

KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

JEOLOJİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

DOĞU PONTİDLERDE BULUNAN ALKALEN KAYAÇLARDAKİ FÖİD
MİNİRALLERİNİN KÖKENİ

DOKTORA TEZİ

Ufuk Celal YAĞCIOĞLU

TEMMUZ 2023
TRABZON



KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

JEOLOJİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

DOĞU PONTİDLERDE BULUNAN ALKALEN KAYAÇLARDAKİ FOİD
MİNERALLERİNİN KÖKENİ

Ufuk Celal YAĞCIOĞLU

Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsünce
"DOKTOR (JEOLOJİ MÜHENDİSLİĞİ)"
Unvanı Verilmesi İçin Kabul Edilen Tezdir.

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 21/06/2023

Tezin Savunma Tarihi : 20/07/2023

Tez Danışmanı : Prof. Dr. Cüneyt ŞEN

ORCID :

Trabzon 2023

ÖNSÖZ

Bu çalışma Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Jeoloji Mühendisliği Ana Bilim Dalı'nda Doktora Tezi olarak hazırlanmıştır. Tez kapsamında Kuzeydoğu Anadolu Dağ Silsilesinde bulunan ve özelinde Trabzon – Bayburt yörelerindeki foidli kayaçların içerdiği analsim minerallerinin gelişim süreçleri, deneysel yöntemler kullanarak incelemiştir. KTÜ BAP birimi tarafından FBA-2017-6964 nolu, “Orta ve Doğu Pontidlerde Bulunan Alkalen Kayaçlardaki Foid Minerallerinin Kökeni” isimli proje kapsamında bazı analitik verileri desteklenen bu çalışmanın gerçekleştirilmesindeki katkılarından ötürü Karadeniz Teknik Üniversitesine teşekkür ederim.

Çalışmalarımın başından beri maddi ve manevi desteklerini ve teşviklerini esirgemeyen, her alanda bilgi ve tecrübesini benimle paylaşan hocam Prof. Dr. Cüneyt ŞEN'e teşekkürlerimi sunarım.

Mineral kimyası analizleri için Doç. Dr. Kıymet DENİZ YAĞCIOĞLU'na (Ankara Üniversitesi), lösitli Vezüv örnekleri için Arş. Gör. Muhammet Oğuz SÜNNETCİ'ye (Karadeniz Teknik Üniversitesi), ince kesitlerin hazırlanmasında emeği geçen Mak. Müh. Murat KAYIKÇI'ya (Karadeniz Teknik Üniversitesi), SEM-EDS ve XRD çalışmaları için Doç. Dr. Murat ŞİRİN (Recep Tayyip Erdoğan Üniversitesi) ve Öğr. Gör. Dr. Fatih ÖZKALAYCI'ya (Karadeniz Teknik Üniversitesi), tüm kayaç analizlerini yapan Acme Analiz Laboratuvarı'na, mineral üretimi sürecinde Karadeniz Teknik Üniversitesi Jeoloji Mühendisliği Bölümü Jeokimya laboratuvarı cihazlarının işletme süreçlerindeki yardımlarından ötürü Öğr. Gör. Süleyman BALCI'ya (Karadeniz Teknik Üniversitesi), arazi çalışmaları ve örnek hazırlama esnasında yardımlarını ve kıymetli vakitlerini esirgemeyen stajyer öğrenci arkadaşlarıma teşekkürü borç bilirim.

Tüm hayatım boyunca her alanda maddi ve manevi desteklerini esirgemeyen, her zorlukta arkamda duran annem, babam ve kardeşlerime sevgi, minnet ve şükranlarımı sunarım.

Ufuk Celal YAĞCIOĞLU

Trabzon 2023

TEZ ETİK BEYANNAMESİ

Doktora Tezi olarak sunduğum “Doğu Pontidlerde Bulunan Alkalen Kayaçlardaki Foid Minerallerinin Kökeni” başlıklı bu çalışmayı baştan sona kadar danışmanım Prof. Dr. Cüneyt ŞEN’in sorumluluğunda tamamladığımı, örnekleri ve verileri kendim topladığımı, deneyleri ve analizleri ilgili laboratuvarlarda yaptığımı ve yaptırdığımı, başka kaynaklardan aldığım bilgileri metinde ve kaynakçada eksiksiz olarak gösterdiğimi, çalışma sürecinde bilimsel araştırma ve etik kurallara uygun olarak davrandığımı ve aksinin ortaya çıkması durumunda her türlü yasal sonucu kabul ettiğimi beyan ederim. 20/07/2023

Ufuk Celal YAĞCIOĞLU

İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ.....	III
TEZ ETİK BEYANNAMESİ.....	IV
İÇİNDEKİLER.....	V
ÖZET	VII
SUMMARY	VIII
ŞEKİLLER DİZİNİ	IX
TABLolar DİZİNİ.....	XIV
SEMBOLLER DİZİNİ	XV
1. GENEL BİLGİLER.....	1
1.1. Analsim Mineralojisi	2
1.2. Lössit Mineralojisi.....	5
1.3. Önceki Çalışmalar.....	7
1.3.1. Kuzeydoğu Anadolu Sıradağlarında Görülen Analsimli Kayaçların İncelendiği Çalışmalar	7
1.3.2. Lössit ve Analsim Kristalizasyonunun İrdelendiği Nefelin-Kalsilit- Kuars-Su Faz Diagramının Geliştirildiği Çalışmalar.....	8
1.3.3. Lössit – Analsim Dönüşümünün İrdelendiği Çalışmalar.....	9
1.4. Çalışmanın Amacı ve Kapsamı.....	11
2. YAPILAN ÇALIŞMALAR.....	12
2.1. Giriş..	12
2.2. Materyal ve Yöntem	12
2.2.1. Arazi Çalışmaları.....	12
2.2.2. Laboratuvar Çalışmaları	15
2.2.3. Laboratuvar Ortamında Sentetik Mineral Üretimi	18
2.2.4. Foid Minerallerinin Oluşum Koşullarının Deneysel Yöntemle Belirlenmesi	22
2.2.5. Büro Çalışmaları.....	25
3. BULGULAR	27
3.1. Çalışma Alanlarının Stratigrafisi ve Petrografisi.....	27
3.1.1. Bayburt (Everekhanları) Yöresi	27
3.1.2. Trabzon Yöresi	31
3.2. Foid Minerallerinin İçinde Bulunduğu Kayaçların Jeokimyası.....	38

3.2.1. Çalışma Alanından Derlenen Foidli Kayaçların Mineral Kimyası	40
3.3. Analsim Kristallerinin Morfolojileri ve Diğer Mineraller ile Olan İlişkileri.....	45
3.3.1. Bayburt (Everekhanları) Yöresi Analsimleri	45
3.3.2. Trabzon Yöresi Analsimleri	49
3.3.3. Hidrotermal Kökenli Analsim Kristallerinin Morfolojik Özellikleri	55
3.4. Doğal Lössit ve Plajyoklas Kristallerinden Analsime Dönüşüm Deneyleri	57
3.4.1. Doğal Lössit Kristallerinin Laboratuar Ortamında Analsime Dönüşüm Deneyleri	57
3.4.2. Bazık Ortamda Plajyoklastan İtibaren Analsim Döşümü.....	60
3.4.3. Asidik Ortamda Plajyoklastan İtibaren Analsim Dönüşümü	62
3.5. Deneysel Yöntemlerle Hidrotermal Koşullarda Analsim-Lössit Sentezi.....	64
3.5.1. Bazık Ortamda Analsim Sentezi	64
3.5.2. Asidik Ortamda Analsim Sentezi	68
3.5.3 Bazık Hidrotermal Ortamda Lössit Sentezi	70
3.5.4. Sentetik Lössit - Analsim Dönüşüm Deneyi.....	72
3.5.5. Bazık Ortamda Kalsit Sentezi	74
4. İRDELEME VE TARTIŞMA	77
4.1. Giriş..	77
4.2. Kuzey Doğu Anadolu Dağ Silsilesindeki Foid Minerali İçeren Kayaçlardaki Analsimlerin Kökeni	77
4.2.1. Çalışılan Volkanitlerdeki Diğer Foid Minerallerinin Kökeni	85
4.2.2. Doğal Lössit-Analsim Dönüşüm Deneyleri.....	85
4.2.3. Doğal Plajyoklas – Analsim Oluşum Deneyleri.....	89
4.2.4. Düşük Sıcaklıklarda Analsim Sentezi	91
4.2.5. Asidik Hidrotermal Ortamda Analsim Sentezi	94
4.2.6. Bazık Hidrotermal Ortamda Analsim Sentezi	97
4.2.7. Lössit Kristalizasyon Deneyleri	99
4.2.8. Sentetik Lössit – Analsim Dönüşümü Deneyleri.....	103
4.2.9. Kalsit Kristalizasyon Deneyi.....	106
4.3. Lössit Analsim Dönüşümünün Karakterizasyonu	108
5. SONUÇLAR.....	114
6. KAYNAKÇA	117
7. EKLER	125
ÖZGEÇMİŞ.....	180

