cdot 6H_2O$
$H_2O - NaCl - FeCl_2$	- 37.0	Buz + $NaCl \cdot 2H_2O$ + $FeCl_2 \cdot 6H_2O$
$H_2O - Na_2CO_3 - K_2CO_3$	- 37.0	Buz + $(K, Na)_2CO_3 \cdot 6H_2O$ + $K_2CO_3 \cdot 6H_2O$
$H_2O - CaCl_2$	- 49.5	Buz + $CaCl_2 \cdot 6H_2O$
$H_2O - KCl - CaCl_2$	- 50.5	Buz + $CaCl_2 \cdot 6H_2O$
$H_2O - MgCl_2 - CaCl_2$	- 52.2	Buz + $MgCl_2 \cdot 12H_2O$ + $CaCl_2 \cdot 6H_2O$
$H_2O - NaCl - CaCl_2$	- 55.0 (- 52.0)	Buz + $NaCl \cdot 2H_2O$ + $CaCl_2 \cdot 6H_2O$

kapanımlarda ölçülen (ortalama $-26 \pm 3^{\circ}\text{C}$) değerlerin ise $\text{H}_2\text{O-MgCl}_2\text{-NaCO}_3$ tuz sisteminin ötektik sıcaklık değerlerine yakın olduğu ve su içinde NaCl , CaCl_2 ve MgCl gibi tuzların bulunabileceğini göstermektedir. **3.kuvars damarı örneğinde;** birincil kapanımda ölçülen (ortalama $-54 \pm 2^{\circ}\text{C}$) değerlerin $\text{H}_2\text{O-NaCl-CaCl}_2$ tuz sisteminin ötektik sıcaklıklarına yakın olduğu ve çözelti içinde bu tuzların bulunabileceğini, ikincil kapanımlarda (ortalama $-23 \pm 2^{\circ}\text{C}$) değerlerin $\text{H}_2\text{O-NaCl-KCl}$ tuz sisteminin ötektik sıcaklık değerlerine yakın olduğu NaCl-CaCl ve KCl gibi tuzların bulunabileceğine işaret etmektedir.

Ölçülen bu sıcaklık değerleri su-tuz sisteminin ötektik sıcaklığını vermektedir. Değişik su-tuz sisteminin ötektik sıcaklıkları deneysel olarak belirlenmiş olup Çizelge 6.3'deki değerlerle karşılaştırılarak kapanım içindeki sıvının bileşiminde bulunan tuz cinsi saptanmıştır. Bu incelemede genellikle ötektik sıcaklığı en düşük tuzu saptamak kolay olmaktadır. Birden fazla tuz olduğu takdirde onların varlığını ve yaklaşık olarak cinsini tespit etmek biraz zor ve tecrübe isteyen bir iştir.

Yukarıda belirlenen tuz cinsi özellikle cevherleşmeyi oluşturan metal iyonlarının taşınma şekli (klorlu, bisülfatlı, sülfürlü, bikarbonatlı, iyon kompleksleri gibi) hakkında bilgi vermektedir. Ayrıca kapanım içindeki sıvının kökeni ve kapanlanmadan önce içinden geçtiği kayalar ve ortamlar hakkında bilgi vermektedir.

Yukarıda üç ayrı kuvars damarlarından alınan örnekler değerlendirilmiş ve; birincil kapanımların NaCl ağırlıklı bir tuz bileşimine sahip olduğu, ikincil kapanımlarda ise yankayaç karbonat içerdiğinden karbonatlı çözeltilerin yoğunlaştığı gözlenmektedir.

Son Buz Ergime Sıcaklığı (T_{ICE});

İlk ergime sıcaklığı ötektik sıcaklık olduğundan tüm tuz kristalleri eriyinceye kadar sıcaklık sabit kalır. Daha sonra buz kristalleri erimeye başlar ve sıvının tuzluluğuna bağlı olarak saf suyun donma sıcaklığı olan 0°C 'nin altında olacak şekilde erime sona erer. Erimenin sona erdiği gaz kabarcığının ani hareketi ile fark edilir. Erimenin sona erdiği bu sıcaklık son buz ergime sıcaklığıdır ve bileşimdeki tuz miktarı dolayısıyla sıvının tuzluluğu hakkında bilgi verir. Tuzluluk tuz cinsi belirtilmeden % NaCl eşdeğeri şeklinde ifade edilmektedir (Şekil 6.6). Tuzluluk değerleri Bodnar (1993) tarafından geliştirilmiştir.

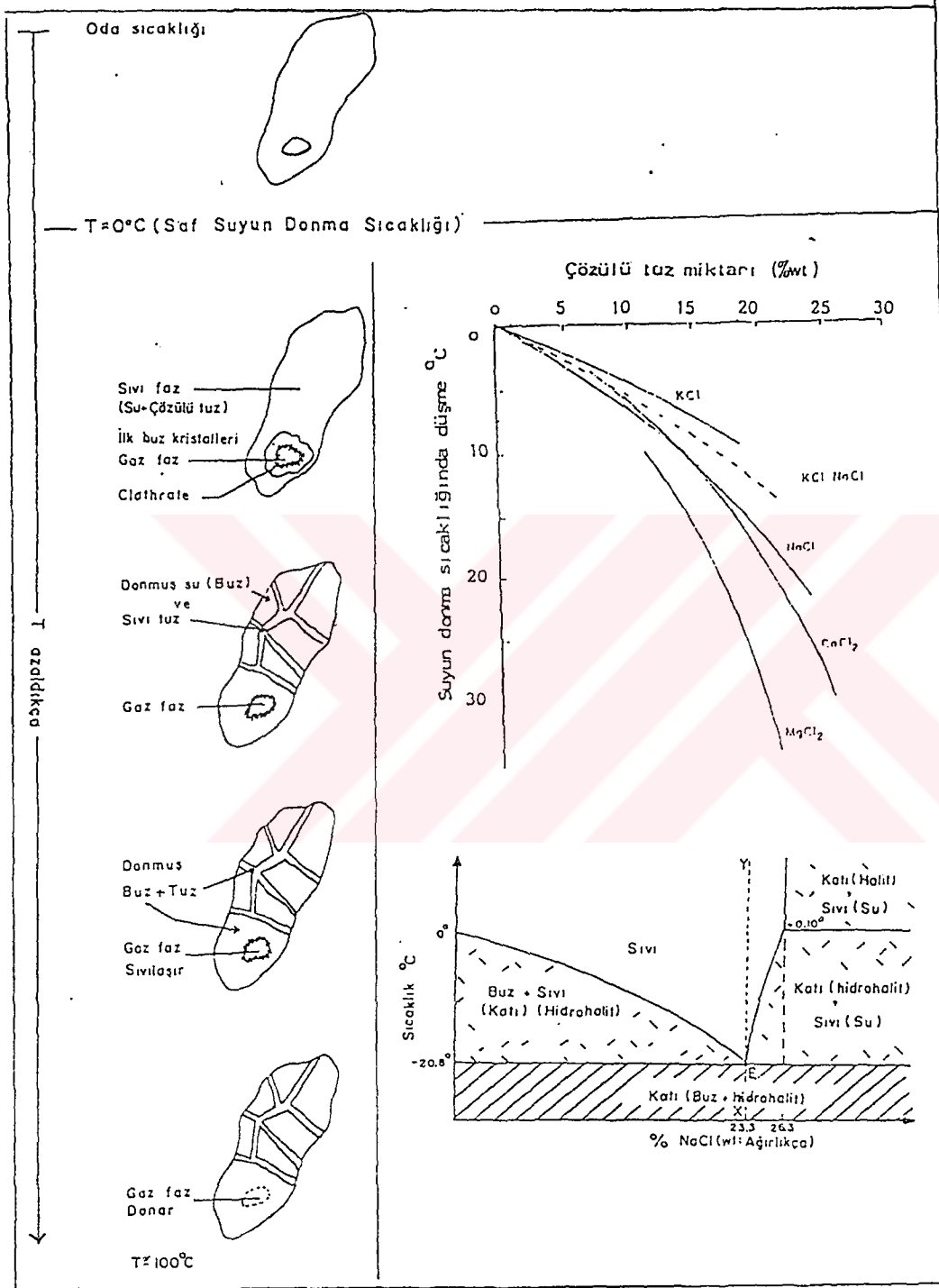
$wt\%NaCl=(-1,78x(-TICE)-(0,0442x(-TICE)^2-(0,000557x(-TICE)^3)$; formülün-den yararlanılarak % NaCl eşdeğeri olarak hesaplanmıştır.

1.kuvars damarında, birincil kapanımlarda, ortalama TICE $-21,12^{\circ}C \pm 3,1$, ikincil kapanımlarda, $-6 \pm 2^{\circ}C$; 2.kuvars damarında, birincil kapanımlarda, ortalama TICE $-20 \pm 1^{\circ}C$, ikincil kapanımlarda, $-6 \pm 9^{\circ}C$; 3. kuvars damarında birincil kapanımda TICE $-19 \pm 5^{\circ}C$; İkincil kapanımlarda ortalama $-4 \pm 1^{\circ}C$ olarak hesaplanmıştır. Bu değerlere göre, birincil kuvars damarında tuzluluğun birincil kapanımlarda %23 NaCl eşdeğeri, ikincil kapanımlarda, %9 NaCl-CaCl₂ eşdeğeri, ikincil kuvars damarında, birincil kapanımlarda tuzluluğun %22 NaCl eşdeğeri, ikincil kapanımlarda %5 NaCl eşdeğeri ile üçüncü kuvars damarında birincil kapanımlarada %22 NaCl eşdeğeri, ikincil kapanımlarda ise %7 NaCl eşdeğeri olarak hesaplanmıştır. Kuvars damarlarında saptanan birincil kapanımlardaki tuzluluk değerlerinin, ikincil kapanımlardaki tuzluluk değerlerinden yüksek oluşu zamanla tuzluluğun azaldığı nın delili olabilir.

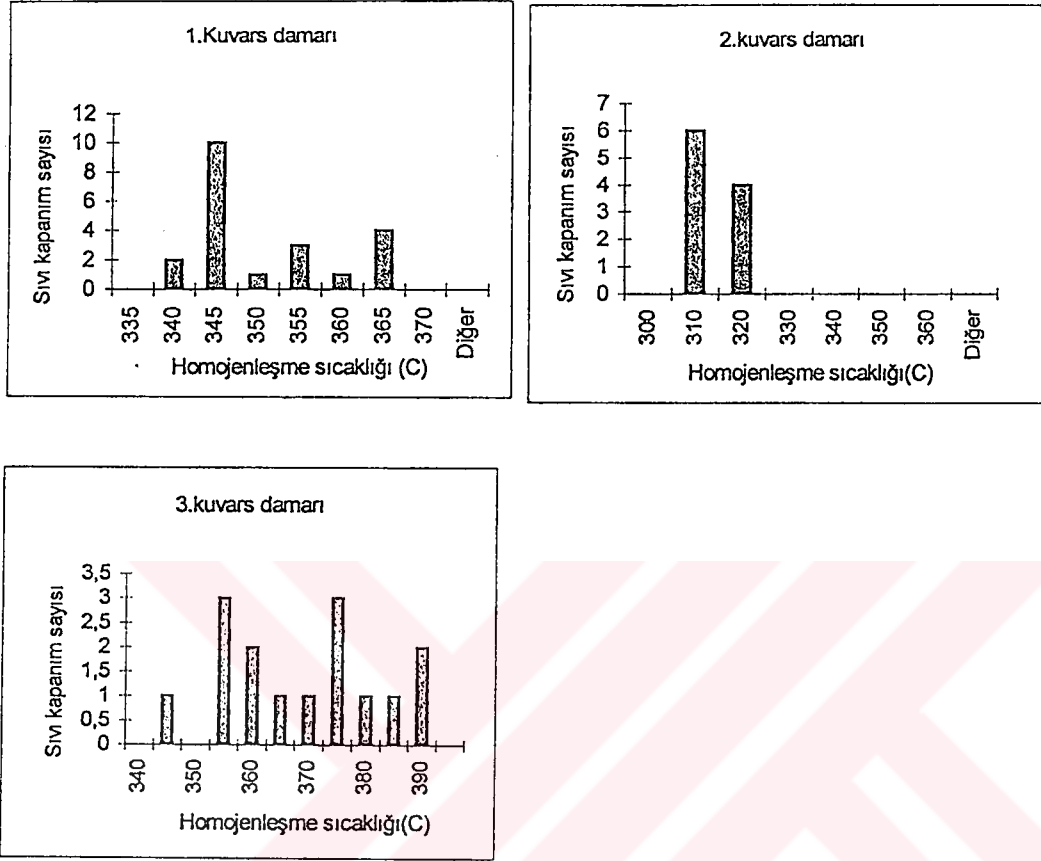
Homojenleşme Sıcaklığı (T_H)

Dondurulmuş kapanımlar son ergime sıcaklığı ölçümü tamamlandıktan sonra daha yüksek sıcaklıklara doğru ısıtılmaya devam edildiğinde önce $+10^{\circ}C$ civarında gaz kabarcığının kenarındaki zonunun eridiği gözlenir. Isıtma ilerledikçe gaz kabarcığı küçülür ve sonunda kaybolur. Gaz kabarcığının kaybolduğu sıcaklık değeri homojenleşme sıcaklığı olarak tanımlanır ve kapanım oluşum sıcaklığı hakkında bilgi verir. Homojenleşme genellikle gaz fazının sıvı faz içinde çözülmesi şeklinde gelişir. Gaz fazının fazla olduğu kapanımlarda ise sıvı fazın gaz içinde çözülmesi şeklinde gelişebilir. 1. kuvars damarında, kuvarslarda birincil kapanımlarda ortalama $347,5 \pm 8,5^{\circ}C$, 2. kuvars damarında, kuvarslarda birincil kapanımlarda ortalama $318 \pm 11,5^{\circ}C$, 3. kuvars damarında, kuvarslarda birincil kapanımlarda ortalama $367 \pm 13,5^{\circ}C$, 1. kuvars damarında kuvarslarda ikincil kapanımlarda, ortalama $326,5 \pm 10^{\circ}C$, 2.kuvars damarında kuvarslarda, ikincil kapanımlarda ortalama $337 \pm 8^{\circ}C$, 3.kuvars damarında kuvarslarda, ikincil kapanımlarda ortalama $356 \pm 17^{\circ}C$, Şekil 6.7’de görüldüğü gibi en yüksek homojenleşme sıcaklığı $360^{\circ}C$ ile $380^{\circ}C$ arasında yoğunlaşmaktadır. Diğer iki damarda da oluşum sıcaklığının yüksek değerlerde seyretmesi $>300^{\circ}C$ katatermal evrede oluştuklarının işareti sayılabilir. Kalın kenarlı kapanımlarda yapılan deneysel çalışmada T_{FM} değerinin $-56,5^{\circ}C$, T_{ICE} değerinin $-28,5^{\circ}C$ ve T_H $100^{\circ}C$ ile $315^{\circ}C$

arasında değiştiği görülmektedir. Bu kapanımlarda $-0,4^{\circ}\text{C}$ 'de ergime bitmektedir. Burada görülen kalın kenarlı kapanımlar TFM değerlerine bağlı olarak CO_2 ve H_2O içerdikleri tespit edilmiştir.

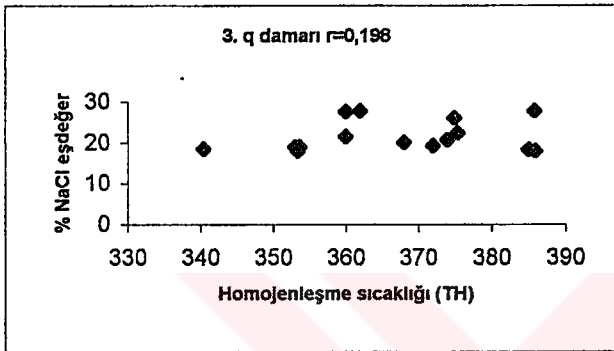
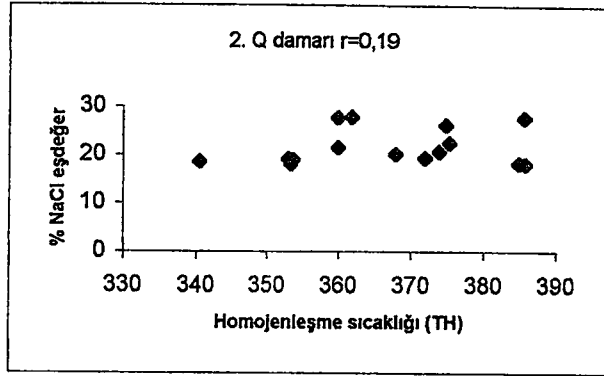
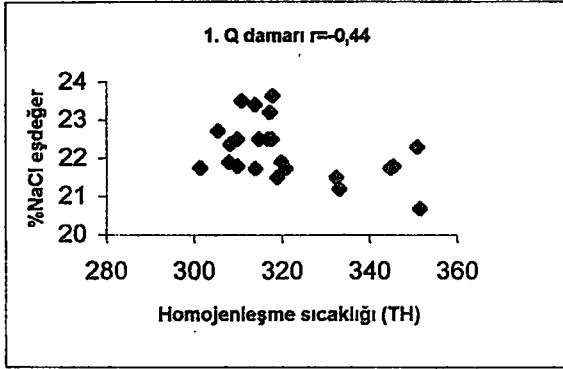


Şekil 6.6. Sıvı kapanımlarının dondurulması sırasında sıcaklık düşmesine bağlı olarak gelişen değişimler. a) Çözülü tuz miktarına bağlı olarak kapanım içindeki sıvının donma sıcaklığının düşmesi b) su-tuz sistemlerine örnek olarak $\text{H}_2\text{O}-\text{NaCl}$ sistemi (Gökçe, 1994'den).

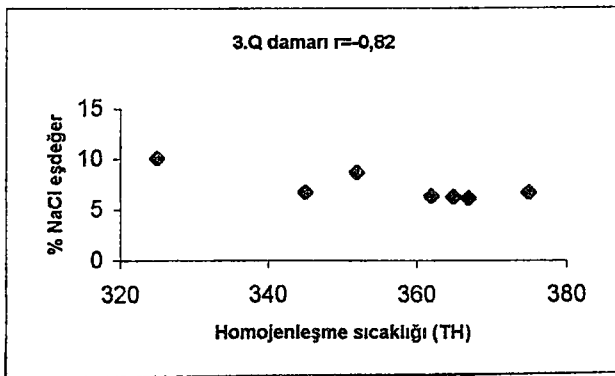
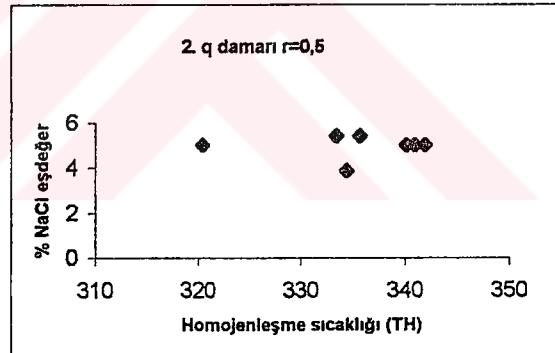
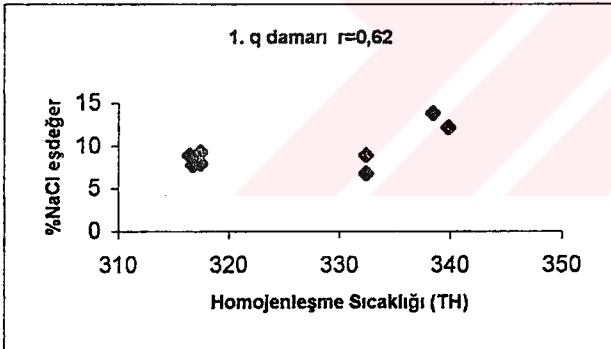


Şekil 6.7. Kuvars damarlarına ait kuvarslardan elde edilen sıvı kapaımlarının homojenleşme sıcaklıklarının dağılımını gösteren grafikler.

Birincil sıvı kapanımlar;



İkincil sıvı kapanımlar;



Şekil 6.8. Homojenleşme sıcaklığı (T_H) ile %NaCl eşdeğer tuzluluk oranı korelasyon diyagramı.

Birincil sıvı kapanımlarda %NaCl eşdeğeri değerleri ile T_H değerleri arasında korelasyon katsayıları Temur (1995)'e göre yorumlanmıştır. 1. kuvars damarında $r=-0,44$ olarak hesaplanmıştır. Bu örnekte zayıf negatif korelasyonun varlığı, 2. ve 3. Kuvars damarında ise, korelasyon ilişkisinin olmadığı görülmektedir.

İkincil sıvı kapanımlarda ise, 1.kuvars damarında $r=0,62$ olup kuvvetli pozitif korelasyonun olduğu, 2. kuvars damarında $r=0,5$ ile zayıf pozitif korelasyonun varlığı, 3. Kuvars damarında ise $r=0,82$ ile kuvvetli pozitif korelasyonun varlığı tespit edilmiştir.

6.4. Cevherleşme İle İlişkili Minerallerde Sıvı Kapanım Özellikleri

Cevher mineralleri ile ilişkili kuvars, kalsit ve florit minerallerinde yapılan sıvı kapanım çalışmaları sonucu ilk ergime sıcaklığı (T_{FM}), son buz ergime sıcaklığı (T_{ICE}) ve homojenleşme sıcaklıkları Çizelge 6.4'de görülmektedir.

12 nolu kuvars mineralinde toplam dokuz adet kapanım incelenmiş ve ilk ergime sıcaklık değerlerinin (ortalama $-49 \pm 0,74^\circ\text{C}$), $\text{H}_2\text{O}-\text{CaCl}_2$ tuz sistemine ve $\text{Buz} + \text{CaCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ katı fazına karşılık geldiği görülmektedir. Aynı kuvars örneğinde son buz ergime sıcaklık değeri (ortalama $-13 \pm 2^\circ\text{C}$) %17,3 NaCl eşdeğeri olarak hesaplanmıştır. Aynı örnekte kuvars kristali özellikle cevher minerali içermesi bakımından önemlidir. Çizelge 6.1'de tip III'e ait grupta tespit edilen kuvars kristallerinin oluşum sıcaklığı değerleri ortalama $489 \pm 13^\circ\text{C}$ iken, ikincil (daughter) minerallerin oluşum sıcaklığı değeri ortalama $374 \pm 32^\circ\text{C}$ 'dir.

Yukarıdaki verilere göre, cevher mineralleri ile ilişkili kuvarsların oluşum sıcaklığının yüksek, daughter minerallerin oluşum sıcaklıklarının ise düşük olduğu görülmektedir. Bu kapanımlardaki tuz bileşiminin $\text{H}_2\text{O}-\text{CaCl}_2$ olduğu göz önüne alındığında, kapanımların içine yerleşen tuz kristallerindeki Ca'un karbonatlı yankayaçlardan kaynaklandığı düşünülmektedir.

6 nolu kuvars örneğinin ilk ergime sıcaklığı (ortalama $-34 \pm 2^\circ\text{C}$) NaCl-MgCl tuz sistemini işaret etmektedir. 6 nolu kuvars örneğinde, son buz ergime sıcaklık değeri (ortalama $-22 \pm 1^\circ\text{C}$) % 23,41 NaCl eşdeğeri tuzluluk oranını vermektedir. Bu

Çizelge 6.4. Cevherleşme ile ilişkili minerallerdeki sıvı kapanım özellikleri.

Örnek no 12

Kuvarsları içerisinde Birincil kapanımlar			Tali mineral (Daughter Min.)		
Kapanım No	TFM	TICM	TH	%NaCleş.	TH
1	-49,3	-14,5	488,8	18,3	349
2	-48,7	-15	508,1	18,92	387
3	-49,1	-12,5	489	16,32	335
4	-48,9	-12	488	16	335
5	-49,4	-16,5	462	19,87	408,7
6	-49,4	-12,7	497,6	16,7	414,7
7	-49,1	-15,1	484,1	19	409,5
8	-49,2	-11,1	-	15,05	355
9	-49,1	-11,9	495,4	15,78	379
Standart sapma	0,23	1,84	13,28	1,71	32,28
Ortalama	-49,10	-13,48	489,13	17,33	374,77

Örnek No 6

Kuvarslar içerisindeki birincil kapanımlar

Kapanım No	TFM	TICM	TH	%NaCleş.
1	-35,2	-19,6	396,9	21,92
2	-	-	-	-
3	-36,5	-21,7	348,7	21,87
4	-34,5	-22,4	355,2	23,16
5	-35,2	-22,6	390,5	24,1
6	-34,7	-21,8	360,5	21,72
7	-35	-22,1	365,5	23,1
8	-34,1	-18,9	360,5	21,61
9	-32,7	-22,4	400,4	23,16
10	-34,1	-21,9	344,7	21,82
11	-33,1	-22,2	360,5	23,75
Standart sapma	1,09	1,26	20,12	0,93
Ortalama	-34,51	-21,56	368,34	22,62

Örnek No 38a

Kalsitler içerisindeki ikincil kapanımlar

Kapanım No	TFM	TICM	TH	% NaCl eş.
1	-34,8	-7,8	93,7	12,5
2	-36,4	-9,2	136,3	13,06
3	-37,7	-9,2	129,6	13,06
4	-36,8	-10,2	132,2	13,7
5	-32,1	-11,2	134,9	15,65
6	-34,3	-9,8	134,2	13,51
Standart sapma	2,0	1,1	16,4	1,1
ortalama	-35,4	-9,6	126,8	13,58

Örnek No 38b

Kalsitler içerisindeki birincil kapanımlar

Kapanım No	TFM	TICM	TH	% NaCl eş.
2	-41,0	-21,1	194,6	23,11
3	-42,2	-21,3	196,4	23,28
4	-41,6	-21,7	194,8	21,9
5	-41,4	-21,3	187,6	23,3
Standart sapma	0,5	0,3	3,4	0,65
Ortalama	-41,6	-21,4	193,1	23,01

Örnek No 210

Kalsitler içerisindeki birincil kapanımlar

Kapanım No	TFM	TICM	TH	% NaCl eş.
1 (ikincil)	-55,9	-9,9	130	11,3
2	-58,6	-28,7	94,4	30,2
3	-58,6	-26,9	150,1	28,5
4	-58,6	-25,7	122,6	27,2
Standart sapma	1,3	8,6	23,0	8,7
Ortalama	-57,9	-22,8	124,3	28,6

Örnek no:93

Floritler içindeki birincil kapanımlar

Kapanım No	TFM	TICM	TH	% NaCl eş.
1	-36,1	-16,4	110	20,0
2	-34,8	-18,2	105,8	21,1
3	-34,9	-18,1	110	21,03
4	-39,9	-12,2	112	16,14
5	-38,7	-13,6	114	15,5
6	-34,6	-12,4	110	16,3
Standart sapma	2,4	2,7	3,0	2,7
Ortalama	-36,3	-15,2	110,3	18,3

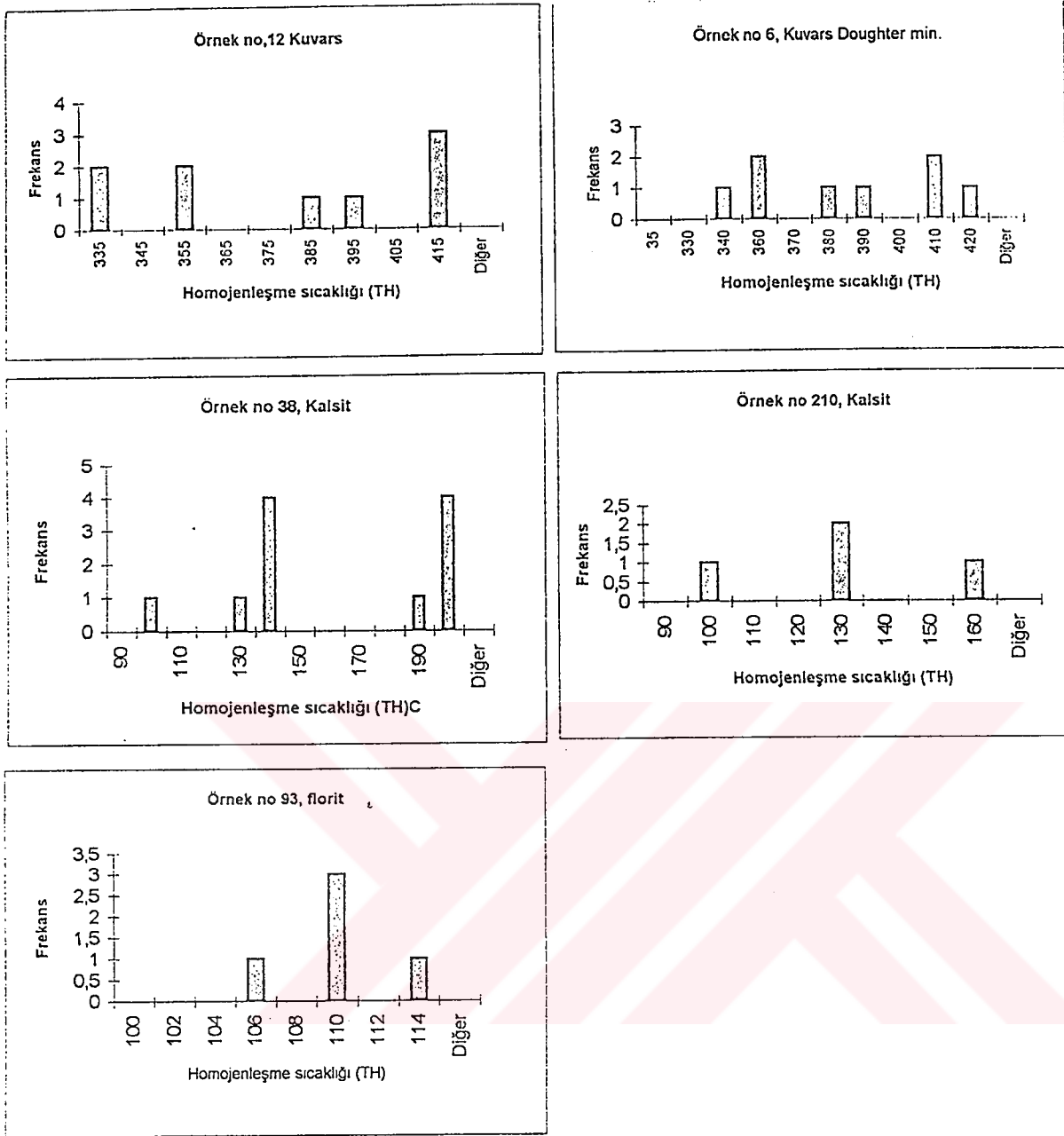
örnekte homojenleşme sıcaklığı değeri (ortalama 368 ± 20 °C) kuvars kristalinin yüksek sıcaklıklarda oluştuğunu göstermektedir.

38b nolu kalsitlerdeki birincil kapanımlarda Çizelge 6.4.'de görüldüğü gibi birincil sıvı kapanımlarında ilk ergime sıcaklık değeri ortalama -41 ± 2 °C'dir. 38a'da ikincil sıvı kapanımlarında ilk ergime sıcaklık değerlerinin ortalama -35 ± 2 °C olduğu aynı mineral içerisinde iki farklı kalsit kristali değerinin oluşu düşük tuzluluğa sahip kalsit kristallerinin ikincil olarak geliştiğini göstermektedir. Brown, 1996'e göre bu değer $H_2O-FeCl_2$ sisteminin ötektik sıcaklığına yakın olup, çözelti içerisinde $FeCl_2$ bulunduğunu işaret etmektedir. Birincil kapanımlarda homojenleşme sıcaklık değerlerinin (ortalama 193 ± 3 °C), ikincil kapanımlarda homojenleşme sıcaklık değerlerinden (ortalama 127 ± 16 °C) farklı olduğu, tuzluluğun homojenleşme sıcaklığı ile doğru orantılı olduğu görülmektedir (Şekil 6.10). Bunun nedeninin ise, asidik çözeltilerin Ca ile kolay tepkimeye girmesi ve $H_2O-CaCl_2-FeCl_2$ gibi tuz sisteminin varlığına bağlı olarak homojenleşme sıcaklığının arttığı şeklinde yorumlanmaktadır.

210 nolu örnekte kalsit mineralleri içerisindeki Çizelge 6.1'de tip II'de yer alan kapanımlarda ilk ergime sıcaklık değerleri (ortalama -58 ± 1 °C) ötektik sıcaklık değerinin $NaCl-CaCl_2$ tuz sistemine karşılık geldiğini göstermektedir. Sıvıdaki tuz bileşiminin $NaCl - CaCl_2$ olduğu düşünülebilir. Aynı örnekte homojenleşme sıcaklık değerinin (ortalama 124 ± 23 °C) 38a nolu ikincil kapanımlarının homojenleşme sıcaklıkları ile yakın değerlerde olduğu görülmektedir.

93 nolu örnekte floritler içerisinde tespit edilen tip II ye ait 6 adet sıvı kapanım örneği üzerinde çalışılmış ve cevherleşme ile ilişkilerinin ortaya çıkarılmasına çalışılmıştır. İlk ergime sıcaklık değerlerine göre (ortalama -35 ± 2 °C) sistemde $NaCl - MgCl_2$ tuz sisteminin varlığı gözlenmektedir.

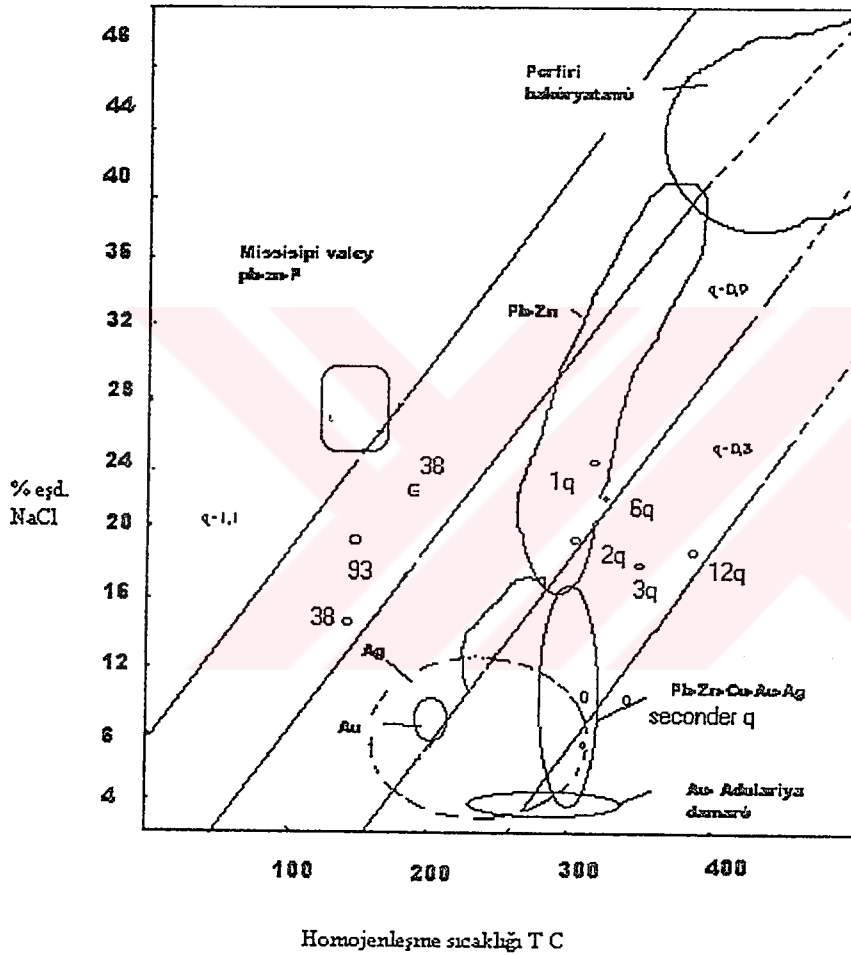
Son buz ergime değerleri (ortalama -15 ± 3 °C) Bodnar (1993), eşitliğine göre %19 $NaCl$ eşdeğeri olarak hesaplanmıştır. Floritler içerisindeki kapanımlarda homojenleşme sıcaklığı (ortalama 110 ± 3 °C) olarak belirlenmiştir. Şekil 6.10'da görüldüğü gibi floritlerde, oluşum sıcaklığı ile tuzluluk değerleri arasındaki negatif ilişkinin varlığı, floritlerin, kalsitlerde olduğu gibi asidik çözeltilerle kolay tepkimeye girmeyişi olarak düşünülmektedir.



Şekil 6.9. Kuvars, kalsit ve floritlerde homojenleşme sıcaklığı ($T^{\circ}\text{C}$) sıklık diyagramı.

Çizelge 6.4'deki değerlere göre yapılan sıklık diyagramlarında (Şekil 6.9), 12 nolu kuvars örneğinde, 415°C yoğunlaşmanın olduğu görülmektedir. 6 nolu kuvars örneğinde $360-410^{\circ}\text{C}$ arasında olduğu görülmektedir. Bu örnekte tip III'ün yüksek homojenleşme sıcaklığına sahip olduğu ve doughter mineral içerdiği görülmektedir. 210, 38a ve 38b nolu kalsit örneklerinin floritlerin oluşum sıcaklığına yaklaşık değerler verdiği görülmektedir. Kalsitlerin homojenleşme sıcaklıkları $124-193^{\circ}\text{C}$ arasında değişmektedir.

Şekil 6.11'de görüldüğü gibi, birinci ve ikinci kuvars damarlarının sıvı yoğunluğunun $q=0,9 \text{ gr/cm}^3$ ile TH sıcaklığının Pb-Zn cevherleşmelerine yakın bölgede, üçüncü kuvars damarının ise $q=0,8 \text{ gr/cm}^3$ ve TH 366°C ile bu alanın dışında kaldığı görülmektedir. Kuvars damarlarındaki ikincil kapanımların Pb-Zn-Cu-Au-Ag alanına düştüğü görülmektedir. Kuvars minerallerinde gözlenen az miktarda Au'nun kuvars mineralleri içerisine sonradan ikincil sıvı kapanımlarını oluşturan olaylarla yerleştiği düşünülmektedir.



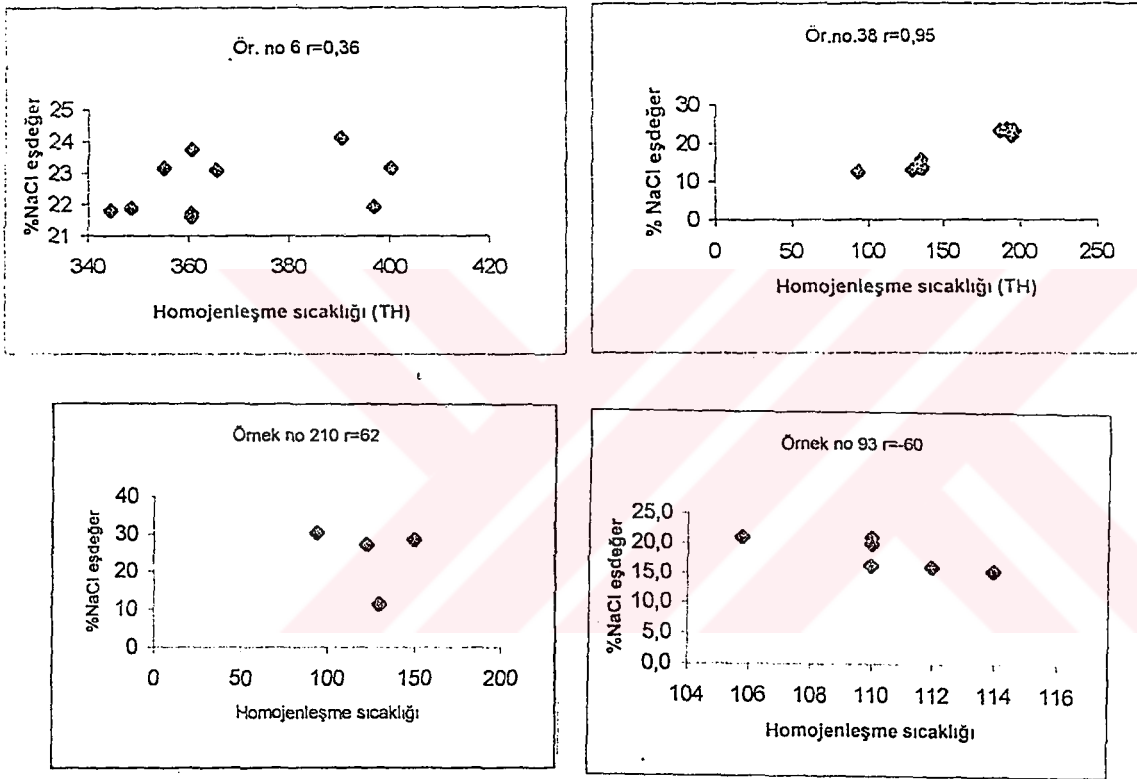
Şekil 6.11. Sıvı kapanım homojenleşme sıcaklığı ve tuzluluk diyagramı.

Verev çizgiler (q) sıvının yoğunluğunu, gr/cm^3 olarak göstermektedir. NaCl-H₂O (Haas, 1970), Au Acres ve Au adularia, baz metal yatakları Mississippi Valley tip (Roeder, 1967), Porfiri bakır yatakları (Nash ve Theodore; Roeder, 1971).

Kalkopiritlerle aynı oluşum kökenine sahip cevherli kuvarsların ise sıvı yoğunluğunun $q=0,8-0,9 \text{ gr/cm}^3$ sıcaklığın yüksek olduğu alana düştüğü, florit ve kalsit

93 nolu florit örneği Şekil 6.9'de görüldüğü gibi en düşük (110°C) homojenleşme sıcaklığına sahip olan mineral olarak gözlenmektedir. İncelenen örnekler içerisinde en düşük homojenleşme sıcaklığını veren floritlerin en geç evrede oluştuğu düşünülebilir. Floritlerin ise tuzluluk oranı ile homojenleşme sıcaklığı arasında uyum olduğu ve birincil kapanımlarda %19NaCl eşdeğeri ile geç evrede oluştuğu düşünülmektedir.

Çizelge 6.4'de verilen tüm tuzluluk değerleri ile homojenleşme sıcaklığı arasındaki ilişkiyi belirlemek amacıyla korelasyon diyagramları hazırlanmıştır (Şekil 6.10).



Şekil 6.10. % NaCl-homojenleşme sıcaklığı arasındaki korelasyon diyagramı.

Şekil 6.10'da görüldüğü gibi, 6 nolu kuvars örneğinde $r=0,36$ ile çok zayıf pozitif korelasyona sahip olduğu, 38 nolu kalsit örneğinde $r=0,95$ ile çok kuvvetli pozitif korelasyon olduğu, 210 nolu kalsit örneğinde $r=0,62$ ile kuvvetli pozitif korelasyonun varlığı ve 93 nolu florit örneğinde ise $r=-0,60$ ile kuvvetli negatif korelasyona sahip olduğu belirlenmiştir.

Çizelge 6.4'de kalsit, florit, kuvars kristallerinin ortalama tuzluluk-homojenleşme sıcaklık ve %NaCl eşdeğer tuzluluk değerleri bazı altın ve baz metal yatakları için verilen diyagramlarda değerlendirilmiştir (Şekil 6.11).

kristallerinin $q=1,0\text{gr/cm}^3$ daha yukarılarda olan alanda ve sıcaklığın düşük olduğu bölgede yoğunlaştığı görülmektedir.

Beaty ve diğ. (1986) Deer Trail'de Pb, Zn, Ag, Au, Cu yatağında sfaleritlerde ve kuvarslarda yaptıkları sıvı kapanım çalışmalarında homojenleşme sıcaklıklarının 250°C - 300°C arasında değiştiğini, %NaCl 17-22 eşdeğeri olduğunu belirtmişlerdir. İzotop çalışmaları ile destekledikleri çalışmalarında sıvı kapanımların tuzluluğunun yatağın sıcaklığını ve mineral parajenezlerini karşılaştırılmış ve yatağın oluşumu sırasında tuzluluğun yüksek olduğu minerallerin muhtemelen mağmatik çözelti kökenli olduğunu, düşük tuzluluğun ise seyrelmiş meteorik su kökenli olabileceğini belirtmişlerdir. Aynı çalışmacılar, mağmatik suların baz metal mineralizasyonları için önemli olduğunu fakat geç evrede meteorik sularda yer değiştirdiğini belirtmektedir.