ÖZET

Doktora Tezi

DOĞU PONTİDLERDE BULUNAN ALKALEN KAYAÇLARDAKİ FOİD MİNERALLERİNİN KÖKENİ

Ufuk Celal YAĞCIOĞLU

Karadeniz Teknik Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı
Danışman: Prof. Dr. Cüneyt ŞEN
2023, 124 sayfa, 50 (Ek sayfalar)

Trabzon ve Bayburt yörelerinde bulunan Eosen yaşlı alkaleen volkanik kayalarındaki analsim minerallerinin kökeni incelenmiştir. Potasyumca zengin olan volkanitlerin içerdiği özşekilli analsim kristallerinin, lösit kristallerinden itibaren oluşup oluşmadığı evvelki çalışmalardan farklı olarak, deneysel ortamlar oluşturularak irdelenmiştir. Faz geçişlerini irdelemek için kullanılan $\text{SiO}_2 - \text{NaAlSiO}_4 - \text{KAlSiO}_4$ diagramlarında doğal ortamlarda oluşmuş analsim örneklerinin $P_{\text{H}_2\text{O}}=1$ kbar basınçtan daha düşük ve 1000°C civarı sıcaklıkta oluşmuş lösitlerin dönüşüm ürünleri oldukları sonucuna varılmıştır. Hidrotermal ortamda gerçekleştirilen deneysel çalışmalar sonucunda, lösit dönüşüm ürünü analsimlerin SEM – EDS incelemeleri neticesinde difüzyon yolla oluştukları belirlenmiştir. Özellikle laboratuvar ortamında sentezlenen lösit kristallerinin üzerinde analsim nüvelenmeleri görülmesi ve tek başına analsim kristali bulunmayışı difüzyon yolla mineral dönüşümüne işaret etmektedir. Laboratuvar ortamında gerçekleştirilen lösit analsim sentezlerinin ve dönüşüm reaksiyonlarının bazik ortamlarda başarılı oluşu, doğal ortamlardaki dönüşümlerin de bazik koşullarda oluştuğunu göstermektedir. Dönüşüm sürecinin çok kısa sürede gerçekleşebilmesi ve kayaç oluşum sürecinde paleocoğrafik verilerin denizel ortamın varlığına işaret etmesi kayalarındaki doğal lösit kristallerinin bazik ve yüksek sodyum konsantrasyonuna sahip denizel ortamda analsime dönüştüğünü göstermektedir.

Anahtar Kelimeler: Trabzon, Bayburt, Analsim, Lösit, Mineral Sentezi, Hidrotermal Ortam, Difüzyon, Rekristalizasyon

SUMMARY

PhD Thesis

THE ORIGIN OF FOID MINERALS IN ALKALEN ROCKS OF THE EASTERN PONTİDES

Ufuk Celal YAĞCIOĞLU

Karadeniz Technical University

The Graduate School of Natural and Applied Sciences

Geological Engineering

Supervisor: Prof. Dr. Cüneyt ŞEN

2023,124 pages, Appendix 50 pages

The origin of foid minerals in Eocene aged alkaline volcanic rocks in Trabzon and Bayburt regions was studied. Differences from previous studies, it was investigated whether euhedral analcime crystals in potassium-rich volcanics could form from leucite crystals by creating experimental environments. On the $\text{SiO}_2 - \text{NaAlSiO}_4 - \text{KAlSiO}_4$ diagrams used to examine the phase transitions, it was concluded that analcime samples formed in natural environments were leucite transformation products at a temperature of less than 1 kbar and at a temperature of around 1000°C. As a result of the experimental studies carried out in the hydrothermal environment, it was determined that the leucite transformation product analcimes were formed by diffusion means as a result of SEM – EDS examinations. Especially the presence of analcime on the leucite crystals synthesized in the laboratory environment and the absence of a single analcime crystal indicate mineral transformation by diffusion method. The success of leucite analcime syntheses and transformation reactions carried out in the laboratory environment shows that the transformations in natural environments also occur in basic conditions, but the transformation process can take place in a very short time and the paleogeographic data point to the presence of a marine environment during the rock formation process shows that it recrystallize to analcime in the marine environment.

Key Words: Trabzon, Bayburt, Analcime, Leucite, Mineral Synthesis, Hydrothermal Environment, Diffusion, Recrystallisation

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa No

Şekil 1.1.	Hidrotermal oluşum kökenli cm ölçeğine varan analsim kristalleri.....	2
Şekil 1.2.	Düşük ve yüksek analsimin sıcaklık ve basıncın fonksiyonu olarak duraylılık alanları (Kim ve Burley, 1971b, 1980)	4
Şekil 1.3.	Siyenitik kayaktan edinilen lösit kristalinin en kesiti. Dış çeperinde renk farklılığı ve siyah renkli inklüzyonlar mevcuttur	6
Şekil 2.1.	Çalışma alanlarına ait yerbulduru haritası.....	13
Şekil 2.2.	Ana sütur zonları ve kıtasal blokları gösteren Anadolu ve çevresinin tektonik haritası (Okan ve Tüysüz, 1999).....	14
Şekil 2.3.	95 °C’de manyetik karıştırıcı sıcak tabla üzerinde buharlaştırılan 6.5 litre deniz suyundan elde edilen 186 gr tuz. Yakın görünümünde çökelen tuz kristallerinin özşekilli yapılar oluşturduğu görülmektedir.	19
Şekil 2.4.	Mineral sentezinin yapıldığı mikrodalga fırına ait teflon hidrotermal sentez odacığı. Toplam 50 ml hacminde dir.....	21
Şekil 2.5.	Asidik ve bazik çözeltiler kullanılarak sentezlenen minerallere ait hidrotermal deney ortamlarının şeması. a: analsim ve hidrosodalit oluşumları, b: lösitin analsime dönüşümü, c: natrolit oluşumu, d: florit üzerinde kalsit gelişimleri.....	22
Şekil 3.1.	Bayburt-Everekhanları yöresi jeoloji haritası (Bektaş ve Gedik, 1988).....	28
Şekil 3.2.	Bayburt-Everekhanları yöresi foidli alkaleen kayaların genel arazi görünümü (a). Kayaç içerisinde bulunan foid kristallerinin büyüklükler yarım santimetreye kadar ulaşmakla birlikte (b) bir kısmı ikizlenme (d) göstermektedir.....	29
Şekil 3.3.	Bayburt-Everekhanları yöresi analsimlerine ait ince kesit mikrofotografları. (Kal:Kalsit, Ana:Analsim, Kpir:Klinopiroksen).....	30
Şekil 3.4.	Trabzon Yöresine ait Jeolojik Harita (Güven, 1993).....	31
Şekil 3.5.	Dolaylı köyü eski ana yol güzergahında yüzeylenme veren çakılları analsim kristalleri içeren volkanik breşler.....	33
Şekil 3.6.	Trabzon – Ortahisar bölgesinden derlenen volkanik breş ve çakıllarından alınan ince kesit görüntüleri (Ana: analsim, Kpir:klinopiroksen, Zeo:Zeolit).....	34
Şekil 3.7.	Trabzon-Ortahisar (Akoluk) mevkiindeki taş ocağında yüzeylenme veren, karbonatlı sedimanter istif (b) ile aglomeralar (c) arasına yerleşmiş, üst kısımları nispeten homojen (d), alt kısımlarında (e,f) ise iri flogopit (g) ve istavroz ikizi gösteren amfiboller (h,i) fenokristalleri içeren tefrit bileşimli sil (a).....	36