Özgenç (1993), Ovacık-Kütahya florit yatağında, farklı renklerdeki floritlerde yaptığı sıvı kapanım çalışmalarında, pembe floritlerde, %8,1 NaCl eşdeğeri ile T_H 270°C , yeşil floritlerde % 7,9 NaCl eşdeğeri ile T_H 219°C olarak bulunmuştur. Bu çalışmanın sonucunda ise hidrotermel sıvıların orta derecede bir tuzluluk oranına sahip olduğunu ve cevherleşmenin mezotermel evrede gerçekleştiğini belirtmektedir.

Uçurum ve diğ. (1996) Yukarı Çulhalı floritlerinde yaptıkları sıvı kapanım çalışmalarında birincil kapanımlarda %12-23 NaCl eşdeğeri tuzluluk ile, $156-185^{\circ}\text{C}$ T_H değerleri bulmuşlardır. Bu değerlere göre düşük sıcaklık ve sığ derinlik koşullarında oluştuğunu belirtmişlerdir. Bu floritlerin skarn zonu ile ilişkili ancak bu zondan uzakta oluştuğunu belirtmişlerdir.

Bu yatakların volkanizma öncesi oluşmuş kırık ve çatlaklar boyunca geliştiğini, yan kayaçların karbonatlı olması dolayısı ile sülfatların artan PH nedeniyle çözüldüğünü ve sıcaklığın azalmasının sebebini ise mağmatik ve meteorik kökenli suların karışması ile açıklamışlardır.

Mineralizasyonun en geç safhasında mağmatik suların meteorik sularla seyrelmesi sonucu florit yataklarının oluştuğunu, kuvars yataklarının mağmatik ve meteorik kökenli suların birbirleri ile karışmadan önce ana kayaç ile bazı değişikliklere maruz kaldıklarını belirtmektedirler.

Ahmad ve diğ. (1980), Santa Rita'da porfirlerde ve skarnlarda kuvars minerallerinde yaptıkları sıvı kapanım çalışmalarında, primer kuvars kapanımlarında

250-450°C ve 200-550°C arasında yaygınlık gösterdiğini tuzluluğun, %32-60 NaCl eşd. olduğu 300°C'nin altında NaCl'nin doygunluğa ulaşmış olduğunu belirtmektedirler. Yaklaşan hidrostatik basınç koşulları altında sıvı kapanımlar içindeki iki fazın oluşumu P-T ve mağmatik aktiviteye bağlı sıvıların hareketi sonucu oluşmuştur. Düşük tuzluluğa sahip kapanımların mağmatik buhar veya gazların sıcak kayaçlarla karşılaşması ve kaynaması ile oluşmuş olabileceği düşünülmektedirler. Yüksek tuzluluk oranına sahip sıvı kapanım muhtemelen hidrostatik basınç koşulları altında kapanımların oluştukları yerlerde iki fazın kesişmesiyle, P-T ve magma tarafından çıkan süper kritik sıvılardan oluştuğunu, tuzluluğu düşük sıvıların ise litostatik basınç altında kalmış iki faz da geliştiğini, kaynama ve karışma ile yüksek tuzluluğa sahip sıvıların, meteorik suların ise düşük tuzluluğu açıklayabileceğini belirtmişlerdir. Aynı araştırmacılar, yaptıkları çalışmalarda kuvars-sülfid damarlarının yoğunlaştığı skarnlar da T_H : 270°C-380°C, primer kapanımlar da %30-50 NaCl eşdeğeri, ikincil kapanımlar da ise %10-20 NaCl eşdeğeri, olduğunu saptamışlardır. Artan sıcaklıklarda KCl'nin çözünürlüğü artar. 261°C'nin üzerindeki sıcaklıklarda KCl çözülür ancak NaCl 319°C'nin üzerinde çözülür. Kuvas-serizit alterasyon zonlarında 446°C'de sızan sıvıların hemen hemen karbonat çözeltilerini de içerdiklerini belirtmektedirler.

Yukarıda bahsedilen iki farklı yataklanma tipinde dikkat edilmesi gereken önemli farklılık iki yatak arasındaki tuzluluk oranıdır. Bazı metal yataklarında tuzluluğun biraz daha düşük olduğu gözlenmektedir.

Çalışma konusu olan kuvars damarlarının gerek litostatik ve gerekse hidrostatik koşullar altında su tablasının alçaklığı ve yüksekliğine, mağmadan sıvının yayılmasına, zayıf zonlarda oluşan kırıklara bağlı olarak eş yaşlı kapanımlar oluşurken, bu kuvars damarları içinde gelişen çatlaklar içinde ikincil kapanımlar yer altı sularının etkisiyle oluşmuşlardır.

İkincil kapanımları oluşturan çözeltilerin birincilleri oluşturan çözeltilerden farklı olduğunu ancak oluşum sıcaklığının aynı sıcaklığa kadar yükseldiğini göstermektedir. Birincil kapanımların tamamı NaCl bileşimli tuz içerirken ikincillerde karbonatlı tuzlar görülmektedir. %20-22NaCl eşdeğeri tuzluluk değerlerinin bu derece yüksek olması denizel kökenli su ya da denizel sedimanların içinde dolaşmış su olduğu şeklinde yorumlanmaktadır. Kuvars damarlarının intrüzif kütleyle olan yakınlığı nedeniyle üçüncü kuvars damarının en yüksek homojenleşme sıcaklığını verdiği

gözlemlenmektedir. Birinci kuvars damarı ise ikinci kuvars damarına oranla daha uzakta yüzeylenmektedir.

Cevherleşme ile ilişkili olduğu düşünülen kuvars, kalsit ve floritlerden sadece kuvarsların oluşum sıcaklığının cevherleşme ile eş zamanlı ve Gökçe (1995)'de verilen değerlere göre, katatermal evrede olduğu görülmektedir. Kuvarsların cevheri beraberlerinde getirmediği fakat yan kayaç içinden alarak zenginleştiği 12 nolu örnekte daughter mineralli kapanımların biraz daha düşük homojenleşme sıcaklık değerleri, bu minerallerin kapanımların yapısına girmesi sonucu sıcaklığın düştüğü şeklinde yorumlanmaktadır. Kuvarsların kalkopiritlerle beraber girift halde bulunması, kuvarslar için belirlenen oluşum sıcaklığı değerinin kalkopiritlerin de oluşum sıcaklık değerini verebileceği bu nedenle silisce zengin çözeltilerin cevheri taşıdığı şeklinde yorumlanmaktadır.

Kalsit ve floritlerin ise sonraki evrelerde geliştiği ve epitermal evreyi temsil ettiği görülmektedir.



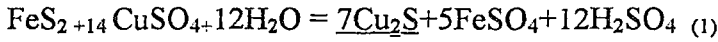
7. JEOKİMYA

Bakır, periyodik cetvelin I B grubunda yer almaktadır. Atom numarası 29, atom ağırlığı 63.5'dir. Cu^{1+} ve Cu^{2+} değerlikli olup iyonik yarıçapı 0.96-0.72 Å'dir. Bakır meteoritlerin metalik ve sülfürlü fazlarında, hidrotermal damarların ve sedimanter çökellerin sülfürlü, metalik fazlarında, magmatik kayaçların silikat fazında zenginleşebilmektedir. Bakır, sülfürlere karşı olan ilgisinden dolayı kalkofil elementler grubunda yer alır. Kalkofilik sırasına göre gümüşten hemen sonra yer almaktadır. Başlangıçta veya çok yüksek ısılarda homojen görünen tek fazlı bir sistemden, özellikle basınç ve sıcaklığın düşmesiyle heterojen madde ayrışması mineralin oluşmasına neden olmaktadır. Bakırın en önemli mineralleri kalkopirit ve bornittir. Bunlardan başka kübanit, valerit, tetraedrit, tennantit ve enarjit mevcuttur.

Oksidasyon kuşağında bakırın ikincil mineralleri azdır. Karbonatlar arasında en çok gelişeni malakit ve azurittir. En önemli sülfatı kalkantittir. Sülfatlardan brokantit, silikatlardan krizokol, oksitlerden küprit ve tenorit ile nabit bakır oksidasyon kuşağında birincil cevherlerden türemiştir. Bakır jeokimyasal özelliğinden dolayı oksidasyon kuşaklarında Pb'dan fazla Zn'dan az hareketlidir.

Kalkozin ve kovelin bakır yataklarında en çok bulunan ikincil minerallerdir. Yüzeysel ayrışmanın yoğun olduğu yerlerin karakteristik bakır mineralleridir. Ancak derin kökenli bir bakır oluşuğunda, kalkopirit esas cevher mineraldir.

Piritin oksidasyonu, ortamın kuvvetli oksitleyici olmamasına neden olur. Eğer ortamda pirit olmasaydı sülfürler yerlerinde oksitleri haline dönüşecek birçok bakır yatağında kalkopirit ve kalkozin çözülecek yerinde bakır karbonatlara dönüşecektir.



Kalkozin

Formül (1) 'de görüldüğü gibi pirit sülfat köklerini ayrıştırarak sülfidlerin oluşmasına neden olmaktadır.

İnceleme alanında olduğu gibi yankayaç kireçtaşı ise karbonatlar relatif olarak olaya karışabilmektedirler. Kireçtaşı sülfat çözeltilerinin gücünü yavaşlatır. Bakır sülfatı

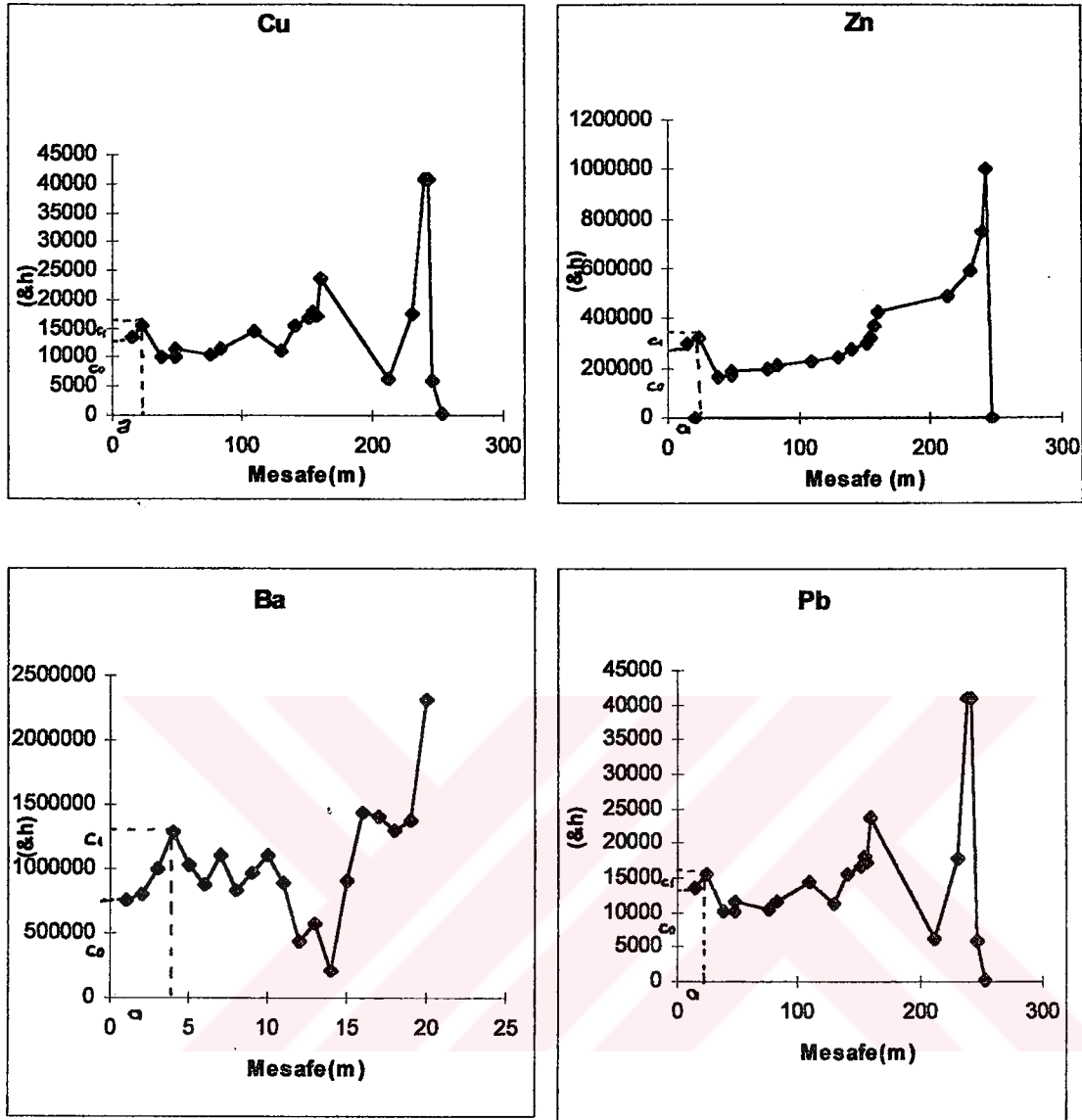
bakır karbonata dönüştürürler. Keban Dere'nin kuzeyinde ve güneyinde yoğun malakit ve azuritin oluşum şekli, piritin yeterli çoklukta olmayışı yankayacın karbonatlı olması ile açıklanabilir. Altta yüzey kökenli bir zenginleşme beklenebilir.

7.1. Örnek Malzemesi, Analiz ve İnceleme Yöntemleri

Bu bölümde Keban Dere civarındaki bakır cevherleşmelerinin kökenini ortaya çıkarmak amacıyla Keban metamorfitlelerinin ve Keban mağmatitlerinin jeokimyasal özellikleri, oluşum koşulları ve bakırın kökeni araştırılmaya çalışılmıştır.

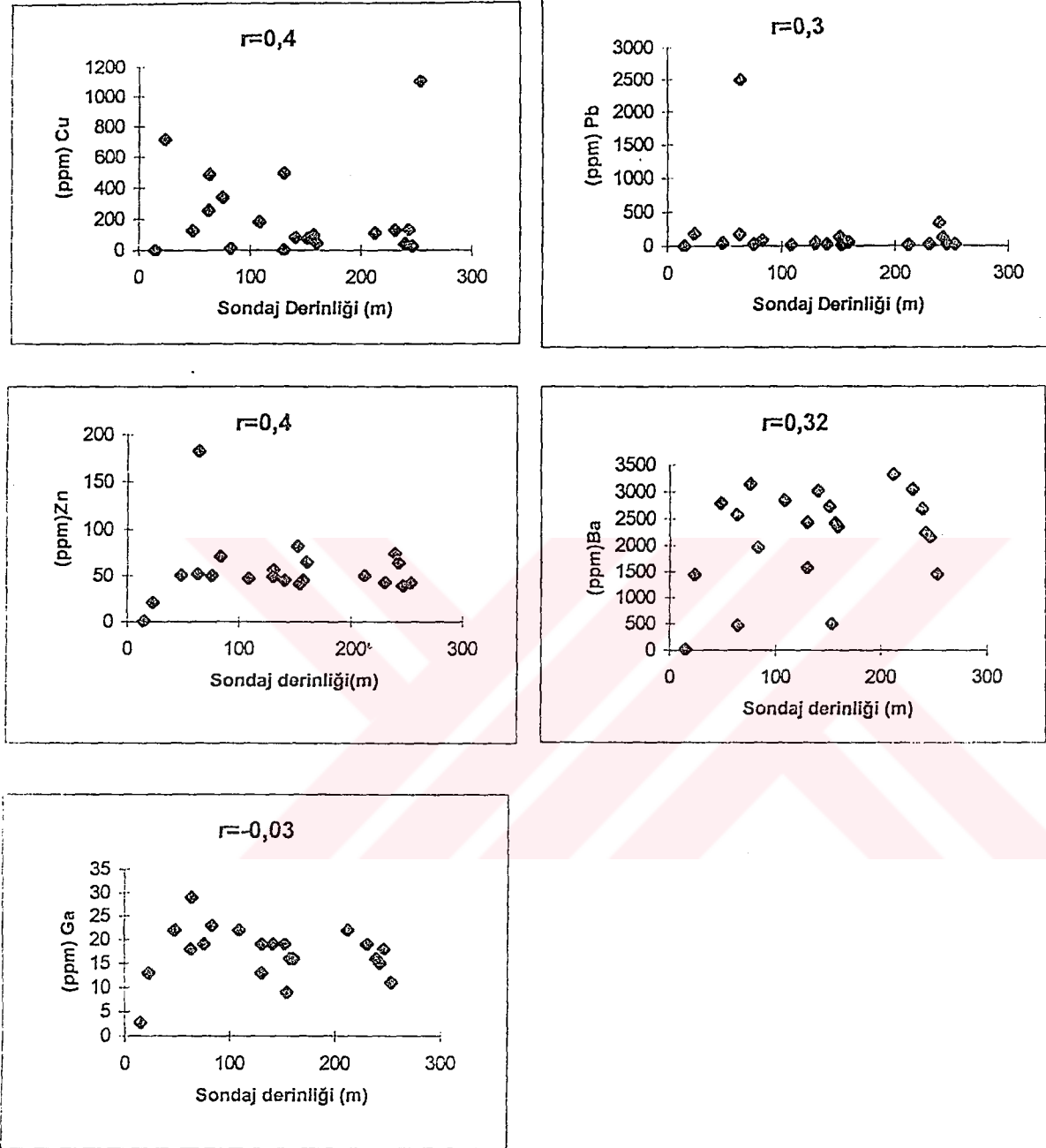
Nallıziyaret Tepe sondaj karotlarından kaç metrede bir örnek alınacağı konusunda Balçık ve diğ. (1978), çalışmalarından faydalananak Nallıziyaret galerisinden alınan sistematik örnekler varyogramlar yapılarak değerlendirilmiştir. Bilindiği gibi varyogramlar iki örneğin farkını aradaki uzaklığa göre ifade eden bir fonksiyondur. Cu, Zn, Zr, Ba ve Pb a ait sonuçlar alınarak çizilen varyogramlarda en iyi örnek aralığının 5-10 m arasında olduğu tespit edilmiştir (Şekil 7.1). Analiz edilecek örnekler düzenli ve korunmuş olması sebebiyle N-5 nolu sondajdan ortalama 10 m'de bir alınarak alınarak değerlendirilmiştir.

Sistematik olarak alınan bu örnekler 30'u sondaj karot örneği ve 6'sı ise yüzey örneği olmak üzere toplam 36 örnek Cumhuriyet Üniversitesi (Sivas) Mühendislik Fakültesi Jeoloji Mühendisliği Bölümü laboratuvarlarında röntgen floresans (XRF), 6 mağmatik kayaç ve 3 metamorfik kayaç örneği ise x-ray difraktometre (XRD) yöntemiyle analiz edilmiştir. XRF analiz yöntemiyle Si, Ti, Al, Fe, Mg, Ca, Na, K, P gibi 10 ana element ile, Cr, Ni, Co, Cu, Pb, Zn, Rb, Ba, Sr, Ga, Nb, Zr, Y, Th 14 eser element analizi yapılmıştır (Çizelge 7.2). Bu analiz yöntemlerinin göreceli hata oranı deneyimlere göre ± 10 civarında olmaktadır. Kimyasal analiz sonuçlarının değerlendirilmesinde standart kaynaklar da verilen çeşitli diyagramlar ile korelasyon analiz yöntemleri kullanılmıştır. Elde edilen sonuçlar karşılaştırılıp değerlendirilerek cevherleşmenin kökeni yorumlanmıştır.

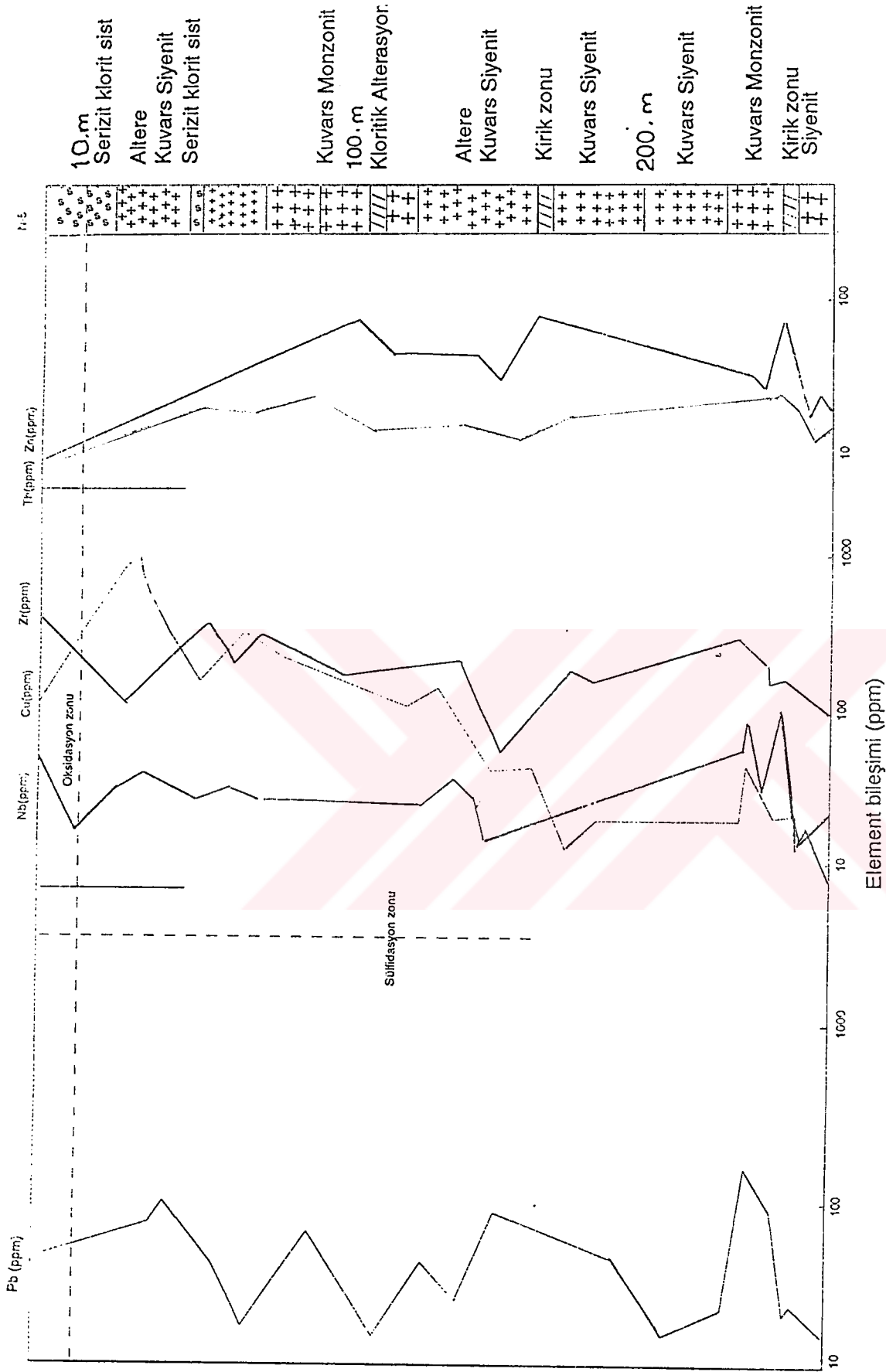


Şekil 7.1. Cu , Zn , Ba, Pb'a ait varyogramlar ve en iyi örnek aralığı görülmektedir.
a: en iyi örnek aralığı , c_0 : hata payı , c_1 : eşik değer, c: variogramın a örnek aralığı mesafesine ulaştığı değer.