Şekil 3.8.	Sarraftepe siline ait ince kesit görüntüleri. İzotrop özellik gösteren öz ve yarıöz şekilli analsim (Ana) kristalleri birinci sıranın koyu gri tonlarını göstermektedir (a,b). Klinopiroksen (Kpir) kristalleri bazı durumlarda zonlanma göstermekte ve orta kesimlerinde elek dokusu görülmektedir (c,d). Silin üst kısımlarından alınan örneklerde zeolit (Zeo) mineralleri ile doldurulmuş elipsoidal boşluklar bulunmaktadır (c,d,e,f).....	37
Şekil 3.9.	Çalışma alanındaki kimyasal analizi yapılan kayaçların SiO ₂ 'ye karşı Na ₂ O+K ₂ O diyagramı (Le Maitre vd., 2002; Alkalen-Subalkalen ayırım çizgisi Irvine ve Baragar (1971)'den alınmıştır). Taralı alan Kuzeydoğu Anadolu Eosen birimlerinin kimyasal bileşimini göstermektedir (Aydın, F. 2003; Yücel C., 2013).....	38
Şekil 3.10.	SiO ₂ – K ₂ O arası ilişkiyi gösteren diagrama göre çalışma alanlarından derlenen kayaçların şoşonitik karakterli olduğu belirlenmiştir.....	40
Şekil 3.11.	Anasim ve apatit kristalleri içeren klinopiroksen minerali (BSE)... ..	42
Şekil 3.12.	Trabzon yöresi kayaçlarında piroksen üzerine tutunan analsim kristalleri (BSE görüntüsü)	42
Şekil 3.13.	Bayburt yöresi kayaçlarındaki analsim kristalinin BSE görüntüsü..	44
Şekil 3.14.	Bayburt bölgesindeki volkanik kayaçlardan derlenen analsim kristallerinin makroskopik morfolojileri. Analsim kristallerinin tipik trapezohedron şekli belirgindir (b) bununla birlikte ikizlenme gösteren analsim kristalleri de bulunmaktadır (a). Bazı analsim kristallerinin en kesitlerinin incelemelerinde dıştan içe doğru konsantrik halkaların olduğu görülmektedir (c). Yapılarında koyu renkli kapanımlar ve kristal yüzeylerinde çatlak hatları mevcuttur. (Ölçekler mikrometre cinsindendir.).....	46
Şekil 3.15.	Bayburt bölgesi analsimlerinden hazırlanan bir örneğe ait EDS profil çekimleri.....	47
Şekil 3.16.	Trapezohedron yarı özşeklini belirgin bir şekilde gösteren analsim kristalinin (a) SEM görüntülerinde kristal yüzeyinde çoğunlukla karbonat ve son evrede kil bantları ile doldurulmuş kırık – çatlak hatları görülmektedir (b, c, d).....	49
Şekil 3.17.	Trabzon bölgesi foid minerali içeren kayaçlardan elde edilen analsim kristalleri. Kristallerin üzerinde oluşan kırık ve çatlakların içerisi boştur (a) ve kristaller ikizlenme göstermektedir (c). Analsim kristallerine has trapezohedron kristal şekli belirgindir (a) ve kristal yüzeylerinde gözlemlenen boşluklar kristal büyümesi esnasında tamamlanamamış kristal boşluklarına benzer şekilde geometrik yapılar sunmaktadır (b, c).....	51
Şekil 3.18.	Trabzon bölgesinden elde edilen analsim kristaline ait SEM-EDS (a) ve tüm kayaçtan itibaren zenginleştirilmiş analsim X ışını difraktogram (b) çekimi.....	52

Şekil 3.19. Trabzon bölgesinde bulunan klinopiroksen kristalleri üzerinde gelişmiş trapezohedron analsim kristalleri. Ölçekler mikrometre cinsindendir.....	53
Şekil 3.20. Klinopiroksen fenokirstalleri üzerinde gelişen analsimlerin SEM görüntüleri. Öz şekilli Trapezohedron yapıda olan kristallerin (a,b) yakın plan çekimlerinde yüzeylerinde boşluklu yapılar gözlenmektedir (c). EDS çekimleri ile kristallerin analsim (d) ve klinopiroksen (e) oldukları belirlenmiştir.....	54
Şekil 3.21. Trabzon bölgesinde çalışma alanında volkanik kayaların kırık ve boşluklarından derlenen hidrotermal kökenli analsim kristallerinin yüzey görüntüleri.	56
Şekil 3.22. Vezüv'den alınan örneğe ait ince kesit fotoğrafları.....	57
Şekil 3.23. Parlatılmış tefrit örneğinin BSE görüntüsü (a). 150 C'de 10 saat boyunca 7 bar basınç altında 2 M NaOH ile muamele edilen tefritik kayaç içerisindeki öz ve yarı öz şekilli lösit kristallerinden itibaren dönüşen analsim kristallerinin SEM görüntüleri (b,c) ve EDS spektrumu (d).....	59
Şekil 3.24. Deneylerde kullanılan plajyoklasa ait X-ışınları difraktogramı (a). Bazik ortamda plajyoklastan itibaren sentetik mineral üretimi. b: deney sonrası elde edilen kalsit, amorf çökel ve deneye giren plajyoklas kalıntılarını gösteren ait x ışını difraktogramı, c: deney sonrası plajyoklaslar üzerinde gelişen nodüler amorf oluşumların SEM görüntüsü, d: amorf oluşumların SEM-EDS analizi.....	61
Şekil 3.25. Asidik ortamda deney sonrası, plajyoklastan itibaren oluşan amorf silika çökellerinin SEM görünümü (a, b). Amorf silika çökellerinin SEM-EDS analizi (c).....	63
Şekil 3.26. Bazik hidrotermal ortamda 200 °C ve 22 bar basınç altında sentezlenen analsim kristalleri.....	65
Şekil 3.27. Bazik hidrotermal ortamda 175 °C sıcaklık ve 7 bar basınç altında sentezlenen hidrosodalit kristalinin yüksek sıcaklık ve daha uzun sürede analsim kristallerine dönüşümü.....	66
Şekil 3.28. Bazik hidrotermal ortama yerleştirilen klinopiroksen kristalinin üzerine tutunmuş analsim nüvesi.....	67
Şekil 3.29. Bazik hidrotermal ortamda sentezlenen natrolit kristallerine ait SEM görüntüsü (a) ve EDS çekimi (b). Kristallerin ilk nüve hali görülmektedir.....	69
Şekil 3.30. Bazik hidrotermal ortamda sentezlenen natrolit kristallerine ait X-ışınları difraktogramı.....	70
Şekil 3.31. Bazik hidrotermal ortamda kristallenen pseudolösit kristaline ait SEM-EDS ve x-ışınları difraktogramı.....	71
Şekil 3.32. Yarı öz şekilli ve öz şekilsiz sentetik lösit kristallerinin NaOH hidrotermal ortamındaki dönüşümü sonucu oluşan lösit - analsim birliktelikleri (a,b,c) ve eds spektrumu (d).....	73

Şekil 3.33. Florit minerali üzerinde büyütülmüş öz şekilli kalsit kristalleri.....	75
Şekil 3.34. Hidrotermal ortamda sentezlenen kristallere ait X ışını difraksiyonları. a; Asidik ortamda analsim+natrolit birlikteliği, b; Bazik ortamda sentezlenen sodalit c; Bazik ortamda sentezlenen analsim kristali. d; Bazik ortamda sentezlenen analsim kristali. Bu örnek kabına klinopiroksen eklenmiştir. e; Bazik ortamda sentezlenen analsim ve sodalit birlikteliği, f; Bazik ortamda sentezlenen analsim. (Her örneğin oluşumundaki ortamsal şartları difraktogramlar üzerine yazılıdır. Sentezlenen bazı örneklerin miktarı az olduğu için XRD örnek tutucusunda referans altlık olarak kalsit kullanılmıştır.).....	77
Şekil 4.1. 1 atm basınç altında Nefelin-Kalsilit-Kuvars mineral faz ilişkileri (Henderson, 1984).....	79
Şekil 4.2. Nefelin-Kalsilit-Kuvars-H ₂ O sisteminde kristal faz ilişkileri (Henderson, 1984).....	80
Şekil 4.3. 5 Kbar PH ₂ O basınç altında Nefelin-Kalsilit-Kuvars sistemindeki kristal faz geçişleri (Henderson, 1984).....	81
Şekil 4.4. Nefelin-Kalsilit-Kuvars-H ₂ O sisteminin 5 kbar PH ₂ O şartı altında sodyumca zengin bölgesinin sıcaklık faz geçişi. Sarı taralı alan analsimin olduğu bölgedir. Anl:Analsim, L:silikat ergiyiği, V: Uçucu (Schair, 1959; Morse, 1969; Henderson, 1984).....	82
Şekil 4.5. Nefelin-Kalsilit-Kuvars-H ₂ O sisteminin sodyumca zengin bölgesinin 5 kbar basınç altında ve 600 OC sıcaklık koşulundaki Analsim (Anl), Nefelin (Ne), K-Feldspat (Kf), Albit (Ab), Uçucu (V) birliktelikleri (Morse, 1969; Henderson, 1984).....	82
Şekil 4.6. 150 C’de 10 saat sürede NaOH ile oluşturulan bazik ortamda lösitten itibaren dönüşen analsim kristalinin poröz ve mısır patlağı şeklinde görülen kristal yüzeyi.....	87
Şekil 4.7. Zamana karşı analsim kristalizasyon (%) oranı. Rietvelt metoduyla veri noktalarının birleştirilmesiyle hesaplanan eğri değerleri için hata oranı %±2’dir (Putnis, 2007).....	88
Şekil 4.8. Kayaç hamuru üzerinde analsime dönüşen lösit kristalinin üç boyutlu muhtemel görünümü.....	89
Şekil 4.9. Hidrotermal ortamda NaOH ile muamele edilen plajyoklas kristalinden itibaren analsim ve silika çökeli oluşumu.....	91
Şekil 4.10. Analsim, jadeit, albit, kuvars ve H ₂ O’ya ait sabit faz geçiş noktalarına ait sıcaklık ve basınç diagramı ile bu çalışmadaki bazı deneylere ait faz geçişleri (Liou, 1971, Spear, 1992).....	93
Şekil 4.11. Na ⁺ kaynağı olarak sodyum bikarbonat kullanılan HCL ile oluşturulmuş asidik ortamda oluşan artık amorf silikanın çökeli, iğnemsî natrolit kristali ve sodalitten itibaren dönüşmüş analsim kristali.....	96
Şekil 4.12. 150 °C sıcaklıkta kristallenen hidrosodalit kristali, iç içe geçmiş plakaların oktaeder yapı oluşturmaya çalıştığı kristal formu.....	97

Şekil 4.13. 200 °C’de gelişimini tamamlamış analsim kristali (a), 175 °C de oktaeder formunu nispeten tamamlamış analsim kristali (b) ile 150 °C’de hidrosodalit nüveleri ile büyümeye devam eden analsim kristali (c).....	98
Şekil 4.14. Sentetik lösit üretiminde oluşan öncül kristaller. a: bu çalışmada sentezlenen kristaller, b: Kohoutkova vd., 2008 tarafından sentezlenen tetragonal öncül lösit kristalleri.....	101
Şekil 4.15. 5 saatte 175 °C ve 22 bar basınç altında nüvelenmiş öncül lösit kristalleri.....	102
Şekil 4.16. Sentetik lösit-analsim dönüşüm ürünlerinin tetragonal öncül kristal oluşumları.....	104
Şekil 4.17. KOH ile oluşturulan bazik ortamda sentezlenen lösit kristallerinin 150 °C’de 10 saatte 7 bar basınç altında analsime dönüşümleri (L-A: lösit – analsim).....	105
Şekil 4.18. 150 °C’de 5 saatte ortalama 7 bar basınç altında oluşturulan florit üzerinde büyütülmüş rombusal kristal formu belirgin sentetik kalsit kristalleri.....	107
Şekil 4.19. Doğal lösit kristallerine ait yüzey görünümü.....	110
Şekil 4.20. Teorik pH değeri 11 olan NaOH ile oluşturulan hidrotermal ortamda lösitten itibaren anlsime dönüşüm.....	111
Şekil 4.21. Tetragonal sistemde kristallenen sentetik lösit kristallerinin üzerinde gelişmiş analsim nüveleri	112
Şekil 4.22. Lösitten itibaren dönüşüm sürecinde ve hidrotermal süreçte oluşan analsim kristallerinin oluşum model	113

TABLÖLAR DİZİNİ

	<u>Sayfa No</u>
Tablo 3.1. Çalışma alanlarından alınan örneklerin bazılarına ait tüm kayaç analizleri.....	39
Tablo 3.2. Trabzon yöresi kayaçlarındaki bazı analsimlere ait EPMA analizleri.....	41
Tablo 3.3. Resim 3.15.'deki piroksen kristaline ait mineral analiz profili.....	43
Tablo 3.4. Bayburt yöresi kayaçlarına ait bir analsim kristaline ait mineral analiz profili.....	45
Tablo 3.5. Vezüvden alınan el örneğindeki lösit kristallerinin mineral kimyaları.....	58
Tablo 4.2. 25 °C – 300 °C arası sıcaklıklarda gerçekleştirilen teorik deneylerde amorf silis, su, analsim ve natrolit için geçerli Gibbs free enerji (G), Entropi (H) ve Entalpi (S) değerleri (Robie ve Waldbaum, 1968).....	92
Tablo 4.3. 25 °C – 300 °C arası sıcaklıklarda gerçekleştirilen teorik deneylerde analsim ve natrolit için hesaplanan joule cinsinden gibbs free enerji değerleri. Ana: Analsim, Nat: Natrolit, Ab: Albit.....	92

SEMBOLLER DİZİNİ

AI	: Alterasyon indeksi
AK	: Ateşte kayıp
Ana	: Analsim
Aq	: Aqua
Bio	: Biyotit
ÇN	: Çapraz Nikol
Dla	: Deteksiyon limiti altı
Dlm	: Dolomit
DTA	: Diferansiyel Termal Analiz
EDS	: Enerji Dağılımlı X-ışınları Spektrometresi
EMPA	: Elektron Mikroprob Analizi
Kal	: Kalsit
Kbar	: Kilobar
Kpir	: Klinopiroksen
Kuv	: Kuvars
Leu	: Lössit
My	: Milyon yıl
Nat	: Natrolit
N-OOSB	: Normal Okyanus Ortası Sırt Bazaltı
Plj	: Plajiyoklas
ppm	: milyonda bir
R	: Katyon
Sn	: Saniye
Tdm	: Tridimit
TN	: Tek Nikol
SEM	: Taramalı Elektron Mikroskobu
XRD	: X Işınları Difraksiyonu

1. GENEL BİLGİLER

Analsimler, kristalografik yapısının lösit ile benzerlik göstermesi sebebiyle bazı araştırmacılar tarafından feldspatoid grubuna ait bir mineral olarak tanımlansa da kristal yapılarında moleküler su ihtiva ettikleri için ($\text{NaAlSi}_2\text{O}_6 \cdot \text{H}_2\text{O}$) için çoğu araştırmacı tarafından zeolit grubuna dâhil edilen tektosilikat grubu minerallerdir.