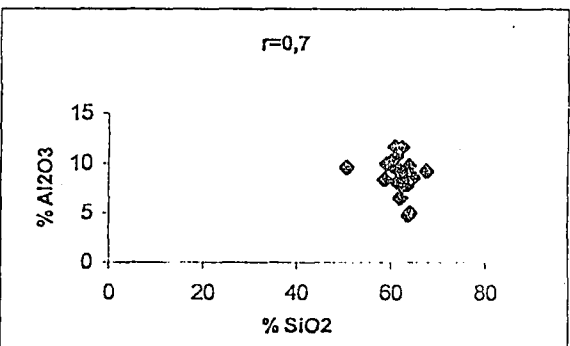
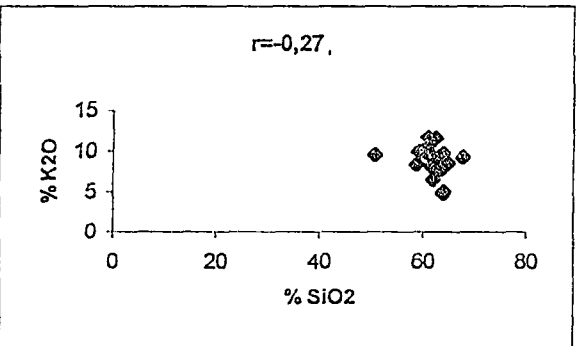
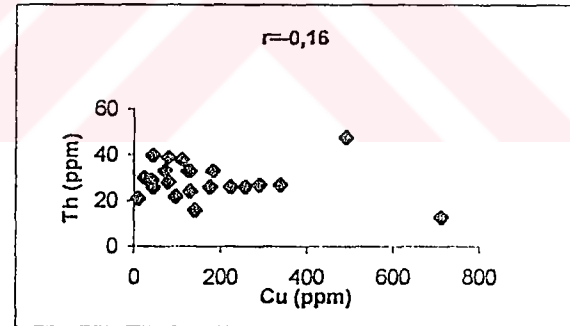
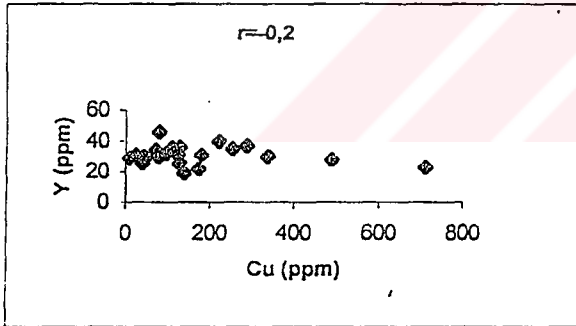
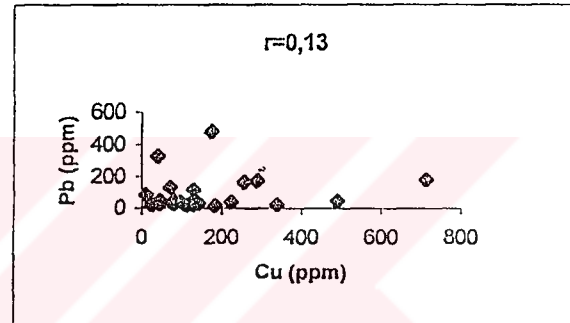
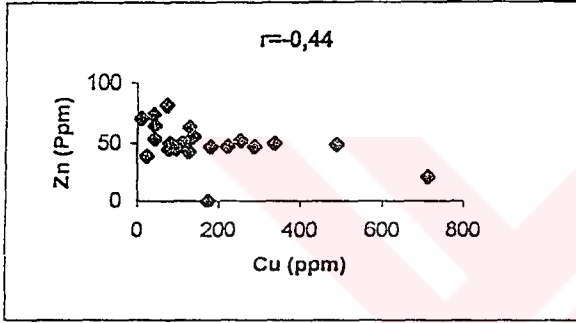
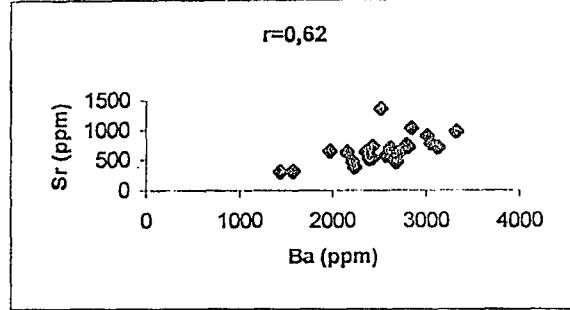
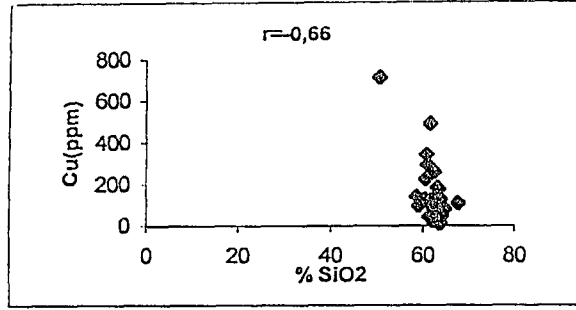
Şekil 7.1. de Cu, Zn, Pb'a ait en iyi örnek aralığı ortalama 10m, Ba için bu aralık 5m olarak bulunmuştur. Sondaj karotlarından örnek alma aralığı 10m olarak alınmıştır. Derinlik arttıkça cevherli ve cevhersiz kısımlar birbirini izler.



Şekil 7.2 Cu, Pb, Zn, Ba, Ga 'un derinlikle değişimi.

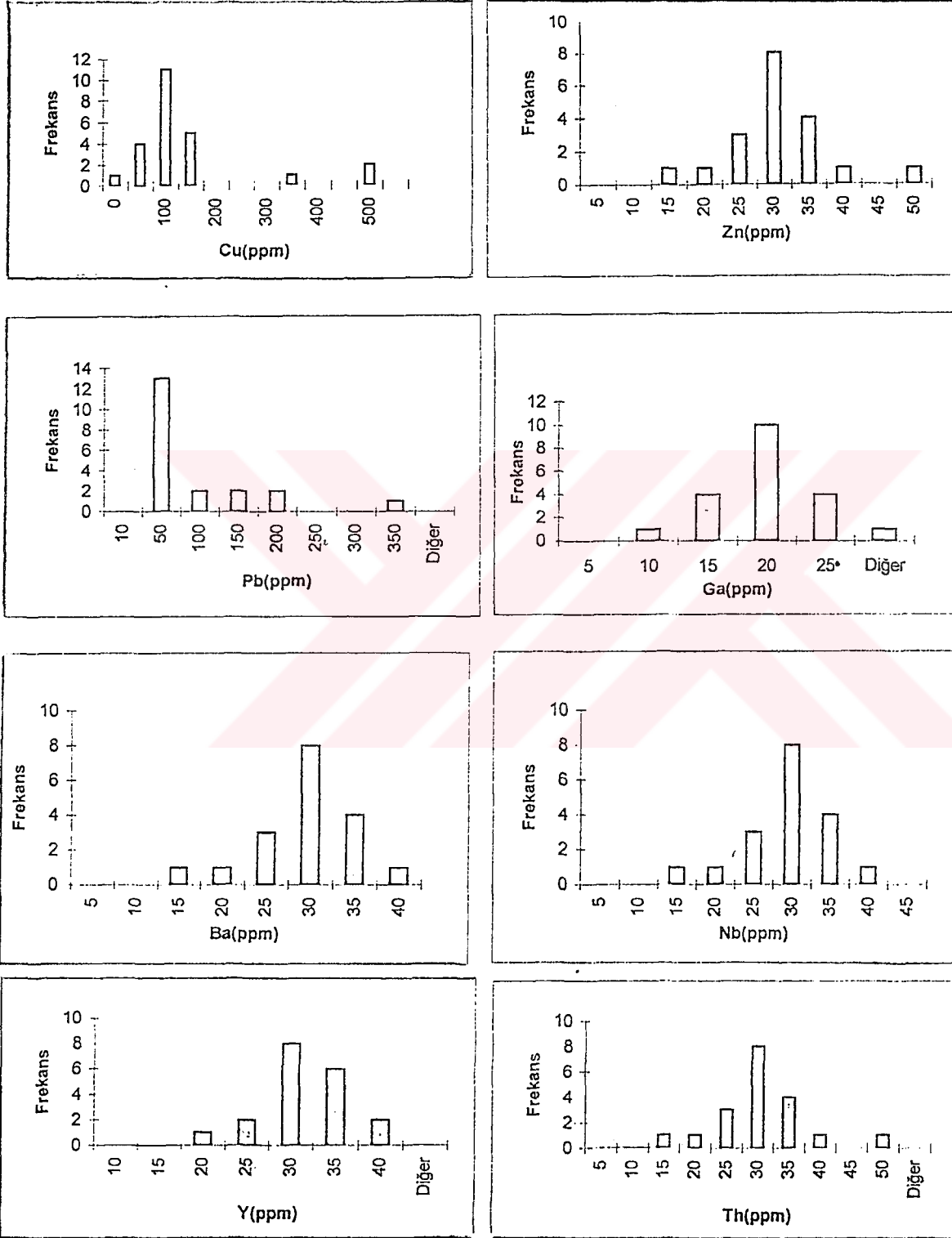


Şekil 7...3. Magmatik kayaların derinlikle değişimi ve Cu, Pb, Zn, Th, Zr ve Nb'un dağılımı.



Şekil 7.4. Cu-SiO₂, Ba-Sr, Cu-Zn, Cu-Pb, Cu-Y, Cu-Th, SiO₂-K₂O, SiO₂-Al₂O₃ arasındaki ilişkiyi gösteren diyagramlar.

İnceleme alanında , elde edilen veriler ışığında Cu, Zn, Pb, Ga, Ba, Nb, Y ve Th sıklık diyagramları çizilmiştir. Bu elementlerin normal dağılım gösterdiği tespit edilmiştir (Şekil 7.5).



Şekil 7.5 Cu, Zn, Pb, Ga, Ba, Nb, Y ve Th'a ait sıklık diyagramları.

göre değişimi görülmektedir. Cu 200 m'nin altında kuvars monzonitler içerisinde zenginleşirken, yüzeye yakın kısımlarda altere kuvars siyenitler içerisinde görülmektedir. Zr, Cu ile hemen hemen paralellik göstermektedir. Zr'un çözünürlüğü düşük olduğundan derinlerde zenginleşme olasılığı yüksektir. Zn kırık zonlarında özellikle blend halde zenginleşmektedir. Pb hemen her tür magmatik kayaç içinde görülmektedir, Th ise daha çok kuvars monzonitler içerisinde yaygındır.

Yukarıda verilen N-5 sondaj karotlarından alınan örneklerin derinlikle değişimi Şekil 7.2'de görülmektedir. Şekilden de anlaşılabileceği üzere Cu'nun, 10-250 m arasında yoğunlaştığı en yüksek konsantrasyonunun 270 m civarında olduğu görülmektedir. Pb, tamamen homojen bir dağılıma sahip olup, 250 m civarında yoğunluk göstermektedir. Zn, en yüksek değerlerini 10-100 m arasında vermektedir. Ancak her derinlikte homojen yayılımını muhafaza etmektedir. Ba, oldukça yüksek seyreden değerlerle homojen ancak 200-250 m'lerde, değerlerde gözle görülen bir azalmanın olduğu farkedilmektedir. Ga, değerlerinin yüksek olduğu aralık 10-130 m'ler arasındadır.

Pearce ve diğ.(1979) hidrotermal sıvıların taşınmasının birkaç fazda gelişme olmasının nedeninin, alkalinite ve Zr/Nb arasındaki pozitif korelasyonlardan anlaşılabileceğini ve Nb'un böyle bir hidrotermal sıvı tarafından taşınmasının ise, en son oluşan mağmanın doğal olarak Nb'ca doygunluğa erişmiş olmasına bağlı olabildiğini belirtmişlerdir. Ti, Zr, Y ve Nb içeren bir mağmanın fraksiyonel kristalleşmesi ile mağmanın bazikten ziyade daha asidik bir bileşime sahip olduğu şeklinde yorumlamışlardır.

7.2. Keban Metamorfitlerinin Jeokimyasal İncelenmesi

İnceleme alanı içerisindeki yankayaçlar yukarıda da belirtildiği gibi Keban metamorfitleri olup, üç grup altında incelenmiştir. Bunlar, rekristalize kireçtaşları, kalkıştiller ve serizit klorit şistler ile bu birimlerle yanal ve düşey geçişli tabakalı mikritik dokulu kristalize kireçtaşlarıdır.

Çalışma alanında olduğu gibi kayaç kireçtaşı ise, karbonatlar relatif olarak olaya karışabilmektedirler. Kireçtaşları sülfat çözeltilerinin gücünü yavaşlatmakta ve bakır sülfatı bakır karbonata dönüştürmektedirler. Keban Dere civarında Yarma-1 ile Yarma-2 'den alınan örneklerde yoğun malakit ve azuritin oluşum şekli, piritin yeterli çoklukta

2 'den alınan örneklerde yoğun malakit ve azuritin oluşum şekli, piritin yeterli çoklukta olmayışı ve yankayacın karbonatlı olması sebebiyle bu modelle açıklanabilir ve altta yüzey kökenli bir zenginleşme beklenebilir. Her ne kadar yoğun oksidasyon ortamlarında, yüzeysel ayrışma koşullarının neden olduğu mineraller varsa da (limonit, azurit, serizit, malakit), kuvars, barit, pirit, galen, kalkopirit, molibdenit gibi derin kökenli minerallerin varlığını da göz ardı etmemek gerekmektedir.

Bakır cevherlerinin yankayacı olarak Keban metamorfizitlerinin ana oksit ve iz element içerikleri Çizelge 7.1'de verilmiştir. Metamorfik kayalardaki bağıntı ilişkileri Çizelge 7.2'de verilmiştir. Çizelge 7.1'de görülen Pettijhon'un (1975), MgO miktarı %19,5- 21,6'nın altında ise kayacın kalsitik kökenli olduğunu belirtmiştir (Üşenmez, 1985'den).

N-12 129 m'den alınan tabakalı mikritik kireçtaşı örneğinde SiO_2 miktarının %4,31 civarında olduğu ve bu örnekte tFe_2O_3 'ün %4,58, CaO %65,31 oranında bulunmaktadır. MgO'nun %0,71 oluşu kireçtaşlarının kalsitik kökenli olduğunu göstermektedir. Cu 4ppm civarında iken Cr 15 ppm olup en yüksek değerine ulaşmıştır. Co 16 ppm civarındadır. %AK 25,86 olması H_2O ve CO_2 gibi uçuculardan kaynaklanmaktadır.

18N-5 154 m ve N-12 no'lu 156m kalkışist örneğinde SiO_2 miktarı %35,13 - %20,32 olup, Al_2O_3 miktarının magmatik kayalara göre düşük, rekristalize kireçtaşlarına göre ise yüksek değerde olduğu görülmektedir. MgO değerinin 0,51-1,79 arasında oluşu kayalarda kalsitin egemen olduğunu belirtmektedir. CaO miktarı %34,91-%45,2 civarında değişmektedir. Cr içeriği 5-7ppm'dir. Co 3-9ppm'dir. Cu ise 79ppm-125ppm civarındadır. Cu'nın yüksek konsantrasyona sahip olduğu yerlerde Pb ve Zn değerlerinde dikkat çekici zenginleşmenin olmadığı Zr ile Cu arasında ise pozitif ilişkiyi görmek mümkündür.

Mermerlerdeki krom içeriği 1,2ppm-16ppm, Ni içeriği 7,5ppm, Co içeriği 10ppm ve As içeriği ise 1ppm'dir (Wedepohl,1978). Hem rekristalize kireçtaşlarında hem de kalkışist örneklerinde Cr ve Co değerleri verilen değerlere yakındır.

Diğer tüm serizit klorit şistlerde Fe ile Co arasındaki pozitif ilişki gözlenmektedir. Rb, Ba, Sr, Zr, Y, Th değerlerinin kalkışistlerden daha yoğun olduğu, Cu'nın serizit klorit şistlerde, kalkışistler içerisindeki değerlerden daha yüksek değerler verdiği gözlenmektedir.

Çizelge 7.1.1.Keban melamorfitlelerinin ana oksit ve eser element içeriği.

Derinliği m	Örnek no	Kayacın adı	%SiO ₂	%Al ₂ O ₃	%TiO ₂	%Fe ₂ O ₃	%MnO	%MgO	%CaO	%Na ₂ O	%K ₂ O	%P ₂ O ₅	%AK	Toplam	Cr	Ni	Co	Cu	Pb	Zn	Rb	Ba	Sr	Ga	Nb	Zr	Y	Th
129	N-12	Rekristalize kçl.	4,31	1,06	0	4,58	0,3	0,71	65,31	0	0	0,03	25,9	102,2	15,0	0,0	16,0	4,0	133,0	118,0	16,0	0,0	55,0	6,0	1,0	8,0	0,0	0,0
154	18N-5	Kalk şist	35,13	4,75	0,02	0,99	0,33	0,51	34,91	0,21	4,24	0,07	20,6	101,8	5,0	0,0	3,0	78,0	16,0	41,0	61,0	496,0	145,0	9,0	1,0	51,0	9,0	9,0
	N-12	Kalk şist	20,32	5,23	0,05	2,56	0,09	1,79	45,2	0,024	3,48	0,05	20,3	99,3	7,0	0,0	9,0	125,0	22,0	51,0	68,0	66,0	788,0	9,0	8,0	101,0	8,0	11,0
23,1	3N-5	Serizit klorit şist	50,71	14,32	0,07	3,19	0,05	0,73	15,21	0,36	9,63	0,08	4,0	98,4	0,0	0,0	7,0	714,0	184,0	21,0	133,0	1441,0	306,0	13,0	15,0	145,0	23,0	13,0
253	28N-5	Serizit klorit şist	54,03	15,69	0,12	10,16	0,03	0,58	3,89	1,67	6,69	0,08	8,3	101,2	0,0	0,0	36,0	1124,0	30,0	42,0	100,0	1452,0	351,0	11,0	17,0	133,0	15,0	16,0
269	N-9	Serizit klorit şist	56,03	15,39	0,17	5,93	0,22	1,74	3,99	0,67	8,99	0,09	8,7	101,9	0,0	0,0	21,0	240,0	89,0	43,0	170,0	1826,0	469,0	15,0	25,0	195,0	29,0	21,0
Yüzey ör.	44	Serizit klorit şist	53,08	15,95	0,17	9,2	0,02	0,5	1,11	0,75	9,98	0,11	9,5	100,4	0,0	0,0	33,0	18,0	56,0	48,0	152,0	1730,0	345,0	14,0	20,0	163,0	20,0	14,0
Yüzey ör.	47	Serizit klorit şist	51,98	15,38	0,15	5,07	0,16	0,52	10,48	0,37	10,59	0,11	5,2	100,0	0,0	0,0	17,0	1273,0	89,0	86,0	203,0	1773,0	223,0	16,0	29,0	215,0	34,0	26,0
Ort.			39,1	10,3	0,1	5,2	0,1	0,9	24,2	0,5	6,1	0,1	13,9	100,7	3,9	0,0	17,9	329,1	76,0	52,0	100,0	1001,6	351,3	11,0	12,4	126,0	14,9	12,0
St.Sp.			17,9	6,2	0,1	3,2	0,1	0,6	21,9	0,5	3,6	0,0	8,0	1,3	7,4	0,0	6,9	6,7	54,7	3,2	36,4	26,1	21,5	19,0	17,4	16,3	15,4	14,7

Çizelge 7.2. Keban metamorfizminin korelasyon analiz sonuçları.

%SiO2	1																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																				</
-------	---	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	----

7.3. Mağmatik Kayaçların Jeokimyasal İncelenmesi

İnceleme konusunu oluşturan Keban Dere'nin kuzeyinde ve güneyinde bulunan mağmatik kayaçların kuvars monzonit, kuvars-siyenit, monzonit ve siyenitlerden oluştuğu belirlenmiştir.

7.3.1. Mağmatik Kayaçlarda Ana Oksit ve Eser Element Değişimi

Çizelge 7.3. Keban Dere güneyinde sondaj karot örneklerinden 10 m'de bir alınan mağmatik kayaç örneklerinin ana oksit ve iz element içerikleri görülmektedir. SiO_2 , Al_2O_3 , TiO_2 , tFe_2O_3 , MnO , MgO , CaO , Na_2O , K_2O , P_2O_5 ana oksitler ile, Cr, Ni, Co, Cu, Pb, Zn, Rb, Ba, Sr, Ga, Nb, Zr, Y, Th gibi eser elementlerin analizi yapılmıştır.

Ortalama SiO_2 değerinin %61,78 olduğu ve asidik bileşimli mağmatik kayaçları temsil ettiği görülmektedir. Tüm kayaç örneklerinde SiO_2 ile Ba arasında mükemmel ilişki görülmektedir. Ayrıca Ba'un yüksek olduğu örneklerde Sr miktarında artış olduğu görülmektedir. Mağmatik kayaçlarda genellikle alkali feldispat ve biyotitin yapısında bulunan K_2O değerlerinin ortalama %8-8,5 gibi yüksek değerlerde olması alkali feldispat minerallerinden kaynaklanmaktadır. K değerleri artan Si ile artmaktadır. Ancak asiditesi düşük fakat, K_2O değeri yüksek mağmatik kayaçlarda Cu zenginleşmeleri dikkat çekicidir. K, Rb, Sr, Pb, Zr, U, Th ve nadir toprak elementleri uyumsuz elementlerdir. Cu, Ti, Ni, V, Sc gibi uyumlu elementler kristalleşme sırasında katı fazı tercih eden elementlerdir. Mağma farklılaşmasının ilk evresinde oluşan kayaçlarda daha fazla bulunurlar. Siyenit ve monzonitlerde Cu'nın klark değeri 8ppm-11ppm arasında değişmektedir (Wedepohl,1978). İnceleme alanındaki ortalama Cu 173 ppm dir. Bu değer siyenit ve monzonitlerdeki değere göre yüksek görülmektedir.

N-5 nolu sondaj karot örneklerinden elde edilen element çiftleri arasındaki bağıntı katsayıları Çizelge 7.4.'de verilmiştir. Çizelge 7.5'de ise yüzeyden alınan magmatik kayaç örneklerinin bağıntı katsayıları görülmektedir. Bu sonuçlara göre, kayacı oluşturan SiO_2 'un Fe_2O_3 , CaO , K_2O , Co, Cu, Pb, Zn dışındaki tüm elementlerle korelasyonu pozitifdir. Al_2O_3 ile TiO_2 arasında, TiO_2 - Th, Y, Nb, Ga, Sr ve Ba arasında, Fe_2O_3 ile Co arasında, K_2O ile Y, Ba, Zn arasında pozitif korelasyonun varlığı görülmektedir. Sistematik alınan örnekler yüzey örnekleri ile karşılaştırıldığında, SiO_2 ile Zr, Nb, Ca, Sr arasında görülen ilişkinin hiç biri görülmemektedir. Çizelge 7.6'da

Al_2O_3 'ün ise Th, Zr, Ca, Sr, Ba, Zn, ile kuvvetli pozitif ilişki sunduğu görülmektedir. TiO_2 'in Cu ve Pb ile olan pozitif ilişkisi sistematik örneklerde gözlenmemektedir. Sistematik örneklerde Mn'in hiçbir bağıntıya sahip olmadığı ancak yüzey örneklerinde Mn'in Zr, Sr, Ba, Zn, Cu, Co ile pozitif bağıntı gösterdiği görülmektedir.

Zr ve Nb gibi litofil elementler genellikle kalıntı çözeltilerde zenginleşirler. Mo, Pb, Zn, Cu gibi kalkofil elementler silikat açısından zengin olan ortamlarda kendi minerallerini oluşturamaz ve hidrotermal eriyikler içerisinde zenginleşirler. Kuvars içermeleri, hidrotermal çözeltilerde önemli miktarda SiO_2 var olduğunu işaret eder. Hidrotermal çözeltiler içerisindeki metal içeriği metallerin doğrudan magmadan geldiği anlamına gelmez. Magma etrafında bulunan çökelleri ve dolaşımında bulunan yeraltı suyunu ısıtır ve çözeltiler iz element açısından zenginse sıcak yer altı sularının bunları çözdüğü ve zenginleştirdiği şeklinde düşünülebilir.

K_2O ile BaO ve K_2O ile Rb doğrusal olarak artmaktadır. Bu derişim kesintisiz bir mağmatik ayrımlaşmayı yansıtmaktadır. Mağmatik ayrımlaşmanın sonuna doğru K'a oranla Na 'un arttığı albite geçisi göstermektedir. Plajiyoklaslardaki Ca ve Sr 'un hızla azaldığı XRD sonuçlarında sık rastlanan albitle ve nadir görülen anortit miktarıyla açıklanmaktadır.

You ve diğ. (1996) hidrotermal çözeltilerdeki Li, As, Rb, Cs, Ba ve Pb'nin muntazam artan reaksiyon sıcaklıklarında B ve Be'un konsantrasyonuna ulaştığını, 350 °C'de albitleşme ve zeolitleşme ile minerallerin taşınması sonucu Pb miktarının düştüğünü, aynı sıcaklıktaki Sm, Lu, Eu, Th gibi ağır nadir toprak elementlerinin tüm hidrotermal çözeltilerde düşük konsantrasyona sahip olduğunu bunların esasen dalma-batma zonlarındaki back-ground değerlerini temsil ettiğini, La/Ba oranlarının sıcak noktalarda ve hidrotermal fraksiyonları açıklayıcı olarak kullanıldığını belirtmişlerdir. Aynı araştırmacılar, dalma zonlarında sığ derinliklerde hidrotermal çözeltiler içinde yüksek ve düşük sıcaklıklarda gelişen element konsantrasyonlarını incelemişlerdir. Buna göre, As, Ba, Cs, Pb, ve Rb'un yüksek sıcaklıklarda çözeltilerde yüksek konsantrasyona sahip olduklarını, düşük sıcaklıklarda ise Ba ve Sr'un sülfat mineraller tarafından tutulduğunu (CaSO_4 ve BaSO_4), Y'nin yüksek sıcaklıklarda oldukça hareketli olduğunu sıcaklığın düşmesiyle sülfatlar içerisinde yüksek konsantrasyona sahip olduğunu, Nb'un ise hem yüksek hem de düşük sıcaklıklarda sistemdeki bolluk oranına göre zenginleştğini belirtmişlerdir.

Çizelge 7.3. Keban magmatitlerinin ana oksit ve eser element analiz sonuçları.

Örnek no	Sondaç derinliği m	%SiO ₂	%Al ₂ O ₃	%TiO ₂	%Fe ₂ O ₃	%MnO	%MgO	%CaO	%Na ₂ O	%K ₂ O	%P ₂ O ₅	%AK	Toplam	Cr	Ni	Co	Cu	Pb	Zn	Rb	Ba	Sr	Ga	Nb	Zr	Y
1	4N-5	63,47	16,23	0,18	2,78	0,11	1,07	2,73	1,02	7,83	0,09	5,25	100,76	0	0	9	176	485	2492	182	2221	467	17	29	257	22
2	6N-5	62,02	18,41	0,26	1,24	0,03	1,74	4,24	1,7	6,58	0,09	3,76	100,07	0	0	4	127	44	51	174	2798	749	22	38	328	31
3	6-2N-5	62,54	16,14	0,19	3,04	0,16	0,85	2,46	1,22	9,15	0,09	5,19	101,03	0	0	10	257	169	52	206	2575	578	18	34	285	35
4	8N-5	60,9	16,66	0,17	2,28	0,07	1,1	3,9	0,74	11,71	0,09	3,87	101,49	0	0	7	340	26	50	194	3136	702	19	25	276	30
5	9N-5	63,85	19,09	0,25	2,72	0,06	1,31	3	1,97	4,84	0,11	4,01	101,21	0	0	9	11	87	71	141	1972	653	23	29	323	29
6	12N-5	63,26	17,73	0,21	1,04	0,05	0,79	3,13	2,99	7,91	0,11	3,07	100,29	0	0	3	183	18	47	170	2853	1024	22	37	359	31
7	15N-5	61,64	16,52	0,17	3,92	0,05	0,75	3,81	2,33	8,11	0,09	3,7	101,09	0	0	14	491	48	49	163	2436	730	19	30	264	28
8	15-2N-5	58,78	13,89	0,12	8,55	0,08	0,79	3,61	0,67	8,43	0,07	6,83	101,8	0	0	30	141	33	56	115	1581	326	13	20	157	19
9	16N-5	64,74	16,95	0,18	2,18	0,04	0,81	3,07	2,29	8,62	0,09	2,42	101,39	0	0	7	80	27	45	180	3026	903	19	31	2998	30
10	17N-5	62,48	16,66	0,18	2,75	0,14	1,65	2,9	0,87	9	0,09	4,7	101,42	0	0	9	73	133	82	195	2726	640	19	36	299	34
11	19N-5	59,13	16,39	0,16	3,8	0,14	1,14	4,64	0,81	10	0,1	4,86	101,17	0	0	13	97	41	45	183	2423	537	16	29	240	32
12	20N-5	61,58	16,22	0,14	4,23	0,09	0,82	4,27	1,37	8,24	0,09	2,92	100,42	0	0	15	45	54	65	144	2360	635	16	28	235	28
13	22N-5	65,68	18,1	0,19	0,88	0,06	0,72	3,2	2,13	9,28	0,09	1,77	101,1	0	0	2	111	20	50	195	3330	977	22	40	363	36
14	24N-5	63,93	16,95	0,2	2,05	0,04	1	2,91	1,67	9,77	0,1	2,73	101,35	0	0	7	129	23	43	207	3057	786	19	38	311	36
15	25N-5	61,41	17,51	0,18	4,24	0,06	0,69	1,73	1,41	9,61	0,09	4,71	101,64	0	0	15	42	334	74	206	2689	472	16	33	259	26
16	26N-5	60,51	16,11	0,15	6,17	0,04	0,67	0,75	0,97	9,74	0,1	5,32	100,23	0	0	22	130	118	64	179	2243	389	15	26	200	26
17	27N-5	62,29	18,45	0,19	3,01	0,04	0,75	3,36	2,25	8,24	0,11	2,92	101,61	0	0	10	26	23	39	169	2161	630	18	34	277	31
18	32N-9	62,42	18,15	0,19	0,81	0,03	0,59	2,49	1,41	11,66	0,09	2,36	100,25	0	0	2	81	48	50	259	2814	723	21	48	374	46
19	29N-9	60,68	17,48	0,2	1,27	0,09	1,43	4,09	1,07	10,47	0,13	3,32	100,23	0	0	4	224	39	47	222	2616	692	18	38	281	40
20	38N-9	61,17	17,88	0,17	3,6	0,12	1,18	2,1	0,61	10,73	0,09	2,82	100,47	0	0	12	290	175	47	227	2390	528	18	31	226	37
21	36N-12	64,05	17,3	0,22	2,01	8	1	3,26	4,83	5,09	0,11	2,96	100,91	0	0	6	45	31	54	146	2523	1360	21	45	412	30
Ort.		61,8	17,1	0,2	3,0	0,4	1,0	3,7	1,6	8,8	0,1	3,8	101,1	0,0	0,0	9,9	173,3	98,2	163,4	181,4	2516,9	673,0	18,4	32,5	403,1	30,9
St.Sp.		1,7	1,1	0,0	1,8	1,7	0,3	0,9	1,0	1,8	0,0	1,3	0,5	0,0	0,0	6,8	118,4	117,7	11,3	32,7	237,0	66,0	2,6	6,7	65,2	6,0

Çizelge 7.5. Keban magmatitlerine ait yüzey kayaa örneklerinin ana oksit ve eser element analiz sonuçları.

Örnek no	Yüzey Örn.	%SiO ₂	%Al ₂ O ₃	%TiO ₂	%Fe ₂ O ₃	%MnO	%MgO	%CaO	%Na ₂ O	%K ₂ O	%P ₂ O ₅	%AK	Toplam Cr	Ni	Co	Cu	Pb	Zn	Rb	Ba	Sr	Ga	Nb	Zr	Y	Th	
39-S6	Yüzey ör.	64,3	18,02	0,2	2,17	0,04	0,73	2,08	2,92	8,8	0,08	1,6	100,94	0	0	7	273	33	68	192	4029	1312	21	51	441	38	50
40-S6	Yüzey ör.	64,4	16,45	0,2	1,98	0,03	0,72	2,88	1,69	9,84	0,08	2,48	100,75	0	0	6	244	39	45	22	3126	1080	19	44	389	41	33
41-S1	Yüzey ör.	63,97	18,82	0,19	1,42	0,03	0,62	2,23	2,69	8,84	0,07	1,45	100,33	0	0	4	82	21	67	207	3753	1318	20	51	434	38	47
43-S1	Yüzey ör.	64,72	16,02	0,19	0,79	0,02	0,62	2,62	1,52	11,43	0,03	2,14	100,15	0	0	2	87	27	50	259	2867	784	20	49	390	46	42
45-S4	Yüzey ör.	65,6	18,64	0,16	1,43	0,03	0,65	2,07	2,7	9,29	0,08	0,39	101,04	0	0	4	78	23	58	202	4562	1486	21	47	421	40	42
Ort.		64,6	17,6	0,2	1,6	0,0	0,7	2,4	2,3	9,6	0,1	1,6	100,6	0,0	0,0	4,6	152,8	28,6	57,6	176,4	3667,4	1196,0	20,2	48,4	415,0	40,6	42,8
St.Sp.		0,6	1,1	0,2	0,5	0,7	0,1	0,4	0,6	1,1	0,0	0,8	0,4	0,0	0,0	1,9	97,1	7,4	10,2	90,1	684,1	271,9	0,8	3,0	24,4	3,3	6,5

Çizelge 7.7. Nallıziyaret Tepe N-5 sondaj karot örneklerinin K_2O -Ba-Cu içeriği.

Örnek No	% K_2O	% Ba	% Cu (ppm)	K_2O/Ba
N-5 3	9.63	0.14	714	68.78
4	7.83	0.22	176	35.59
6-1	6.58	0.28	127	23.5
6-2	9.15	0.26	257	35.19
9	4.84	0.2	11	25.47
12	7.91	0.29	183	28.25
15-1	8.11	0.24	491	33.79
15-2	8.43	0.15	141	52.68
16	8.62	0.30	80	28.73
17	9	0.27	73	33.3
19	10	0.24	97	41.66
20	8.24	0.24	45	34.3
22	9.28	0.33	111	28.12
24	9.77	0.31	129	32.56
25	9.61	0.27	42	35.59
26	9.74	0.22	130	43.42
27	8.24	0.22	26	37.45
28	6.69	0.15	1124	44.6

Pearce ve diğ. (1979), volkanik yaylarda fraksiyonel kristalleşmeye bağlı olarak Ti, Zr, Y ve Nb'un kalkalkalin ve yüksek alkalın ortamlarda yoğun olduğuna işaret etmektedirler.

Zr miktarının genelde düşük olması kabuk kökene, Nb, miktarı ise kıta kabuğunun kökenine işaret etmektedir. Y yüksek değerleri sadece levha ortası oluşan magmatik kökene işaret etmektedir. Diğer tip granitlerde ortaç değerde bulunmaktadır. K_2O miktarının fazlalığı potasyumca zengin bir kaynağın var olduğunu göstermektedir.

Kipman (1973), erken oluşan minerallerde K_2O/Ba miktarının yükseldiğini, Ba miktarının mineralin oluşum sırasında etkili olduğunu belirtmiştir.

Çizelge 7.7'de N-5 sondajından alınan 18 örneğin jeokimyasal analiz sonucuna göre, K_2O/Ba oranının 3 ve 15-2 nolu örneklerde yüksek olduğu bunun dışındaki tüm kayaların eş oluşumlu olduğu görülmektedir. Erken oluşan 3 nolu kayacın bakır içeriğinin yüksek olduğu ancak K_2O/Ba oranının 44.6 olan 28 nolu örneğin de Cu içeriğinin yüksek oluşu böyle bir genellemenin yapılamayacağını ortaya koymaktadır.

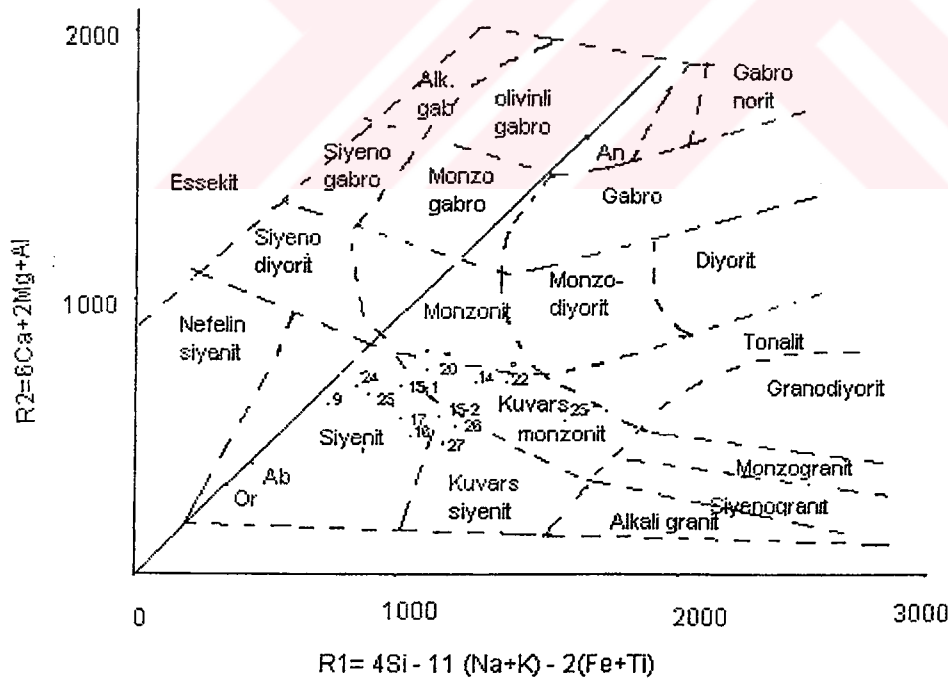
Çelebi ve diğ. (1997), Keban Mağmatitlerini temsil eden Üst Kretase–Paleosen yaşlı trakit-trakidasit bileşimli mağmatitler içinde bulunan sanidinlerin jeokimyasal incelemeleri sonucu, röntgen difraktometre analizleri incelenen alkali feldispatların sanidin olduğunu belirterek, yüksek K_2O derişiminin orta ısı derişim ortamını temsil ettiğini belirtmişlerdir.

Ancak yapılan 7 adet XRD analizi sonucunda tüm örneklerde ortoklasın yoğun olduğu az sanidine rastlandığı görülmektedir.

Kipman (1973), ani değışen denge koşullarında oluşan ortoklasların yüksek sıcaklık versiyonu olduğunu savunmaktadır.

7.3.2. Ana Elementlere Göre Mağmatik Kayaçların İsimlendirilmesi

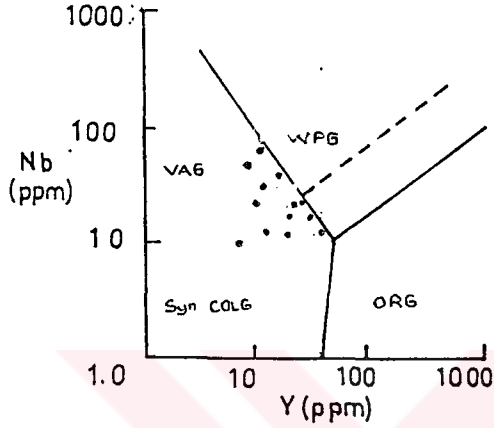
İnceleme alanından sistematik olarak alınan örneklerden ve yüzey örneklerinden yapılan XRF analiz sonuçları Şekil 7.5 'deki diyagramda değerlendirilmiştir. Buna göre mağmatik kayaçlar siyenit, kuvars siyenit, kuvars monzonit ve monzonit bileşimli mağmatik kayaçları temsil etmektedirler.



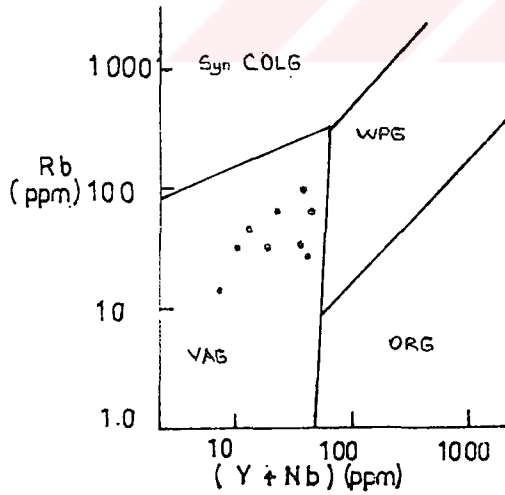
Şekil 7.6. Keban mağmatitlerinin Bas ve diğ. (1986)'nin geliştirdiği alkali silis ve alkali diyagramındaki konumları $R1=4Si-11(Na+K)-2(Fe+Ti)$, $R2=6Ca+2Mg+Al$.

7.3.3. Mağmatik Kayaçların Oluştığı Tektonik Ortamın İncelenmesi

Keban magmatitlerine ait kayaçların Y -Nb diyagramındaki dağılımları Şekil 7.7 ve 7.8'de görüldüğü gibi volkanik yay bölgesinde yoğunlaşmaktadır.



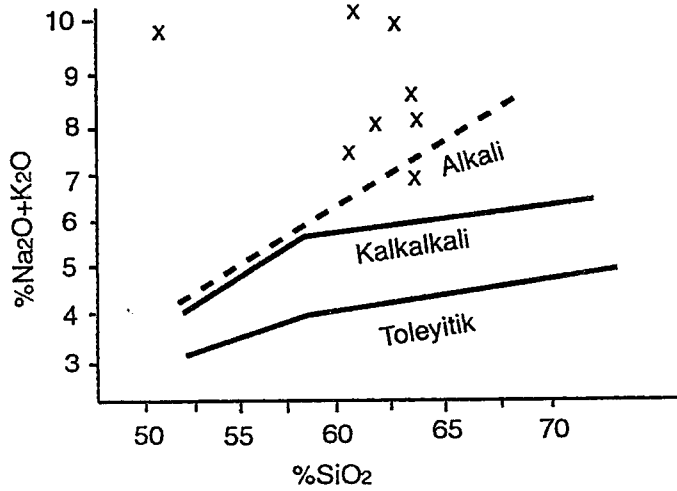
Şekil 7.7 Keban magmatitlerine ait kayaçların Pearce ve diğ.(1984) tarafından geliştirilen Nb-Y diyagramındaki dağılımları (VAG:Volkanik yay granitoidleri, ORG: Okyanus sırtı granitoidleri WPG: Levha içi granitoidleri, Syn ColG: Çarpışma granitoidleri).



Şekil 7.8. Keban magmatitlerine ait kayaçların Pearce ve diğ.(1984) tarafından geliştirilen Rb-Y+Nb diyagramındaki dağılımları (VAG:Volkanik yay granitoidleri, ORG: Okyanus sırtı granitoidleri WPG: Levha içi granitoidleri, Syn ColG: Çarpışma granitoidleri).

Volkanik yay bölgesinde oluşan granitoyitlerde K,Rb, Ba, Th (alkalin serilerde), Nb, Zr ve Y miktarlarına göre daha zengindir.