Feldspatoidler lösit-analsim, nefelin-kalsilit ve kankrinit-sodalit olmak üzere üç ana gruba ayrılır. Lösit-Analsim grubu feldspatoid mineralleri silisçe fakir siyenit, fonolit gibi plütonik ve tefrit, bazanit gibi alkali volkanik kayalarda bulunur. Lösit potasyum içerdiğinden kararsızdır ve yavaş soğuma esnasında potasyum feldspat ve/veya nefelin, analsim gibi feldspatoidlere dönüşebilir (Merlino, 1983; Welch, 2005). Kayaç oluşumunu takip eden sürede alterasyon süreciyle birlikte lösitin analsime dönüşmesi süreci bu çalışmanın esas konusunu oluşturmaktadır. Nefelin-Kalsilit grubu feldspatoidler çoğunlukla siyenit, fonolit gibi silisyumca fakir magmatik kayalarda kayaç yapıcı ana bileşen olarak bulunmakla birlikte nadiren de olsa nefelin, metazomatize sedimanter kayalarda bir alterasyon ürünü olarak da ortaya çıkabilir.

Silisyum ve alüminyum magmatik kayaç oluşumunda en önemli bileşenlerin başında gelir. Bu nedenle magmatik kayaçların kimyasal tanımları için öncelikle silis bazlı kriterler esas alınmaktadır. Çalışma alanlarında analsim minerallerini içeren kayaçlar silisçe fakir özelliklerde olmakla birlikte modal mineralojik bileşimleri sebebiyle kimyasal olarak alüminyum ve alkali katyon dengesi ile ayrılmaktadırlar. Feldspatoid minerallerince farklılaşan bu tür kayaçlar için silikat ergiliğinin katılaşması esnasında silis MgO ile birleşerek sırasıyla olivin, piroksen gibi mineralleri oluşturur. Mineral formülasyonlarında da görülebileceği üzere olivin için Mg/Si 2/1 iken piroksenler için bu oran 1/1'dir. Bu oransal değerlerden hareketle kayaçta yeterince silis olmaması durumunda fazlaca olivin oluşumu görülmektedir sonucu çıkarılabilir. Benzer şekilde Nefelin – Albit eşitliği için çalışma alanındaki kayaçlar özelinde irdelendiğinde, ortamda fazlaca silis olması durumunda nefelin albite dönüşecektir. Bahsedilen denge reaksiyonları bu tür kayaçlarda doğrudan fraksiyonel kristallenme esnasında kuvars oluşumu olmamasını açıklamaktadır (Erkan, 2006; Gill, 2010). Çalışma alanındaki kayaçların kimyasal olarak bir diğer farklılığı da yüksek potasyum içeriğine sahip şösonitik olarak sınıflandırılmasıdır.

1.1. Analsim Mineralojisi

Zeolit grubuna ait bir mineral olarak değerlendirildiğinde analsim alt grubu adı altında, sodyumca zengin analsim, kalsiyumca zengin vayrakit ve sezyumca zengin pollusit uç üyesi vardır. Moleküler su ihtiva ettiği durumlarda çoğunlukla berrak şeffaf ve/veya beyaz renklidir (Şekil 1.1). Analsim minerali Deer vd. (2004) tarafından $[\text{Na}_{16-x} (\text{H}_2\text{O})_{16+x}] [\text{Al}_{16-x} \text{Si}_{32+x} \text{O}_{96}]$ genelleştirilmiş formülü ile temsil edilir. Ancak vayrakit ve pollusit ile yaptığı katı ergiyik serisi dikkate alındığında %50'den fazla Na^+ içermesi durumunda kristal analsim olarak adlandırılmaktadır (Tschernich, 1992).



Şekil 1.1. Hidrotermal oluşum kökenli cm ölçeğine varan analsim kristalleri.

Analsim mineralini feldspatoid olarak tanımlayan bir kısım araştırmacının bu gruba dâhil etmesinin esas sebebi kristalin ikincil faaliyetler dışında magmatik ortamda da oluşabilmesidir (Gottardi ve Galli, 1985). Roux ve Hamilton (1976)'ya göre magmatik kökenli analsimler silis bakımından fakir bazaltik magma odasında 600 – 640 °C sıcaklık aralığında 5 ila 13 kilobar basınç altında kristallenmektedir. Hızlı magma yükselimiyle birlikte özellikle denizel ortamda kayacın hızlı katılaşması neticesinde kayaç hamurunda

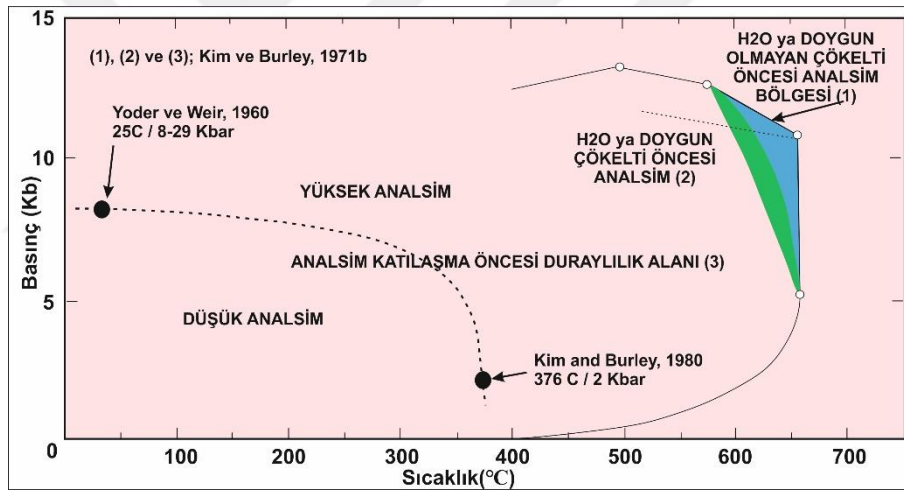
hapsolan analsim kristalleri korunabilmekte aksi takdirde magma odasında veya kısmi yükselim ile yavaş soğumaya bağlı olarak albitleşebilmektedir (Tschernich, 1992).

Analsim kristallerinde sodyum hâkim katyondur. Kristal yapısında sodyum, kalsiyum, demir, sezyum ve magnezyum olmak üzere farklı değiştirilebilir katyonlar mevcuttur. Zeolitik yük dengesizliği ile yapıda tutulabilen bu katyonların yapıdaki bollukları kristal türünü belirler. İki katı ergiyik serisi analsim mevcuttur (Tschernich, 1992). Biri sodyumca zengin analsim ve kalsiyumca zengin vayrakit arasında; diğeri ise sodyumca zengin analsim ve sezyumca zengin pollusit arasındadır. Bazaltik kayaçların kırık ve çatlaklarında bulunan çoğu hidrotermal kökenli analsim, yalnızca eser miktarda kalsiyum, potasyum, sezyum içeren ve baryum, stronsiyum, magnezyum ve demir içermeyen neredeyse saf kristallerdir (Tschernich, 1992).

Analsim grubu mineraller farklı tür jeolojik ortamlarda sıklıkla görülür. Bu ortamlar: (1) ikincil faaliyetlere bağlı olarak volkanik kayaçların kırık çatlak hatlarında hidrotermal kökenli olarak (Keith vd., 1983; Bargar ve Beeson, 1985), (2) magmatik kayaçlarda oluşmuş lösit kristallerinin yüksek Na^+ konsantrasyonuna sahip çözeltilerle $\text{K}^+ - \text{Na}^+$ değişimi sonucu dönüşüm ürünü olarak (Putnis, 1994), (3) yüksek tuzluluk oranına sahip paleo-gölsel havzalarda bazik ortamlarda kristallenerek (Gall and Hyde, 1989), (4) volkanotortul sedimanların plajyoklas, cam gibi ürünlerinin çözünmesine bağlı alterasyonu sonucunda oluşarak (Sheppard and Hay, 2001), (5) çok düşük dereceli metamorfik faaliyetler neticesinde gömülme rejimi veya kontak metamorfizma etkisiyle oluşarak (Boles ve Coombs, 1975), (6) derin deniz sedimanlarının kısmi gömülmesine bağlı olarak diyajenetik süreçte oluşarak ve (7) sodyumca zengin magmatik kayaçlarda birincil olarak kristallenerek (Pearce, 1970) oluşurlar.