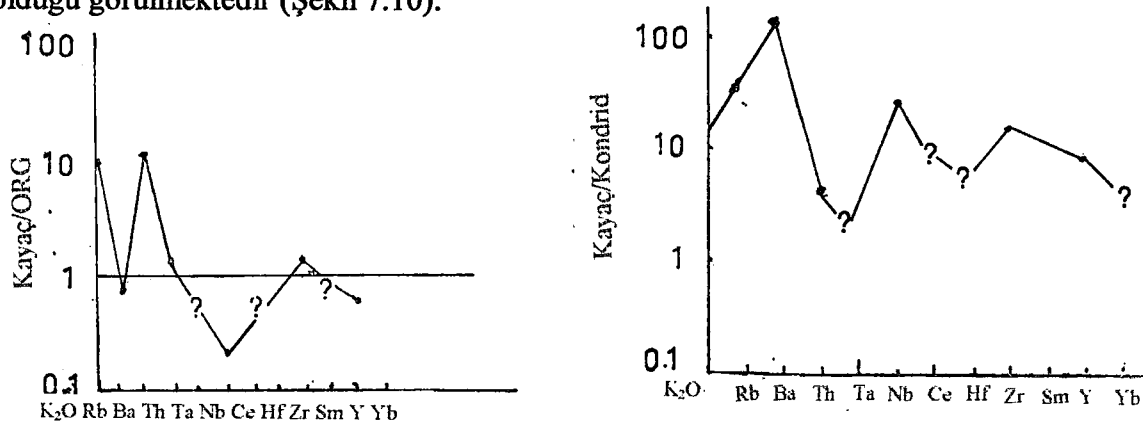
$\text{SiO}_2\text{--Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O}$ diyagramında kayaçların soy özellikleri Şekil 7.9'de belirlenmiştir . Buna göre tüm magmatik kayaç örnekleri alkali alanda yoğunlaşmıştır.



Şekil 7.9. Keban magmatitlerine ait kayaçların Kuno (1966), tarafından geliştirilmiş ALK/SiO₂ diyagramındaki konumları Erler 1984'den.

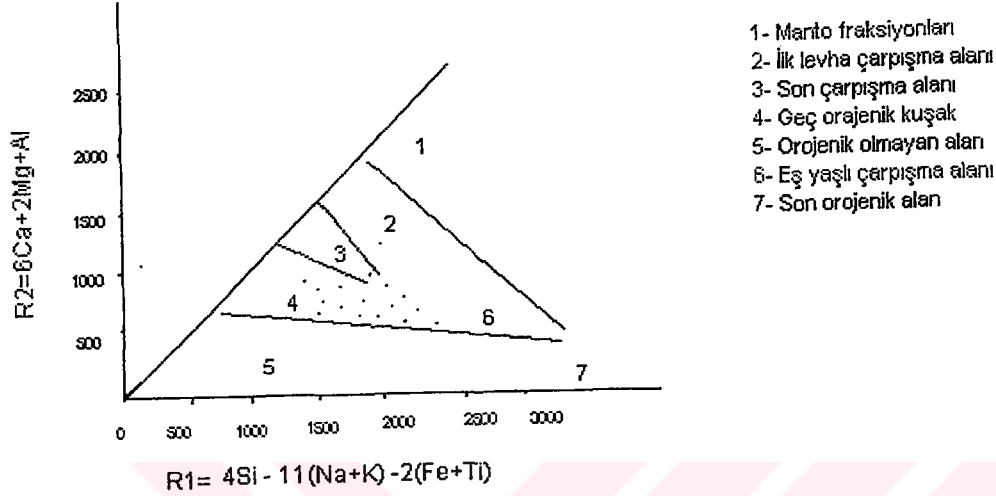
Alkali alanda yoğunlaşan magmatik kayaçların, kıtasal kabuk içine sokulum yapan siyenitik magmanın alkalilerce (Na,K) kirlenmesinden kaynaklandığı düşünülmektedir.

Tüm kayaç/ORG-eser element diyagramında 12 örneğin ortalama Rb, Ba, Th, Nb, Zr değerleri volkanik yay siyenitlerinin, Ba, Th ve Zr'un taban seviyesine göre daha fazla zenginleştiği, Nb, Rb ve Y'nin ise taban seviyesinin altında bir değere sahip olduğu görülmektedir (Şekil 7.10).



Şekil 7.10 Keban magmatitlerine ait ORG (okyanusal rift bölgelerinde), kayaç/ORG ve kayaç/kondrit ile eser element dağılımı.

Keban mağmatitleri adı altında toplanan mağmatik kayaçlar siyenit, kuvars siyenit ve kuvars monzonit ve monzonit olmak üzere dört farklı isim altında izlenmektedir. Bu kayaçların oluşum ortamları hakkında fikir edinmek amacıyla 16 örnek Şekil 7.11'de değerlendirilmiş ve inceleme alanı mağmatik kayaçlarının geç orojenik kuşak içerisinde yoğunlaştığı görülmektedir (Şekil 7.11).



Şekil 7.11 Keban mağmatitlerinin Batchelar ve Bowen (1985) tarafından geliştirilmiş; R1 ve R2 diyagramındaki dağılımı. Boztuğ ve diğ. 1977'den. R1: $(4Si - 11(Na+K) - 2(Fe+Ti))$; R2: $6Ca + 2Mg + Al$

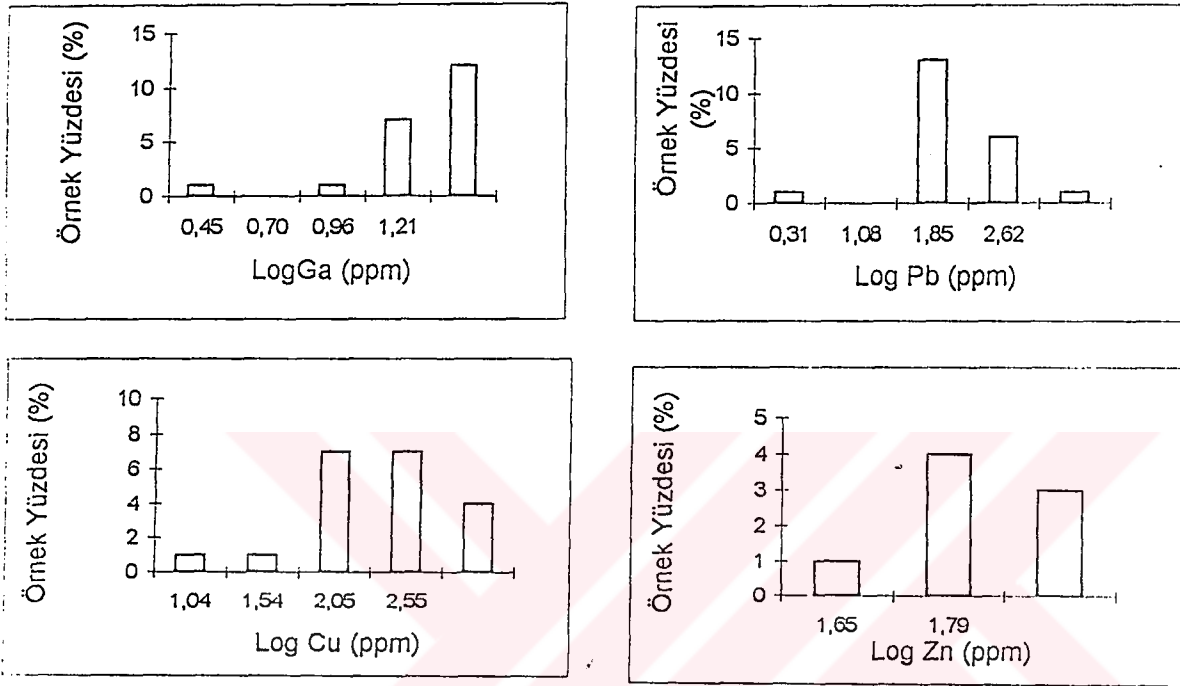
7.4. Cevherleşmelerin Jeokimyasal İncelenmesi

İnceleme alanı içinde yer alan bakır cevherleşmeleri mağmatik intrüzif kütle ile yakın ilişkili olarak zenginleşmiştir. Bu nedenle Cu ile çeşitli elementler arasındaki korelasyonlar incelenmiş ve Cu'nun zenginleşme koşulları ortaya çıkarılmaya çalışılmıştır.

Sıklık dağılımının belli özelliklerini yansıtan varyans standart sapma, yassılık, asimetri gibi parametreleri standart kaynaklarda bulunan formüllerle hesaplanarak Şekil 7.12'de Ga, Pb, Cu ve Zn'nin örnek değerleri için çizilen sıklık dağılımları görülmektedir. Bu dört elementin dağılımı sol asimetriktr.

Cevherin yatakta ağsı, damar ve saçınımlı halde bulunduğunu yansıtmaktadır. Her bir element için ayrı ayrı kümülatif dağılım eğrileri çizilmiştir. Ahrens'e (1966) göre, granitlerdeki normal Ga dağılım eğrileri 10 ppm-22ppm ve log Ga 1,04-1,52 ppm arasında olduğunu belirtmiştir. Buna göre Ga mağmatik kayaç içerisinde cevherleşmeden çok granitleşmeye bağlıdır. Kurşunun granitik kayaçlar içindeki

cevherleşmeden çok granitleşmeye bağlıdır. Kurşunun granitik kayalar içindeki dağılımı 20ppm-48ppm Ahrens'e (1954) göre, 0- 50ppm, ve log 0-2,4 arasında olup bu değerden daha fazla miktarda ise cevher olarak zenginleşme gösterir. Şekil 7.11'de log Pb 2,62 olduğundan bu miktar granitik kayaç içerisindeki normal miktardan fazla olup sola yatık bir çan eğrisi oluşturarak normal dağılım gösterir.



Şekil 7.11. Ga, Pb, Cu, Zn ye ait logaritmik sıklık diyagramları.

Köksoy ve Topçu (1976)'ya göre, Cu 30 ppm civarındadır. Bu oran log 1,04-log 2,55 ve daha yukarı değerde bulunmaktadır. Granitik kayalardaki log Cu değerlerini log 0,75-log 1,75 olduğunu, granitlerdeki değerden daha yüksek olan değerlerin ise cevherleşmeye işaret ettiğini belirtmiştir.

Zn granitlerde 60 ppm civarındadır, log 1,65- log1,93 arasında değişir. Şekil 11'de granitlerde bulunması gereken miktar kadar olup normal dağılım göstermektedir.

Ga-Al₂O₃ arasında ise pozitif korelasyon ve %SiO₂-Nb(ppm) arasında pozitif korelasyonun varlığı ve Nb'un Ca'ya oranla daha fazla miktarda bulunması fraksiyonlaşma modeliyle uyumludur .

Rb az Sr'nin fazla oluşu feldispat fraksiyonlaşmasına ters düşmektedir. Araştırmacılar fraksiyonlaşma ile oluşan granitoyitlerin Rb içeriğinin 700 ppm, Sr 'nin ise 10 ppm 'den az olduğunu belirtmektedir.

Analiz sonuçlarında Rb >170 ppm, Sr >10ppm (223-1486 ppm) olduğu, Sr miktarındaki

düşünülmektedir.

Yatağın ana cevher mineral topluluğu pirit, kalkopirit, sfalerit, molibdenit ve yüksek röliyeftli hematit minerallerinden oluşmaktadır. Manyetite rastlanmamıştır. Pirit ve kalkopirit genellikle dissemine halde bulunmaktadır. Alterasyon minerali olarak klorit, serizit ve siyenit porfirlerdeki plajiyoklasların karbonatlaşması sonucu karbonat mineralleri yoğun olarak izlenmektedir.

Çalışma alanı içinde yeralan Nallıziyaret galerisinden alınan 104 örneğin jeokimyasal analiz sonuçlarının incelenmesi sonucunda % Cu 0.03-1.6 , %Mo 0.007-0.2 içeriği görülmektedir (Balçık ve diğ. 1978). Tüm bu veriler, Einaudi (1982), tarafından çalışılan ve Çizelge 7.8'de belirtilen düşük ve yüksek sülfidasyon ortamlarının karakteristik özellikleri ile karşılaştırılmıştır (Einaudi, 1994'den).

Çizelge 7.7'de görülen özelliklerin bir kısmı inceleme alanında gerek makroskopik gerekse mikroskopik olarak benzerlik göstermektedir.

Sonuç olarak, saçınımlı pirit-kalkopirit içeren siyenitik porfirler ile kalkıştiller içerisindeki cevherleşmelerin düşük sülfidasyon ortamlarında gelişmiş olabileceği düşünülebilir. Einaudi (1982)'de yaptığı çalışmada porfiri bakır/skarnlarda düşük ve yüksek sülfidasyon karakteristiklerini belirlemiştir (Çizelge 7.8).

Çizelge 7.8. Porfirlerle ilişkili bakır yatağındaki düşük ve yüksek sülfidasyon karakteristikleri (Einaudi, 1982; Einaudi, 1994'den)

Özellik	Dissemine bakır yatağında düşük sülfidasyon	Damar tipi bakır yatağında yüksek sülfidasyon
Metaller	Mo yaygın, %Cu 0,35-1.0; 0.1 oz/t Ag; Au 0.03 oz/t; Pb-Zn-Ag nadir, ancak kçt içinde yoğun olarak görülmektedir.	Mo nadir; %Cu 2-6 ; Ag 2-4 oz/t; Au yüksek; Pb-Zn-Ag hem mağmatik hem de sedimanter kayalar içerisinde ana bileşendir.
Majör cevher min. top.	Manyetitsiz, bornit-kalkopirit, kalkopirit manyetitsiz, kalkopirit-pirit geç hematit mevcuttur.	pirit- enarjit, pirit-kovelin, pirit-bornit, lokal hematit çoktur.
Pirit oluşumu	Pirit en son oluşur.	Pirit erken oluşur.
Sfalerit oluşumu	Sfalerit yaygın değildir.	Sfalerit yaygındır ve erken oluşmuştur.
Sülfidasyon fazı yatay Zonlanması	dışa doğru düşük sülfidasyondan yüksek sülfidasyona doğru bir zonlanma görülür.	Dışa doğru yüksek sülfidasyondan düşük sülfidasyona doğru zonlanma görülmektedir.
Yankayaç kuvars ve Feldispatlı ise alterasyon mineralleri	Potassik Alterasyon (biyotit-ortoklas-anhidrit) Serizitik Alterasyon (kuvars-serizit-pirit) görülmektedir.	İlerlemiş arjilik ile periferik serizitik ve orta arjilik alterasyon görülür.
Yankayaç karbonatlı ise alterasyon mineralleri	Andradit-salit skarnlarda, klorit-kil-karbonat mineralleri görülür.	silika-pirit breşik yapı içinde görülmektedir.

8. JEOTEKTONİK EVRİM

Bir maden yatağının oluşumunu tanım olarak açıklayabilmek için cevherleşmenin zaman ve mekan içindeki dağılımının açıkça ortaya koyulması gerekmektedir. Yukarıda yapılan çalışmaların tümü bunu açıklar niteliktedir. Tüm bunların yanında bu bölümde bakır oluşuklarının kökenini açıklamaya ışık tutacak olan inceleme alanının jeotektonik evrimine kısaca değinilecektir.

Toros Orojenik Kuşağının doğusunda yer alan çalışma alanını da içerisine alan, Güneydoğu Torosların jeotektonik evrimi üzerine inceleme yapan Yılmaz (1993), Yılmaz ve diğ. (1992), Toros Orojenik Kuşağındaki tüm ofiyolitlerin Arap Platformu ile Bitlis-Pütürge-Keban-Malatya Masifleri arasında Üst Triyas'tan itibaren açılmaya başlayan ve Üst Kretaseden itibaren kuzeye doğru dalarak Alt Miyosen sonunda kıta-kıta çarpışması ile kapanması tamamlanan bir okyanusun jeolojik evrimi sonucu oluşuklarını kabul etmektedirler. Bu araştırmacılara göre Üst Kretase yaşlı Elazığ Mağmatitleri bu ofiyolitleri oluşturan okyanusun kuzeye dalımı sonucu oluşmuştur. Bingöl ve Beyarslan (1996), Neotetisin güney kolunun Arap Platformu ile Bitlis Pütürge Masifleri arasında yer aldığını ve Üst Kretaseden itibaren kuzeye doğru dalarak kapanan bu okyanusun bugünkü kalıntılarının Güneydoğu Anadolu Bindirme Kuşağındaki ofiyolitik bloğu oluşturduğunu kabul etmektedir.

Neotetisin güney kolunu Üst Triyastan itibaren Arap platformu ile Keban-Bitlis-Pütürge Masifleri arasında açılmaya başladığı bölgelerde inceleme yapan araştırmacıların birçoğu (Perinçek, 1980; Şengör, 1984; Yılmaz ve diğ, 1992, Yılmaz, 1993; Bingöl,1982;1984;1994) tarafından kabul edilmektedir. Bingöl ve Beyarslan (1996)'a göre, oluşan okyanus kabuğu Üst Kretasenin başından itibaren kuzeye doğru dalmaya başlamaktadır. Bu yitime bağlı olarak Üst Kretasede üsteki levhada yeni bir açılma (supra-subduction zonu) oluşmakta ve bu zon içerisinde bugünkü ofiyolitler meydana gelmektedir (Robertson, 1998). Güney kuzey sıkışmanın devam etmesi sonucu, supra subduction zonu üzerinde ada yayı gelişmeye başlamakta ve yay gelişimi ile Elazığ Mağmatitlerinin diyorit -tonalit grubu derinlik kayalar ve yüzey kayaları oluşmaktadır. Üst Kretase sonunda kuzeydeki Bitlis-Pütürge-Keban Masifleri adayı üzerine doğru itilmekte ve kabuğun kalınlaşmasına neden olmaktadır. Bunun sonucu olarak alttaki gabro ve piroksenitler kısmi ergimeye uğrayıp hem gabro ve diyabazları

hem de tüm yay malzemesini hem de Keban metamorfitlelerini kesen granitik mağmayı verdiği, siyenit-trakit porfirlerin bu mağmatik evrenin son ürünü olduğunu belirtmektedirler. Yazgan ve diğ. (1991), Arap platformunun pasif kıta kenarı üzerine yay mağmatizması kayaçları ile birlikte aktif kıta kenarını oluşturan Keban metamorfitlelerinin Üst Kretaseye kadar bindirdiğini, Keban-Arap mikrolevhalarının Geç Kampaniyen Erken Meastriyende yay-kıta çarpışmasının gerçekleşmiş olduğunu bu çarpışmanın erken Eosene kadar devam etmiş olduğunu aynı zamanda Keban platformunun, Baskil yay mağmatitleri tarafından metamorfizmaya uğramış sığ deniz sedimanlarından oluştuğunu belirtmiştir.

Hem kıtasal hem de okyanusal kabuk üzerinde gelişen ve yay mağmatizmasını temsil eden kalkalkali volkanik ve plutonik kayaçlar Baskil yayını oluşturmuştur. Baskil mağmatik kayaçları Koniasiyenden erken Kampaniyen yaşlı tonalitler ile granodiyorit, kuvars-monzonit, kuvars-monzodiyorit, kuvars-diyorit, monzodiyorit, diyorit ve gabrolardan yaygın olarak oluşmaktadır.

Elazığ Mağmatitleri Brivan köyünün KB'da Keban ilçesinin doğusunda Keban platformuna ait Permokarbonifer karbonat çökellerini keser. Köy yolu ile çevresindeki metamorfize olmuş Keban platformunu kesişme hattında olivin içeren gabro norit kantağında skarn kayaçları ve hornfelsleri görülür. Bunun gibi skarn kantağı Avşan köyünün GD'da bulunmuştur. Keban barajının yakınlarında Keban mermerleri ile diyorit intrüzyonu arasında oldukça geniş bir manyetit mineralizasyonuna rastlanmıştır. Yine Yazgan ve diğ. (1991)'e göre, Keban civarında Keban mermeri ile mikrosiyenit kantağında iyi bilinen gümüş kurşun mineralizasyonu oluşmuş ve radyometrik yaş tayini sanidin minerallerinin yaşını $76 \pm 2,5$ ve $78,5 \pm 2,5$ m.y (Kampaniyen) olarak verilmiştir. Baskil batoliti ile Keban mermeri anakayacı dokonağı oldukça nettir ve hiçbir yerde intrüzyon sonrası veya intrüzyon boyunca her hangi bir tektonik deformasyon görülmediğini ifade etmektedirler.

Keban platformunun güney kenarında Keban platform mermerleri ve Baskil magmatik intrüzyonları arasındaki dokanak skarn metamorfik kayaçların varlığı, Neotetis okyanus kabuğunun güney kolunun kuzeye doğru yitildiğini kanıtlamaktadır.

Keban metamorfitleleri inceleme alanı dışında Keban ilçesi doğusunda Elazığ mağmatitleri ile oluşturduğu dokanak ilişkisi de farklılıklar sunmaktadır. Permo-Triyas yaşlı Keban metamorfitleleri ile Üst Kretase yaşlı Elazığ mağmatitleri bazen tektonik

bazen de intrüzif dokanak oluşturmaktadırlar. Kırklar mahallesi 1 Km kuzeyinde KG doğrultulu olan tektonik dokanak KD'ya yönelmektedir. KG doğrultulu olan bu tektonik dokanak KD-GB doğrultulu bu kuşakta yüzeyleyen Baskil magmatik kayaçları izlenmektedir. Ayrıca Keban ilçe merkezinden geçen ve şehrin 7 Km kuzeyine doğru 5 km kadar izlenebilen Kipman (1981) tarafından bindirme fayı olarak isimlendirilen K-G doğrultulu olan mermerlerin doğudan batıya doğru bindirdiğini belirtmiştir. Buna karşılık Akgül 1993'de Keban mermerleri ile kalkıştı dokanağının tektonik olmadığını, bu uyumsuzluğun formasyon içi ekaylanma olabileceğini belirtmektedir.

Yukarıda belirlenen doğrultu değerlerinin, Keban ilçe merkezinden geçen rekristalize kireçtaşı ile kalkıştı dokanağının KB-GD doğrultusunda (Şekil 8.1) ve K-G doğrultulu Keban Bindirmesi ile Keban civarının genel tektonik yapısına uygunluğu tespit edilmiştir.



Şekil 8.1. Keban ilçe merkezinden geçen rekristalize kireçtaşı ile kalkıştı dokanağı, Nallıziyater Tepe'nin doğusu. Bakış yönü KD'ya doğrudur.

9. BAKIR CEVHERLEŞMELERİNİN KÖKENİ

Bugüne kadar yapılmış olan çalışmaların çoğunda kökene ilişkin ayrıntılı çalışmalar yapılmamıştır. Araştırmacıların bir çoğu, cevherleşmenin porfirlerle ilişki mi yada dokağın zonda mı geliştiğı konusunda ayrıntılı veriler ortaya koymamışlardır.