Feldspatoid minerallerinden lösit ve analsimlerin tamamı ideal kristallenme koşullarında kübik olarak düşünülür. Sıcaklık, basınç, kimyasal etkileşim gibi süreçler bu durumu ortorombik ve daha çok tetragonal olarak bozabilmektedir. Analsim kristalleri diğer feldspatoid minerallerinden farklı olarak kristal yapısında moleküler su ihtiva edebileceğinden, bu özellik kristal yapısını da ideal kübik formundan tetragonal biçime evrilmesine sebep olabileceği belirtilmektedir (Yoder ve Weir, 1960). Peterson ve Currie (1993), analsim içeren volkanik kayaçlar üzerine Crowsnest Formasyonu'nda gerçekleştirdiği çalışmada volkanitlerin içerdiği analsim fenokristallerinin alterasyon izi göstermediği, birincil mineralojiye ait herhangi bir özelliğini kaybetmediğinden hareketle birincil olduklarını belirtmiştir. Birincil Na-Analsim oluşumu için yaklaşık 5 kbar basınç

altında dar bir sıcaklık aralığında kristalin sakin bir magmatik ortama ihtiyacı vardır. Ayrıca analsimin stabil kalabilmesi için magmanın su içeriğinin ağırlıkça %15 olması gerekmektedir ki bu koşullar çok ekstrem şartlardır. Bu şartlar altında gerçekleşen basınç ferahlaması ile gelişen patlama tüfsü malzemenin de oluşmasına imkân tanımakta ve aynı kökenden farklı türde volkanitlerin oluşumuna sebep olmaktadır. Crowsnest Formasyonu dâhilindeki kayaç birlikteliklerini bu model ile açıklayabilmektedir. Analsimin oluşumu esnasında basınç sıcaklık koşullarını irdeleyen Kim ve Burley (1971b, 1980)'e göre düşük ve yüksek analsim bölgesini ayıran eğrinin negatif yönlü oluşu, düşük basınçta oluşan analsimin yüksek basınç altında oluşandan daha yüksek bir entropiye sahip olması gerektiğini göstermektedir (Şekil 1.2). Basınç, analsimin oluşumu esnasında kristal formunu etkileyen bir özellik olabileceğinden ötürü, nihai kristal formunda su muhteviyatının miktarında da önemli bir rol oynayacaktır.



Şekil 1.2. Düşük ve yüksek analsimin sıcaklık ve basıncın fonksiyonu olarak duraylılık alanları (Kim ve Burley, 1971b, 1980).

Analsim kristalinde sıcaklığın artışıyla su içeriğinin azaldığı görülmektedir. Kim ve Burley (1981)'e göre, su buharında çözünen katı bileşiminin, başlangıç bileşiminden farklı olduğu bu nedenle birim hücre boyutlarında da $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ oranı ile doğrusal ilişkili olduğunu belirlemiştir.

Analsimler zeolitik özelliklerinden ötürü mikroporöz malzeme olarak farklı endüstriyel alanlarda da kullanılmaktadır. Özellikle modifiye analsimlerin katyonlar için seçici toplayıcı hâle getirilmesiyle çeşitli kimyasalların ve gaz hidratların saflaştırılmasında kullanımı mevcuttur. Analsimce zengin tüfler puzolanik çimento ve katkı maddesi olarak

kullanılmakla birlikte tüfsü malzeme uygun sertliğe sahip ise yapılarda blok ve kaplayıcı malzeme olarak da kullanılabilirler. Kapalı alanlar için havanın temizlenmesinde ve içme suyu arıtımında moleküler elek özelliğinden yararlanılabilmektedir. Hafifliği, berraklığı, beyaz rengi, basınç dayanımı, aşınma direnci ve tektosilikat yapısının dolgu malzemesi olarak kullanılabilmesine olanak sağlaması dolayısıyla dental porselen üretiminde kullanılmaktadır.

Kuzey Doğu Anadolu Sıradağlarındaki Geç Kretase ve Eosen yaşlı alkali kayaçlar analsim kristalleri içermektedir (Bektaş ve Gedik, 1988; Şen vd. 1998; Bülbüloğlu 2001; Aydın, 2003; Eyüboğlu vd., 2006; Alther vd. 2008; Reisoğlu 2009, Yücel, 2013, Yücel vd. 2014). K^+ ca zengin alkali kayaçlar içerisinde bulunan öz şekilli analsim kristallerinin kökeni hakkında fazla çalışma yoktur. Buradaki çalışmaların tamamına yakını bölgesel petroloji çalışmaları olup bölgenin jeodinamiğini ortaya çıkarmak için yürütülmüşlerdir.

1.2. Lössit Mineralojisi

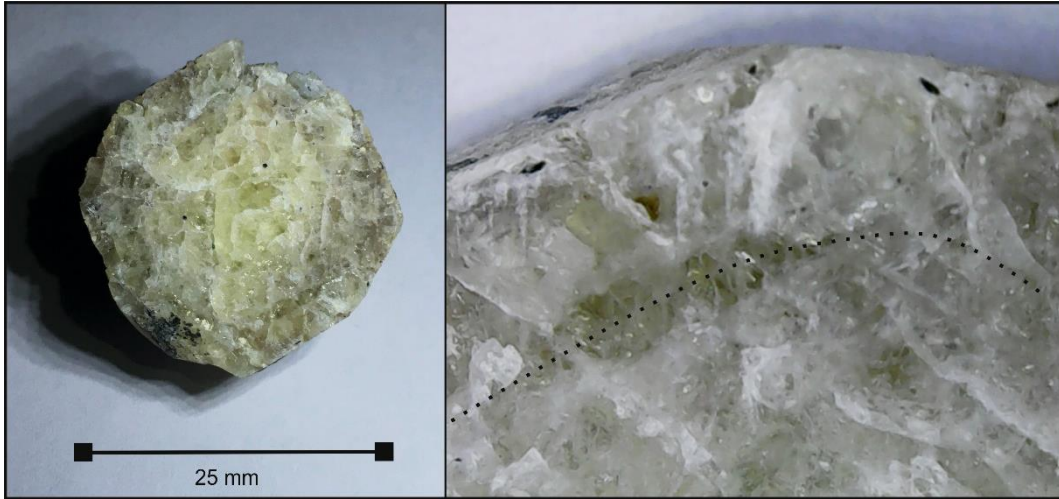
Feldspatoid grubuna dâhil olan tektosilikat yapılı olan lösitler $KAlSi_2O_6$ genelleştirilmiş formülü ile ifade edilir. Tektosilikat yapıda alüminyum kaynaklı yük dengesi için karşılık katyonu potasyumdur. Potasyumun hareketli bir element olması sebebiyle doğada çok düşük sıcaklıklarda sodyum ile yer değiştirerek lösit yapısı kolaylıkla bozulabilmektedir. Bu sebepten ötürü doğada genç yaşlı kayaçlar içerisinde bulunabilmektedir. Yaşlı kayaçlar içerisinde özellikle de hidrotermal ortamlarda kolaylıkla analsime dönüşme eğiliminde olduğundan nadiren duraylı kalabilmektedir.

Lössit ($KAlSi_2O_6$) minerali 625 °C’de bir kübik-tetragonal faz geçişine uğrar (Wyart, 1940). 625 °C üzerinde kübik sistemde kristallenen lösit bu sıcaklığın altında tetragonal sistemdedir ve daha kolay bozunma eğilimindedir.

Silise doymun olmayan magmaların oluşturduğu kayaçlarda görülen lösit mineralleri siyenit, tefrit, bazanit gibi alkali karakterli kayaçlar içerisinde görülmektedir. Kayaç oluşumunu takiben Na^+ katyonu taşıma yeteneğindeki ortamlarda kolaylıkla analsime dönüşüm eğilimindedir. Lössit kristal yapısı iyonik süstitüsyonlar açısından oldukça toleranslıdır. Kafes yapısına katılan katyonların haricinde tetrahedral yapıya dâhil olabilen katyon-anyon birliktelikleri de ihtiva edebilir ve bu açıdan da incelenmiştir (Bayer, 1973; Merlino, 1983). Bu çalışmalar neticesinde kafes yapısına katılan katyonların, termal genişleme katsayılarının ve termal genişleme sonucu ötektik noktanın belirlenmesini

sağlamışlardır. Nitekim lösit tür feldspatoid minerallerinde potasyum (K) ve rubidyum (Rb) sübstitüsyonu neticesinde 25°C’de iyonik yarıçapta 1.59Å genişleme olması neticesinde tetragonal-kübik kristal sistemi geçişi gözlenebilir. Önceki araştırmacılarca tespit edilmiş olan lösit – analsim dönüşüm sürecinde meydana gelen hacimsel artıştan dolayı kayacın genelinde genleşme kaynaklı mikroçatlakların olması olasıdır (Putnis vd. 1994).

Feldspatoid grubu minerallerin başlı başına bir ekonomik değer arz etmemesinden ötürü geçmiş yıllarda bu mineraller hakkında mineraloji-kristalografi konuları haricinde detaylı çalışmalar bulunmamaktadır. Nitekim mevcut araştırmaların çoğunluğu, feldspatoidlerin yapısının zeolitler ile temelde benzerlik göstermesi sebebiyle, zeolitik malzeme veya mineraloji-kristalografi çalışan araştırmacılarca yürütülmüştür. H₂O ihtiva etmeyen ancak zeolit benzeri yapılarıyla feldspatoidler, zeolit araştırmacıları tarafından solar sistem çalışmaları açısından araştırmalara dahil edilmektedir (Ulmanu ve Anger, 2012). Lösit minerali geopolimer sentezi üretiminde kullanılmak suretiyle özellikle dental seramik araştırmalarında sıklıkla değerlendirilen bir üründür. Özellikle sentetik ürünlerinin 5-6 mohs arası sertlikte ve estetik açıdan berrak kristallerinin olması ayrıca tektosilikat yapısının dolgu malzemesi olarak kullanılmasına olanak sunması sebebiyle sıklıkla tercih sebebidir (Kohoutkova vd., 2008).



Şekil 1.3. Siyenitik kayaktan edinilen lösit kristalinin en kesiti. Dış çevresinde renk farklılığı ve siyah renkli inklüzyonlar mevcuttur.

1.3. Önceki Çalışmalar

Bu kısım üç ana bölümden oluşmaktadır. Bu bölümlerin ilki, Kuzeydoğu Anadolu Sıradağlarında görülen analsimli kayaçlardaki lokasyonlarda gerçekleştirilen çalışmaları kapsar. İkinci kısım lösit – analsim kristalizasyonunun irdelendiği Nefelin-Kalsilit-Kuvars-Su faz ilişkileri ve üçüncü kısımda ise Lössit analsim dönüşümü ile ilgili olan deneysel çalışmalar verilmiştir.

1.3.1. Kuzeydoğu Anadolu Sıradağlarında Görülen Analsimli Kayaçların İncelendiği Çalışmalar

Bektaş ve Gedik (1988); düşük TiO_2 'li, lösitli şoşonitik volkanizmalı formasyonu Everekhanları Formasyonu olarak tanımlamıştır. Bülbüloğlu (2001) Bayburt yöresinde karasal detritikler ile ara katkılı Bayburt-Everekhanları volkanik kayaçlarını ojit analsim tefrit ve analsitit olarak tanımlamıştır. Bu çalışmada Everekhanları Formasyonunu oluşturan kayaçların rudist içeren kireçtaşları üzerine akmış olduğu ve Eosen yaşlı flişler tarafından uyumsuz olarak örtüldüğü belirtilmiştir. Alther vd. (2008) Everekhanları Formasyonu'nda bulunan volkanik kayaçları plajyölösitit olarak adlandırarak, bu kayaçların klinopiroksen, analsim, titano-magnetit, plajyoklas, sanidin, apatit ve aksesuar mineral olarak biyotitten teşekkül parajenez içerdiğini ortaya koymuşlardır. Alther vd. (2008) formasyona ait kayaçların aşırı altere olduğunu ve lösit kristallerinin tamamen analsime dönüşmüş olduğunu belirtmiştir.

Şen vd. (1998), Senozoyik evrede volkanik faaliyetler sonucu gelişen Doğu Pontid alkaleen Volkanik Provansinin jeokimyasal ve petrolojik karakteristiklerini incelemiştir. Jeokimyasal ve petrografik veriler, alkaleen kayaçların iki ayrı gruptan müteşekkil olduğunu göstermektedir. Çalışmanın yapıldığı tarih itibarıyla Trabzon ve Tonya grubuna ait yaş ilişkileri bilinmemektedir. Ancak Trabzon grubu örneklerinin taze camsı dokuları ve arazi morfolojisinin koni şekilli yapılar sunması sebebiyle, Tonya grubundan daha genç oldukları önermesinde bulunmuşlardır. Aydın (2003), Doğu Pontidler'in kuzey bölgesinde Değirmendere Vadisi (Trabzon) boyunca yüzeylenen volkanik kayaçların mineralojik, petrografik, jeokimyasal ve petrolojik özelliklerini ortaya koyarak, volkanik kayaçların gelişim süreçlerinde etkili olan magmatik olayları modelleyerek kökenlerini irdemiştir.

Mineral ve kayaç kimyası verilerince, Neojen yaşlı alkali – şoşonitik karakterli Trabzon volkanitlerinin çarpışma sonrası yay özelliği gösteren bazanit, tefrit ve tefritik fonolitlerden (I. grup) ve alkali bazalt, trakibazalt, trakiandezit, trakit ve riyolitten (II. grup) oluşan iki farklılaşmış seriden meydana geldiğini belirtmiştir. Farklılaşma modellemelerine göre, Neojen volkanitlerinin I. grup serisinde Kpir+Foid+Fe-Tioksit+Ap, II. grubun ise K-Feld+Kpir+Pl+Bt+Fe-Ti oksit ayrımlaşmalarının etkili olduğunu göstermiştir. Yücel (2013), Trabzon – Giresun Arasındaki Tersiyer Volkanitlerinin Petrografisi, 40Ar – 39Ar Jeokronolojisi, Petrokimyası, Sr-Nd-Pb İzotop Jeokimyası ve Petrolojisi isimli çalışmasında çalışma alanındaki foidli kayaçların modal mineralojik bileşimleri geneli itibarıyla klinopiroksen, plajyoklas, analsim ve opak kristallerden oluştuğunu belirtmiştir. Bu çalışmada, analsimler genellikle mikro fenokristaller hâlinde yuvarlağımsı, altıgen /sekizgen yarı özşekilli hâlde görülmektedir. Tek nikolde şeffaf, çapraz nikolde izotropa yakın çok düşük çift kırıcılık göstermektedir. İçerlerinde opak kapanımlar da görülmüştür. Yücel vd. (2014), Doğu Pontidler’de Trabzon ve Samsun yöresindeki Tersiyer yaşlı bazik volkanitlerdeki analsimleri incelemiştir. Analsimler üzerinde yapmış oldukları mineralojik, kristalografik, dokusal, kimyasal çalışmalara ve tüm kayaç kimyası analizleri sonuçlarına dayanarak kayaçlardaki analsimlerin lösitten itibaren transformasyon süreçleri sonucunda oluştuklarını ifade etmiştir.