İnceleme alanından elde edilen veriler ışığında kökene ışık tutmak amacıyla bu çalışma yapılmıştır. Öncelikle cevherleşme ile önemli ilişkisi olduğu bilinen Keban magmatitlerinin siyenit, kuvars siyenit, monzonit ve kuvars monzonitten oluştuğı belirlenmiştir. Magmatizmaya bağılı olarak gelişmiş tansiyon kırıkları genel olarak KB-GD doğrultuludur. Bu kırıkların büyük çoğunluğu cevherlidir. Cevher içermeyen KD-GB doğrultulu genç kırıklar tarafından kesilmiştir. Cevherin yerleştiğı kırıkların cevherleşme ile aynı yaşı olduğu düşünülmektedir.

İnceleme alanında kalkopirit en önemli cevher mineralidir. Bunun yanında pirit ve yer yer molibden magmatik ve yan kayaç içerisinde saçınımlı halde bulunmaktadır. Cevher minerali Keban Dere'nin güneyinde ve kuzeyinde yoğun olarak gözlenmektedir. Keban Dere'nin 3-4 km güneyinde ise kalkopirit, pirit ve molibdenden oluşan birliğin galen ve sfalerite geçtiğı görülmektedir. Majör cevher minerali kalkopirit manyetitsiz, kalkopirit, pirit ve geç hematittir. Pirit en son oluşan mineraldir. Zira kalkopiritler piritler içinde gözlenmektedir. Bu ise piritin oluşumu sırasında kalkopiritin zaten var olduğunu işaret etmektedir. Sfalerit yaygın değildir. Sfaleritler içerisinde gözlenen kalkopiritlerin oluşum sıcaklıkları, Mizuta ve diğ. (1995)'e göre, 250°C-350°C dır. Craig ve diğ. (1981), sfaleritin demir bileşenleri ile birlikte bulunma oranı arttıkça jeotermometrik basınç azalması yanında sıcaklığın düştüğünü ve sıcaklık aralığının 300°C-550°C arasında değiştiğini belirtmektedirler.

İnceleme alanında gözlenen hidrotermal alterasyon tipleri XRD sonuçlarına ve petrografik incelemelere göre, epidot, sfen, oligoklas/albit, kuvars, biyotit ve piritin varlığını ortaya koymaktadır. Bu ise Dilles ve diğ. (1992)'e göre çizelge 4.5'de belirtilen sodik-kalsitik potasik alterasyon tipini belirtmektedir.

Yan kayaç kuvars ve feldispatlı olduğu için biyotit ve ortoklasın bulunduğu potasik alterasyon ve serizitik alterasyon (kuvars-serizit-pirit) birliğı sunmaktadır.

Erler (1981)'e göre, farklı alterasyon tiplerinin kimyasal açıdan meydana gelen farklılığın felsik pluton ile hidrotermal çözeltiler arasında farklı kimyasal denge koşullarının, farklı H^+/OH^- dengesi ile gerçekleşmiş olmasına bağlamaktadır. Bu nedenle farklı alterasyon kuşaklarındaki farklı mineral birliklerinin varlığını değişen hidrojen metasomatizması derecesine metasomatizmanın süresine, ısıya ve toplam basınca bağlı olarak değiştiğini, potassik kuşağı meydana getiren mineraller intrüzyonun merkezine ve hidrotermal çözeltilerin çıkış yerine çok yakın olduğunu belirtmektedir (Şekil 9.1).

Serizitleşmenin ise feldispatların yapısında bulunan ortoklastan ileri geldiği görülmektedir.

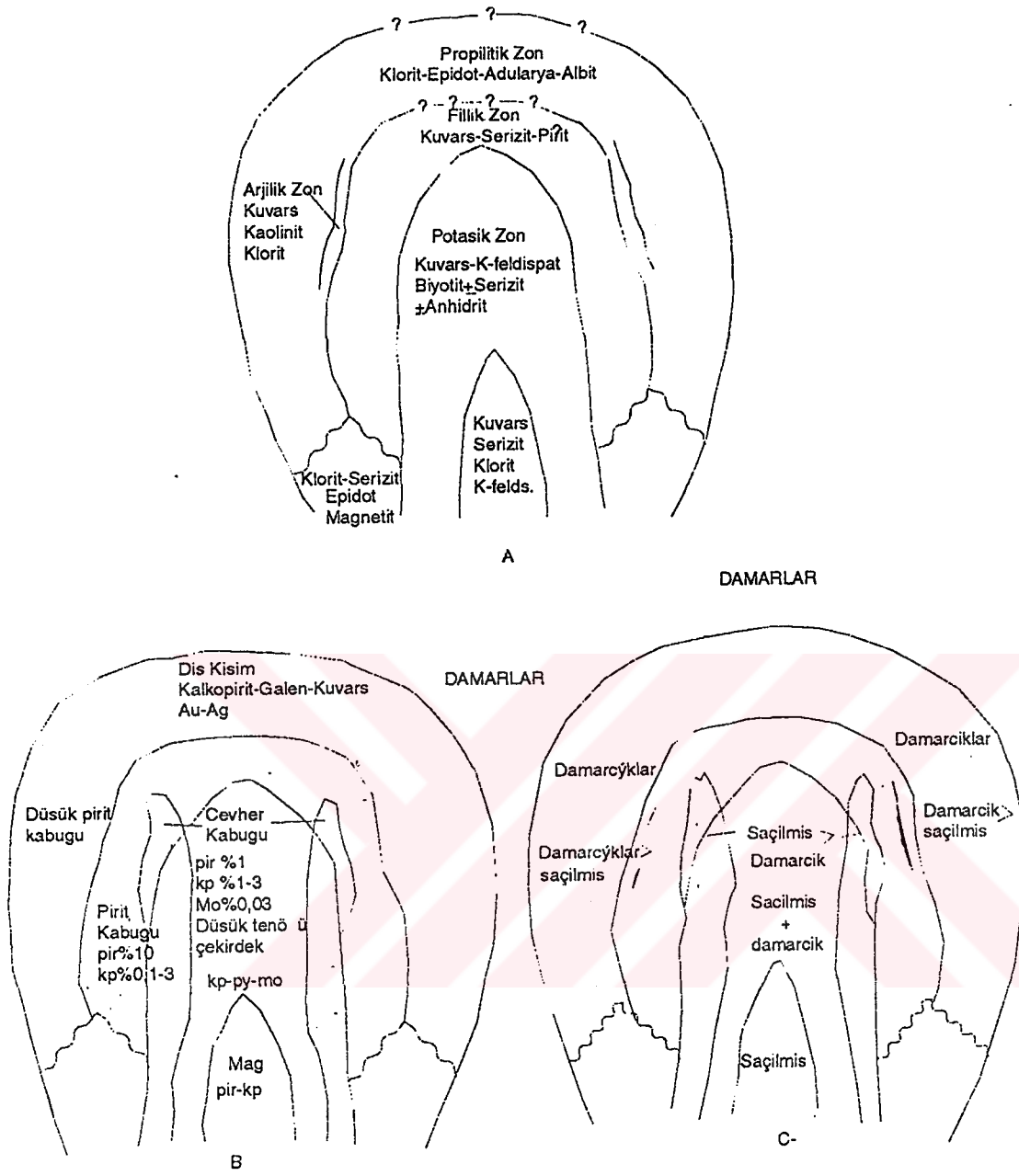


Piritin yüzey suları ile yıkanması ile oluşan sülfirik asit, feldispat ve mafik minerallerle bir araya gelerek, hidroliz hızının artmasına ve silikatların bozunmasına neden olarak ikincil alterasyon ürünü olan kaolinit, kuvars ve limonit oluşumu incelenen örneklerde sıklıkla gözlenmektedir. Böyle bir ortamda sıcaklığın çok daha yüksek olması beklenirken tektonizmanın magmatizma ile eş yaşlı oluşu ve hidrotermal çözeltilerin yüzey suları ile karışması sonucu kırıkların derinliği sıcaklığın daha düşük seviyelerde olmasını desteklemektedir.

Merkezi Keban Dere civarı olduğu düşünülen sülfidasyon fazında gözlenen yatay zonlanmanın, dışa doğru düşük sülfidasyondan yüksek sülfidasyona doğru geçişli olduğu görülmektedir. Kineş (1971), Keban Dere'den dışarıya doğru var olan yatay zonlanmanın en dış halkasını vanadinit ve deklözitin oluşturduğunu Pb, Zn, Cu'nun ise ana sülfid yatağında geliştiğini belirtmiştir. Vanadinit ve deklözitin ikincil olarak geliştiğini vurgulamıştır.

Yukarıdaki verilerin tamamı Einaudi (1994)'e göre, dissemine bir bakır yatağında düşük sülfidasyon ortamını yansıtmaktadır (Çizelge 7.7).

Skarn zonlarında gözlenen mineraller granat, diyopsit, kalsit ve epidotdan oluşmaktadır. Piroksen bileşimine göre skarnların da bakır içerebileceği bakırın hadenderjitten se diyopsitleri tercih ettiği belirtilmektedir (Kuşçu 1997; Kuşçu 1999'dan).



Şekil 9.1. Porfiri bakır yataklarında alterasyon, mineralleşme kuşakları (Erler, 1981'den).

İnceleme alanında gözlenen bir başka mineral ise wolframdır. Wolfram, magmatik intrüzif kütle ile kalkışist dokanağına yakın yerlerde ve kalkışistler içerisinde görülmektedir.

Kuşçu ve diğ. (1999), Orta Anadolu Kristalen Karmaşığında yaptığı çalışmada şelitin, yüksek sıcaklık ve sığ derinliklerde oluştuğunu belirtmektedir.

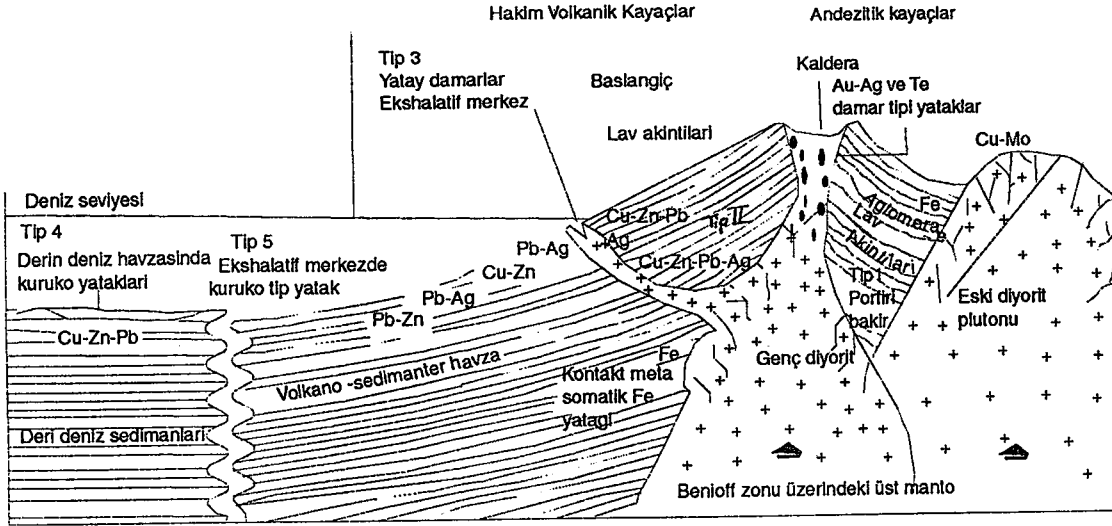
Oksidasyon zonlarının ise yaygın olarak gözlenmesinin yanısıra, nedeni cevher yatağının atmosfere olan yakınlığı oksijen ve karbondioksitin serbest veya erimiş sularla cevher mineralini ayrıştırarak çözelti halindeki ayırma ürünlerini derinlere doğru hareket ettirmesidir. İkincil olarak gelişmişlerdir. Bileşiminde kükürt bulunan ve ayrışma ile sülfat verebilen cevherlerin gözlemlendiği inceleme alanında yüzeye yakın kısımlarda sülfürler dengesizdir, oksitlenmiştir. Bu ise oksidasyon kuşağının varlığını göstermektedir. Azurit, malakit, serizit, smitsonit, limonit gibi oksitlerin gözlemlendiği inceleme alanında oksidasyon kuşağının üst seviyelerini görmek mümkündür. Derin kökenli kuşakta ise, kuvars, barit, pirit, blend, kalkopirit ve serizit gözlenmektedir. Gümüş (1979), oksidasyon zonlarında zaman faktörünün önemli olduğunu yatağın uzun süre oksidasyon etkisinde kalması ile oksidasyonun o kadar derinlere indiğini belirtmektedir.

Magmatik faaliyetlere bağlı olarak gelişen kırıklar ve ezilme zonları yüzey sularının derine inmesine neden olabilmektedir.

Doğrudan granitoyitlerden oluşan yataklar, kaynak tabakadan ikincil remobilizasyonla oluşan veya yanıl salgı yoluyla oluşan yataklardır.

150 'ye yakın sıvı kapanım incelemelerinde cevherleşme ile ilişkili olduğu düşünülen kuvars, kalsit ve floritlerin farklı hidrotermal evreleri temsil ettiği görülmektedir. Cevher mineralleri ile ilişkili kuvars kristallerindeki sıvı kapanımların oluşum sıcaklığı 300-450 °C arasında değişmektedir. Florit ve kalsitlerde bu değer 100-190 °C arasındadır. Katatermal evrede gelişen bakırlı çözeltiler daha sonra flor ve kalsiyumca zengin çözeltiler tarafından yeniden remobilizasyona uğrayarak ikinci kez zenginleşerek yüzeye kadar kırıklar boyunca taşınmıştır. Bu ikinci evre ise epitermal evreyi temsil etmektedir.

Magmatik kayalarda ana oksit ve eser element içeriğine göre kayaçların, ortağ bileşimli olduğu görülmektedir. Oluşum ortamları bakımından geç orojenik kuşak içerisinde (Şekil 7.10), Nb-Y ile Nb+Y-Rb diyagramlarında ise volkanik yay granitoyitlerini temsil ettiği görülmektedir (Şekil 7.8; Şekil 7.9). Yukarıdaki veriler ışığında bakır oluşuklarını kökeni Şekil 8.3'deki modele uygun görülerek açıklanmıştır.



Şekil 9.2. Volkanik yay bölgelerindeki cevherleşmeler (Colley,1976; Hutchison,1983'den).

Şekil 9.2'de görüldüğü gibi beş farklı tip yataklanma tipi görülmektedir. Porfirlerle ilişkili bakır zenginleşmeleri tip 1 ve tip 2 de izlenmektedir. Bu iki tip de ana volkanik kütleyle yakın yerlerde bulunmaktadır. İnceleme alanında, magmatik intrüzif kütlenin cevher getirmediği ancak cevherleşmenin oluşmasında önemli etken olduğu bilinmektedir. Kalkışistler ile serizit klorit şistler içerisinde bulunan bakırın magmatik aktivasyonla bunları remobilize ederek zenginleştirdiği düşünülmektedir. Hanelçi (1991)'e göre, Keban Dere civarında porfiri Cu-Mo, Siftil Tepe güneyinde meteorik hidrotermal Pb-Zn-Ag zenginleşmelerinin olduğu belirtilmektedir.

Ba miktarının yüksek olması, Cu, Zn, Co'nun düşük olması sedimanter kökene işaret etmektedir (Maynard, 1983). Pb-Pb/Zn uyumluluğu ve düşük Mn/Fe oranı bu savı desteklemektedir (Çelebi,1997).

Sıvı kapanım çalışmaları ile desteklenen çözeltilerin sıcaklığının 100°C-400°C arasında değiştiği ve asitik çözeltiler olduğu düşünülmektedir. Cevher içeriği bakımından birbirine benzeyen ve oluşum biçimi bakımından benzeştiği düşünülerek eldeki veriler ışığında cevherleşmelerin kökeni açıklanmaya çalışılmıştır.

10. EKONOMİK JEOLJİ

Dünyanın en büyük bakır yatakları incelendiğinde, kuzey Amerika'da Alaska'dan başlayıp güney Amerika'da Şili'ye kadar devam eden metalojenik kuşakta Cerro Colorado bakır yatağı %0,8 tenör ve 2.271.000.000 tonluk bakır- molibden rezervi ile dikkat çekicidir.

Alpin orojenik kuşağı üzerinde bulunan en büyük porfiri bakır yatakları, %0,7 tenör ve 350.000.000 tonluk rezervi ile Yugoslavya'daki Majdanpek-Bor, Veliki Krivelj yatağı, Bulgaristan'daki Medet bakır yatağı, %0,36 Cu ve %0,008 Mo ihtiva etmektedir. Özbekistan'da bulunan Almaylık (Elmalık) porfiri bakır yatağının tenörü %0,8 ve 3.000.000 tonluk rezervi ile dikkat çekici olmuştur (Doyranlı,1974).

Türkiye ise bilindiği gibi Balkan, Kafkas, İran Cu-Mo kuşağı üzerinde yer almaktadır. Bilinen bazı porfiri yatakları, Amasya ilinin Merzifon ilçesine bağlı Bakırçay ile Erzurum ilinin İspir ilçesi civarında Ulutaş ve Kırklareli Demirköy Porfiri bakır yatağıdır.

Bakırçay'da en yüksek tenör %0,25Cu ve %0,03 Mo bulunmuştur. Ulutaş porfiri bakır yatağında %0,4 Cu'a göre rezerv 20.000.000 ton ve %0,2 Cu içeriğine göre 140.000.000 ton olarak tespit edilmiştir. Kırklareli Demirköy porfiri bakır yatağı tenörü %0,3 Cu'dır.

Manuel (1991), çalışmasında Cu'nın kırık zonlarında %1,5-%0,6 arasında değiştiğini belirtmektedir. Dilles ve diğ. (1992), ise Ann Mason porfiri bakır yatağında %Cu >0,4 olduğunu yüzeye doğru Mo miktarında artış olduğuna dikkat çekmektedir.

İnceleme alanının batısında, Batı Fırat yakasında Karamağara derede %0,26 Mo içeriği ile %17,82 F tespit edilmiştir (Çelebi,1997).

Keban Derenin kuzeyinde toplam 7169 m karotlu sondaj ve 2763 m'de arama galerisi sürülmüştür. İnceleme alanında Nallıziyaret galerisinden alınan örneklerde %0,018 Mo ve % 0,16 Cu civarındadır (Balçık, 1979'dan). Nallıziyaret Tepe N-5 nolu sondaj korunmuş olduğundan sistematik örnek almaya elverişli örneklerde ise ortalama % 0,015 Cu olarak hesaplanmıştır. Bu sonuç sadece bir sondajdan alındığı için sağlıklı sonuç vermemektedir.

Keban Derenin güneyinde yarmalardan belirli aralıklarla alınan örneklerde, ortalama değer %0,45-%1,1 arasında değişmektedir (Hanelçi ve diğ. 1989).

Keban Derenin güneyinde 150 m aralıklı açılan yarmalarda yararlanılarak Muhtemel rezerv hesaplanmıştır. Porfir yoğunluğu 2,5 gr/cm³ alındığında 9.000.000 - 13.000.000 ton Au-Cu rezerv hesaplanmıştır (Hanelçi ve diğ. 1989).

Porfirlerle ilişkili bir bakır yatağının işletilmesi için gerekli olan şartlar şunlardır. İşletme açık işletme olmalı, rezerv, tenör ve işletme olanakları en az on yıllık bir madencilik süresine uygun olmalıdır. Günde en az 10.000 ton cevher üretilmesi gereklidir. Zengin ve düşük tenörlü cevherler daima karıştırılmalıdır. Zenginleştirme tesisleri yatağın yanına kurulmalıdır.

Günümüzde yüksek tenörlü ekonomik bakır yataklarının tükenmeye başlaması, tenörlerin az olmasına rağmen yeterli rezerve sahip olan bakır yataklarını önemli yapmaktadır. Ancak bu yatakları işletebilecek yeterli yatırım ve teknoloji gücüne sahip olmayışımız bir engel oluşturmaktadır.



10. SONUÇLAR VE TARTIŞMA

"Keban (Elazığ) Keban Dere bakır oluşuklarının jeolojisi, kökeni ve ekonomik önemi" konulu bu çalışmada elde edilen veriler bakır cevherleşmesinin porfiri tip bakır cevherleşmesi olduğunu ortaya koymaktadır.

Bu çalışmada inceleme alanında yüzeyleyen birimlerin birbiriyle ilişkileri incelenerek, inceleme alanının jeoloji haritası ve genelleştirilmiş stratigrafik sütun kesiti hazırlanmıştır.

İnceleme alanında yüzeyleyen birimler yaşlıdan gence doğru, Permo-Karbonifer yaşlı Keban metamorfikleri ile Üst Kretase yaşlı Keban magmatitleridir. Keban metamorfikleri sıg deniz sedimanlarından oluşurken bu birimi alkali siyenit, siyenit, kuvars siyenit, monzonit, kuvars monzonitlerden oluşan Keban magmatitleri sil ve dayklar biçiminde kesmektedir. Yerel gerilme alanına bağlı olarak maksimum düşey ana gerilme ile dike yakın kırıklar gelişmiştir. Cevher mineralleri sıvı faz içinde zenginleşmiş ve magmatik hidrotermal aktivitenin geç evresinde kırıklı yapı ile birlikte gelişmiştir. İnceleme alanında cevherleşmeye eşlik eden cevherli ve cevhersiz kırık ölçüsü alınarak, gül diyagramında değerlendirilmiştir. Keban Dere'nin kuzeyinde ve güneyinde yüzeyleyen magmatik kayaç-metamorfik kayaç dokanaklarından alınan ölçülerden kalkopirit ve pirit içeren kırıkların KB-GD doğrultulu tansiyon kırıklarında yoğunlaştığı, pirit, kalsit, florit ve molibden içeren kırıkların makaslama kırıkları boyunca geliştiği gözlenmektedir.

Kökene ilişkin önemli sonuçlar;

1- Kuvars damarlarındaki kuvarslardan ve cevherleşme ile ilişkili olduğu düşünülen kuvars, kalsit ve floritlerde yapılan sıvı kapanım incelemeleri sonucu, kuvars damarlarının oluşum sıcaklığının birincil kapanımlarda 360-380°C arasında değiştiği görülmektedir. Ortalama tuzluluk değeri %22 NaCl eşdeğeri civarındadır.

Cevherleşme ile ilişkili olduğu düşünülen kuvarslarda, oluşum sıcaklığı ortalama 489°C'dir. Cevher minerali içeren daughter mineralli kapanımlarda ise homojenleşme sıcaklığı 374°C'ye düşmektedir. Bu kuvarslarda ortalama %17NaCl eşdeğeri tuzluluk değeri saptanmıştır. Kalsitlerde yapılan sıvı kapanım incelemelerinde, birincil kapanımlarda oluşum sıcaklığı ortalama 193°C ve tuzluluk değeri %23 NaCl eşdeğeri olarak, floritlerde oluşum sıcaklığı ortalama 110°C ve %19NaCl eşdeğeri tuzluluk değeri tespit edilmiştir.

Tüm kuvarsların ve kalkopirit içeren kuvarsların katatermal evrede oluştuğu, kalsit, pirit ve floritlerin ise daha düşük sıcaklıklarda epitermal evrede zenginleştiği düşünülmektedir. Cevherin kaynağı magmatik kayaç olsaydı tuzluluğun çok yüksek olacağı ancak düşük tuzluluk ve yüksek Ba değeri cevherin yankayaç kaynaklı olduğunu göstermektedir.

2- Cevherin mikroskopik incelemelerinde enarjit ve löninjit gibi yüksek sıcaklık mineralleri bu görüşü desteklemektedir. Kineş (1971), cevherleşme oluşum sıcaklığı aralığını 265°C ile 620°C olarak belirlemiş ise de bu sıcaklığın alt sınırının floritlerde olduğu gibi 110°C üst sınırının ise kuvarslarda olduğu gibi ortalama 489°C olduğu görülmektedir.

3- Magmatik kayaçların kimyasal analizleri yapılarak kayaç adları, oluşum ortamları ve kayaçların soy özellikleri bu verilere göre saptanmıştır. Keban magmatitleri olarak isimlendirilen birim, siyenit, kuvars siyenit, monzonit ve kuvars monzonitlerden oluşmaktadır. Y-Nb ve Y+Nb-Rb diyagramlarında değerlendirilen veriler ışığında Keban magmatitlerinin volkanik yay bölgelerini temsil ettiği görülmektedir. Alkali-silis diyagramlarında ise alkali karakterli olduğu belirlenmiştir.

4- Hem petrografik kesit incelemeleri ile hem de XRD sonuçlarının değerlendirilmesi sonucu alterasyon mineral topluluğunun biyotit, epidot, kuvars, albit, kalkopirit, pirit, rutil, serizit, kalsit, klorit minerallerinin varlığı ile Dilles ve diğ. (1992)'ye göre, zayıf sodik-kalsitik potasik alterasyon tipini yansıttığı görülmektedir. İnceleme alanında alkali metazomatizma, feldispat ve kuvarsın yerini K-feldispat ile albitin alması sonucu, K-feldispat tarafından çevrelenmiş plajiyoklas çekirdeklerinin varlığı ile anlaşılmaktadır.

5- Eunaudi (1994)'e göre, dissemine bir bakır yatağında elde edilen verilerden, yatak düşük sülfidasyon ortamında gelişmiştir.

6- İnceleme konusunu oluşturan bakır yatağı volkanik yay bölgelerinde oluşan ve porfirlerle ilişkili bakır yatağı modeline uygunluk göstermiştir.

7- Nallıziyaret galerisinden alınan 52 örnekte ortalama tenör %0,16 Cu ile %0,017 Mo olarak (Balçık 1979'dan), Nallıziyaret 5 nolu sondaj karotlarından sistematik alınan 22 örnekte ise %0,017 olarak saptanmıştır.

8- Keban derenin güneyinde 150 m aralıklı açılan yarmalardan yararlanılarak muhtemel rezerv hesaplanmıştır. Porfir yoğunluğu $2,5 \text{ gr/cm}^3$ alındığında Yarma 1 ve

yarma 2'deki analiz sonuçları değerlendirilerek Au-Cu rezervi 90.000.000 ton hesaplanmıştır (Hanelçi ve diğ. 1989).

9- Yapılan tektonik incelemeler sonucu cevherli kırıkların KD-GB doğrultulu olan tansiyon kırıkları içerisinde geliştiği ve σ_1 'in düşey olması nedeniyle kırıkların magmatizmayla eş yaşı olduğu düşünülmektedir.

İnceleme alanında cevherleşmiş kısımlar, kırık düzlemleri boyunca yerleşmiş dissemine yataklardır. Yer yer kafa ve cep şeklinde yapılar gözlenmektedir. Granat, spekülurit ve az manyetit dışında skarn minerallerine rastlanmamıştır.

İncelenen bakır oluşuğunun porfirlerle ilişkili damar tipi yatağı temsil ettiği belirlenmiştir. Ancak bakırın, tenörünün düşük, rezervinin ise Keban magmatitlerinin bölgedeki dağılımı ile ilişkili olarak hidrotermal damar tipinin aksine, tektonizma ile eş yaşı kırıklar içerisinde zenginleşmesi, cevherin hem magmatik hem de yan kayaç içerisinde saçınımlı oluşu, saha gözlemleri, mineralojik ve jeokimyasal incelemeler, porfirlerle ilişkili bakır yatağı kökenine işaret etmektedir. Daha ayrıntılı çalışmalar yapılarak ekonomikliği tartışılmalıdır.

10. KAYNAKLAR

- Ahmad, S. N., ve W. A. Rose., 1980.** Fluid inclusions in porphyry and skarn ore at Santa Rita, New Mexico. *Economic Geology.*, 75, 229-250.
- Ahrens, L. H., 1954.** The lognormal distribution of the elements. *Geochim. et Cosmochim. Acta* 5. 49-79.
- Ahrens, L. H., 1966.** Elements distribution in specific igneous rocks. *VIII Geochim. et Cosmochim. Acta* 30, 109-122.
- Akgül, M., 1991.** Baskil (Elazığ) granitoidinin petrografik ve petrolojik özellikleri. *Yerbilimleri Geosound.*, 18, 67-78.
- Akgül, B., 1993.** Piran köyü (Keban) çevresindeki magmatik kayaların petrografik ve petrolojik özellikleri. Doktora Tezi. F.Ü. Fen Bil. Enstitüsü. 125.s.(yayınlanmamış).
- Akıncı, Ö., Acar, E., ve Tüfekçi, Ş., 1977.** Keban Pb-Zn madeni ön çalışma planı. MTA (yayınlanmamış). 68.s. Ankara.
- Asutay, H. J., 1988.** Baskil (Elazığ) çevresinin jeolojisi ve petrografik incelenmesi. *MTA Derg.*, 107, 38-60.
- Asutay, H.J., 1998.** Baskil (Elazığ) çevresinin jeolojisi ve Baskil magmatitlerinin petrolojisi. *MTA Derg.*, 107, 25-34.
- Balçık, A., M.Ş. Tüfekçi., M. Koyuncu., Y. Ulutürk., 1978.** Keban madeni Derebaca ve Fırat ocağı geliştirme raporu. MTA Enstitüsü Arşivi (Yayınlanmamış). Ankara.
- Balçık, A., 1979.** Keban Nallıziyaret ve Karamağara Dere (Bamaş) cevherleşmesi. MTA Enst. Arşivi (yayınlanmamış) Ankara.
- Beatty, W. D., Cunningham, C. G., Seven, A., Rye, O. R., ve Urien, G., 1986,** *Geology and Geochemistry of the Deer Trail Pb-Zn-Ag-Au-Cu Manto Deposits, Marysville District, West-Central Utah. Economic Geology.*, 81, 1932-1952.
- Berger, B. R., 1996.** Constraining structural environments during fault motion inversion: Requisite for Bonanza orebody formation, Comstock lode, Virginia, city, Nevada. *Denver'96 Meeting Abstracts. Abs No: 50360.*
- Bingöl, A. F., 1982.** Elazığ-Pertek-Kovancılar arası volkanik kayalarının petrolojisi. *F.Ü. Fen Fak. Dergisi*, 1, 9-21, Elazığ.

- Bingöl, A. F., 1984.** Geology of the Elazığ Area in the Eastern Taurus Region. In Geology of the Taurus Belt; Int. Symp. Proc. Ed. By. O. Tekeli and M. C. Göncüoğlu, 209-216. MTA.
- Bingöl, A. F., 1994.** Çermik Yöresinde (Diyarbakır, Güneydoğu Türkiye) Koçali Karmaşığına ait magma kayalarının jeokimyası ve petrolojisi. Tübitak Yerbilimleri Derg, 3,55-91.
- Bingöl, A. F., ve Beyarslan, M., 1996.** Elazığ magmatitlerinin jeokimyası ve petrolojisi. KTÜ 30. Yıl Sempozyumu Bildiri Metinleri. Trabzon. 1,208-226.
- Bodner, R. J., 1993.** Revised equation and table for determining the freezing point depression of H₂O-NaCl solution: Geochimica Acta, 57,683-684.
- Boztuğ, D., Debon, F., İnan, S., Tutkun, Z. S., Avcı, N., ve Kegin, Ö., 1997.** Comparative geochemistry of four plutons from the cretaceous – palaeogene central eastern Anatolian alkaline province (Divriği- Region Sivas, Turkey). Tr. J. of Earth Sciences. 95-115.Tubitak.
- Brown, E. P.,1996.** Fluid inclusion modelling for hydrothermal systems. In: J.P. Richards and P.B. Larson (eds.), 1996. Techniques in hydrothermal ore deposits geology. Rev. İn. Econ. Geology, 10, 151-172.
- Chiristitis, G. E., Scott, W. P., ve Marcopoulas, T., 1995.** Origin of the bentonite deposits of eastern Milo,Aegean, Greek. Geological Mineralogical and Geochemical Evidence . Clays and Clay Minerals. 43, 63-77.
- Craig, R. J., ve Vaughan, J. D., 1981.** Ore microscopy and ore petroraphy: A wiley-interseience publication. 170-175. New-York.
- Çelebi, H., Hanelçi, Ş., Seyrek, A., 1997.** Keban magmatitleri (Elazığ) sanidininin Jeokimyası.Çukurova üniv. Jeo. Müh. Eğitiminin 20. Yılı Semp.
- Çelebi, H., Seyrek, A., ve Hanelçi, Ş., 1997.** Karamağara Dere (Keban) molibdenit-florit cevherleşmelerinin jeokimyası. Çukurova Üniv. 20. Yıl Sempozyumu .
- Dilles, H.J., Solomon, C.G., Taylor, P. H., ve Einaudi, T. M.,1992.** Oxygen and hydrogen isotope characteristics of hydrothermal alteration at the Ann Mason porphyry Cupper deposits. Economic Geology. 87,44-63. Yerington, Nevada.
- Dirim, M. S., Koçak, N., Yiğit,L., Kançın, N., ve Esen,K., 1985.** Keban Fırat batı yakası Mn, Ag, Pb, Zn, Au cevherleşmesi ve 1984 yılı arama çalışmaları. Etibank Raporu, 1985/3 (yayınlanmamış). 52s.

- Doyranlı, B., 1974.** Litosferik pleyt tektonik teorisi ve porfiri bakır yatakları. Maden Müh. Odası Yayını. Özel Sayısı. Şubat 1974. XIII, 2.
- Erler, A., 1984.** Jeokimya. MTA Genel Müdürlüğü. 193-196. Ankara.
- Eunaudi, M. T., 1994.** 6-7 km. vertical cross section through porphyry copper deposits, Yerington District, Nevada. Multiple Intrusions, Fluids and Metal Sources Society of Eco. Geo. International Exchange Lecture. 1-7. USA.
- Eunaudi, T. M., 1994.** High sulfidation and low sulfidation porphyry copper/sl-karn systems: Characteristics, continua and causes. Society of Economic Geologists International Exchange Lecture. Stanford University. California, USA.
- Gökçe, A., 1994.** Maden yataklarının köken ve oluşum koşullarının araştırılmasında sıvı kapanım incelemeleri. (yayınlanmamış), 11s.
- Gökçe, A., 1995.** Maden Yatakları. Cumhuriyet Üniv. Yayını. No:59. 307s.
- Gümüş, A., 1976.** Metalik Maden Yatakları. Çağlayan Basımevi. 543s. İstanbul.
- Gümüş, A., 1995.** Maden Jeolojisi. Jeolojik prospeksiyon ve rezerv hesapları. İzmir. 400s.
- Haas, J. L., 1970.** An equation for the density of vapor saturated NaCl-H₂O solution from 75⁰-325⁰ C . An Jour. Sci., 269, 489-493.
- Hanelçi, Ş., Taşçı, İ., ve Söylemez, M., 1989.** Keban dere güneyi (Keban-Elazığ) skarn zonu cevherleşmesinin incelenmesi. Etibank Keban Maden Arama Müd. Ön Etüd Raporu. 11s.
- Hanelçi, Ş., 1991.** Zeryan Dere-Siftil Tepe (Keban-Elazığ) metalojenisinin incelenmesi. Doktora Tezi.(yayınlanmamış). 200s.
- Hanelçi, Ş., 1997.** Karamağara Dere magmatitlerinin jeokimyası ve cevherleşme ile ilişkisinin incelenmesi (Baskıda).
- Hutchison, C. S., 1983.** Economic deposits and their tectonic setting. Mac Millan Education, Houndmills and Londra. pp.31-43.
- Kineş, T., 1969.** The geology and ore mineralization of the Keban area, eastern Turkey. Doktora tezi (yayınlanmamış), IÜ, 213s.
- Kineş, T., 1971.** Vanadinit ve deklazit üzerine bir çalışma. TJK Bült. 14/2. 201-225.
- Kipman, E., 1976.** Kebanın Jeolojisi ve volkanitlerinin petrolojisi. Doçentlik Tezi. İst. Üniv. (yayınlanmamış).

- Kipman, E., 1981.** Kebanın jeolojisi ve Keban şarİYayı. İst. Üniv. Yerbilimleri Derg., 1,1-2, 75-81.
- Kipman, E., 1982.** Keban volkanitlerinin petrolojisi, İst. Üniv. Yerbilimleri Derg., 3-4, 203-230.
- Konta, T.,1986.** Textural variation and composition of bentonit derived from basaltic ash. Clays and clay minerals. 34, 257-265.
- Kovenko, V., 1941.** Keban madeni etüdü hakkında rapor. MTA Arşiv no. 1255. (yayınlanmamış). İTÜ. 113s.
- Köksoy, M., 1972.** Keban madeni civarında cevherleşme ile ilgili elementlerin dağılımları. Etibank Raporu. 983 (yayınlanmamış). Ankara.88s.
- Köksoy, A., 1975.** Keban madeni dolayındaki jeokimyasal sızıntı anomalileri. TJK Bült. 18,5-2.
- Kumbasar, I.,1964.** Keban bölgesindeki cevherleşmelerin petrografik ve metalojenik etüdü. Doktora tezi (Yayınlanmamış), İTÜ, 113s.
- Kuşçu,İ., ve Erler, A., 1999.** Orta Anadoludaki bazı skarnların sınıflanmasında piroksen bileşimlerinin kullanılması: Akçakışla ve Akdağ madeni yöresinin skarnları. TJK Bildiriler Kitabı. 10-12 mayıs. 183s. Ankara.
- Le Bas, M. J., Le Maitre, R. W., Streckeisen, A. ve Zannettin, B., 1986.** Achemical classification of volcanic rocks baed on the total Alkali-Slica diagram. Jour. of Petr., 27,745-750.
- Lovering, T. G., Cooper, R. J., Drews, H., ve Cone, G. C., 1970.** Copper in biotite from igneous rocks in southhern Arizona as an ore indicator. Geol. Survey. Research. 700-B1-B8.
- Manuel, R., 1991.** The Andacollo strata- bound gold deposit, Chile and its position in a porphyry copper-gold system. Eco. Geol. 86,1301-1316.
- Maynard, J. B., 1983.** Geochemisty of sedimentory ore deposits. Springer Verl, New York- Heidelberg- Berlin, 305s.
- Moucher. A. 1938.** Über die Erzvorkommen Keban- Maden (Turkei). Zeitschr. Für Prakt. Geol. 46/ 5:79-98.
- Nash, J. T., ve Teodore, T. G., 1971.** Ore fluids in a porphyry copper deposit at Copper Canyon, Nevada; Econ Geol. 66,385-399.
- Özgenç, A., 1993.** Ovacık-Kütahya floritleri. TJK Bült. 23.12-26.

- Öztunalı, Ö., ve Baranyı, I., 1985.** Archaometalurgische unter suchungen ni Nord-und Ostanatolien. 32 Jahrbuch des Römisch, Germanischen Zentral museums, Mainz, 597-659.
- Öztunalı, Ö., 1989.** Keban maden sahaları durum tespiti raporları. 1985-89.(yayınlanmamış). Etibank Maden Arama Müdürlüğü. Ankara. 30s.
- Perinçek, D., 1980.** Arabistan kıtası kuzeyindeki tektonik evrimin, kıta üzerinde çökelen istifteki etkileri. Türkiye Beşinci Petrol Kongresi. Nisan, 77-93s.
- Pearce , J.A., ve Norry M.J., 1979.** Petrogenetic implications of Ti, Zr, Y and Nb variations a vocanic rocks. Contibutions to Mineralogy and Petrology. Springer-Verlag. 257s.
- Pearce, J. A., 1982.** Trace element characteristic of lavas from destructive plate boundaries. In: RS Thrope (edit), Adasites, John Wiley and sons. New York pp.525-548.
- Pearce, J.A., Harris, N. B. W., ve Andrev,G.T.,1984.** Trace elements discrimination diagrams for the tectonic interpretation of granitic rock: Jour. of Petr. 25-4, 956-983.
- Pecerillo, A., ve Taylor, S. R., 1976,** Geochemistry of Eocene calc- alkaline volcanic rocks from the Kastamonu area, Northern Turkey: Contrib. Min. Petrol. 58, 63-81.
- Ramdohr, P., 1980.** The ore minerals and their intergrowths. 1-2, 1202. Berlin.
- Roedder, E., 1967.** Fluid inclusion as samples of ore fluids ; Geochemistry of Hidrothermal ore deposits ; holt Rinehart and Wiston, Inc., 515-974.
- Roedder, E., 1971.** Fluid inclusion studies on the porphyry type ore deposits at Bingham, Utah, Butte, Montana and Climax, Colorada. Econ. Geol., 66, 98-110.
- Roedder, E., 1984.** Fluid inclusions. Reviews in mineralogy, 12, Mineralogical Society of America, Washington.
- Robertson, A. H. F.,1998.** 54. Mesozoic-Tertiary tectonic evolution of the eastern most mediterranean are: Integration of marine and land evidence. Proceeding of the Ocean Drilling Prrogram, Secientific Results, 160, Edinburgh. 723-782.
- Seeliger, T. C., Pernicka, E., Wagner, G. A., Bwgemann, F., Strecker, S., Eibner, C., Öztunalı, Ö., ve Bayranlı, I., 1985.** Aachaometallurgische Untersuchungen in Nord und Ostanatolien. 32. Jahrbuch des Römisch- Germanischen Zentral- Museums, Mainz. 597-659. Mainz.

- Streckeisen, A., 1978.** Classification of igneous rocks according to composition. Amer Geol. 229-231. Fen Ed. Fak. (yayınlanmamış). 180s.
- Şengör, A. M. C., 1984.** Türkiye'nin tektonik tarihinin yapısal sınıflaması. Ketin Sempozyumu. 37-62s.
- Temur, S., 1995.** Jeolojide Veri Analizleri Ders Notları, Selçuk Ün. Müh. Mim. Fak. Yayın No:21 147s. Konya.
- Turan, M., 1984.** Baskil-Aydınlar yöresinin stratigrafisi ve tektoniği. Doktora Tezi. F.Ü. Fen Edebiyat Fak. 180s. (yayınlanmamış).
- Turan, M., Aksoy, E. ve Bingöl, A. F., 1993.** Doğu Torosların jeodinamik evriminin Elazığ civarındaki özellikleri. Hacettepe Üniv. Yerbilimlerinin 25. Yılı Simp.
- Uçurum, A., Koptagel, O., ve Larson, T.L., 1996.** Tr.J.of Earth Sciences Fluid Inclusion Study of the Tad Deresi Fluorite Deposits, Yukarı Culhalı, Akdağmadeni, Yozgat, Central East Turkey., 6, 3-13
- Uçurum, İ., 1993.** Ovacık (Tavşanlı-Kütahya) florit yatağının jeolojisi ve oluşumu. Jeoloji Müh., 5, 14-43.
- Ulutan, B., 1987.** Etibank Raporu. Etibank Matbaası, 96-98. Ankara.
- Üşenmez, Ş., 1985.** Sedimentoloji ve sedimanter kayaçlar. Gazi Üniv. Yayını. Yayın No:57, Müh. Mim. Fak. Yayın No:5, 403s.
- Yazgan, E., ve Chessex, R., 1991,** Geology and tectonic evolution of the Southeastern Taurides in the region of Malatya. TPJD. Bült., 3,1,1-41.
- Yazgan, E., 1983,** A Geotraverse between the Arabian Platform and the Munzur Nappes . Guide book for excursion V, 17pp. , Int. Symp. on the geology of the Taurus Belt., sep. 26-29, MTA . Enst. Ankara.
- Yılmaz, Y., Yiğitbaş, E., Yıldırım, M. ve Genç, Ş. C., 1992,** Güneydoğu Anadolu metamorfik masiflerinin kökeni: Türkiye 9. Petrol. Kong. , Tebliğler, 296-306.
- Yılmaz, A., Ünlü, T. ve Sayılı, S., 1992.** Keban (Elazığ) kurşun-çinko cevherleşmelerine bir yaklaşım; ön çalışma; MTA Derg. 114,47-70.
- Yılmaz, Y., 1993,** New evidence and model on the evolution of the Southeast Anatolian orogen.: Geol. Soc. of Amer. Bull. ,105,251-271.
- Yiğit, L., 1989.** Keban gümüşlü mangan cevherleşmesi. Etibank Raporu, (Yayınlanmamış), Ankara, 68s.

You, C. F., Castillo, P. R., Gieskes, J.M., Chan, L.H., ve Spivack,A.J.,1996. Trace element behavior in hydrothermal experiments: Implications for fluid pocesses at shallow depths in subduction zones. EPSL; Earth and Planetary Seience Letters 140,41-52. USA.

Zisserman, A., 1969. Geological and mining study of Keban Madeni, Elazığ/Turkey. Doktora Tezi (yayınlanmamış), BRGM, Fransa, 123s.

Wedephol, K. H., 1978, Hendbook of geochemistry. V: II-1,2,3,4,5. K. H. Wedephol (Ed). Springer Verlag, New York.