1.3.2. Lösit ve Analsim Kristalizasyonunun İrdelendiği Nefelin-Kalsilit-Kuvars-Su Faz Diagramının Geliştirildiği Çalışmalar

Lösite ait kristalizasyon faz ilişkileri ilk kez Bowen (1928) tarafından Nefelin-Kalsilit-Kuvars-H₂O ikili sistemleri üzerinden incelenmiştir. Scherier ve Bowen (1935) 1 atm’de ilk deneysel Nefelin-Kalsilit-Kuvars-H₂O faz diagramını oluşturmuşlardır. Bowen (1937)’de bu üçlü sistemi “Petrogeny’s Residua System” olarak adlandırmıştır. Daha sonra Schreier (1950, 1957) faz diagramını ayrıntılandırmıştır. Fudaly (1963) Nefelin-Kalsilit-Kuvars-H₂O 1 kbar şartında potasyumca zengin, Hamilton ve MacKenzie (1965) ise sodyumca zengin kısımlarını oluşturmuşlardır. Morse (1969) Nefelin-Kalsilit-Kuvars-H₂O diagramına analsim duraylılık alanını P_{H₂O}=5kbar şartı için eklemiştir. Nefelin-Kalsilit-Kuvars-H₂O sistemi Taylor ve MacKenzie (1975) ardından Zhang ve MacKenzie (1984) tarafından yeni deneysel çalışmalar yapılarak diagram içerisindeki duraylılık alanlarının sınırları revize edilmiştir. Nefelin-Kalsilit-Kuvars-H₂O sisteminin tarihsel gelişimi ve teorik basamakları

Henderson (1984) tarafından verilmiştir. Tüm bu faz ilişkileri Gupta (2015) tarafından revize edilmiştir.

1.3.3. Lösit – Analsim Dönüşümünün İrdelendiği Çalışmalar

Wilkinson (1968) Highwood, Montna ve Dunedin Volkanik Kompleksi, Yeni Zelanda'da analsimce zengin düşük potasyumlu volkanik kayalarda yapmış olduğu çalışmalarda analsim kristallerinin olivin ve klinopiroksen kristalizasyonu akabinde artan su basıncı etkisi ile oluşabileceğini ileri sürmüştür. Wilkinson (1977), vitrofirik analsimitlerin fenokristal olarak içerdiği analsim minerallerinin birincil veya ikincil kökenli olabileceğini irdelenmiştir. Analsimitlerin kimyası ve camsı hamur malzemesi kalıntısı, kayacın kristalizasyon süreci ve deneysel veriler ile lösit-analsim dönüşüm sürecini incelemiştir. Analsimit olarak adlandırdığı kayalardaki analsim fenokristallerinin ikincil kökenli olduğunu, buna delil olarak ana kayaç kimyası, kristal morfolojisi ve kristal inklüzyonlarının izlerini öne sürmüştür. Analsimitlerin ortalama 0,83 olan Na/K oranlarına bakarak kökenlerinin lösitten itibaren dönüşüm sonucu olduklarını ifade etmiştir. Arazi incelemelerinde lösitlerin gömülme neticesinde düşük sıcaklıktaki hidrotermal ergiyiklerin taşıdığı Na ile zenginleşerek analsime dönüştüğü kanısına varmıştır.

Peterson ve Currie (1993), analsim içeren volkanik kayaları incelemiş, volkanitlerin içerdiği analsim fenokristallerinin alterasyon izi göstermediği, birincil mineralojiye ait herhangi bir özelliğini kaybetmediğinden hareketle birincil olduklarını belirtmiştir. Birincil Na-Analsim oluşumu için yaklaşık 5 kbar basınç altında dar bir sıcaklık aralığında kristalin sakin bir magmatik ortama ihtiyacı vardır. Ayrıca analsimin stabil kalabilmesi için magmanın su içeriğinin ağırlıkça %15 olması gerekmektedir ki bu koşullar çok ekstrem şartlardır. Bu şartlar altında gerçekleşen basınç ferahlaması ile gelişen patlama tüfsü malzemenin de oluşmasına imkân tanımakta ve aynı kökenden farklı türde volkanitlerin oluşumuna sebep olmaktadır. Crowsnest formasyonu dahilindeki kayaç birlikteliklerini bu model ile açıklayabilmektedir.

Putnis ve ekibi mineral dönüşüm süreçleri ve özelde de lösit – analsim dönüşümü üzerine ilk deneysel çalışmaları gerçekleştirmiştir. Putnis vd. (1994), SEM yöntemi ile incelediği analsim kristallerinin dokusal özelliklerini incelemiştir. Hidrotermal kökenli damarlardan alınan analsim örneklerini H-tipi, lösitten itibaren dönüşüm ürünü olduğunu düşündüğü analsimleri ise X-tipi olarak tanımlamıştır. H-tipi analsimlerin yüzeylerinin

düzgün, büyüme hatlarının belirgin ve temiz yüzeylerinin olduğunu belirtirken, X-tipi analsimlerin ise yüzeylerinin parçalı, kırıklı görünümde olduğunu ve psödomorf büyüme özellikleri gösterdiğini söylemiştir. Ayrıca dönüşüm ürünü olan X-tipi analsimlerin enine kesitlerinde konsantrik iç içe büyüme halkaları olduğundan bahsetmiştir. Lösitin analsime dönüşümü esnasında %10'luk hacimsel artışın olduğu ve buna bağlı olarak oluşan ekspansiyon çatlaklarının varlığından bahsetmiştir. Putnis (2002) mineral dönüşüm reaksiyonu süreçlerini makroskobik ve mikroskobik mekanizmalarını araştırmıştır. Derleme çalışması olan bu makalede hali hazırda bilinen önceki verileri derleyip tekrar yorumlayan araştırmacı, katyon değişim mekanizması sonucunda lösit-analsim dönüşümünü kısmi ergime neticesi çözünme ve tekrar kristallenme süreçlerini incelemiştir. Putnis vd. (2007), NaCl çözeltileri kullanarak deneysel ortamda lösit-analsim dönüşüm sürecini incelemiştir. Lösit – analsim dönüşüm reaksiyonunun 150 – 300 °C arası sıcaklıklarda, aktivasyon enerjisi düşük olduğu için birkaç gün içerisinde tamamlanabildiğini ifade etmiştir. Bu nedenle lösitlerin diyajenetik süreçlerde duraylı kalamadığını ve kolayca analsime dönüştüğünü belirtmiştir. Benzer şekilde yüzeye ulaşan lavın soğuması esnasında lava veya kayaca sızan Na'ca zengin suların etkisiyle dönüşüm süreci gerçekleştiğini öne sürmüştür. Ayrıca Tersiyer yaşlı kayalardan daha eski kayalarda lösit bulunmamasını da bu dönüşüme delil olarak sunmuştur. Putnis vd. (2009), çözelti ve katı etkileşimlerini dikkate alarak mineral dönüşüm reaksiyonlarını incelemiştir. Lösit analsim deneysel olarak dönüşüm süreçlerine yer vermiş, psödomorf yapılarda hacimsel farklılaşmaları teorik formüller ışığında hesaplamış, reaksiyonlar sonucu oluşan porozite gibi karakteristik yapıların kristalografik şekiller oluşturabileceğini öne sürmüştür. Bazı durumlarda dönüşüm süreçlerinde lösitin morfolojik ve iç yapısı detaylarının korunduğunu (örneğin lösitteki çok ince ikizlenmelerin analsime dönüşümü sonucu korunması gibi) bunun da $\text{Na}^+ - \text{K}^+$ difüzyonu ile bu dönüşümün gerçekleştiği sonucunu ortaya koyduğunu ifade etmiştir.

Kohoutkova vd. (2006), lösit sentezini ve kristalleşmesini etkileyen temel faktörlerin etkisini araştırmıştır. Bu çalışmanın temel amacı dental seramik malzeme olarak kullanılan lösitin karakteristik özelliklerini belirlemektir. Lösit kristallerinin oluşumu için yüksek sıcaklık ve basınç gerekmektedir ayrıca lösitin büyüme sürecinin çok yavaş olduğunu belirtmiştir. Bu araştırma, lösitin yalnızca belirli bir koşullarda hazırlanan öncül kristallerden itibaren çökeldiğini göstermiştir. Öncül kristal sentezi için optimal koşullar şu şekilde belirlenmiştir: 150°C'de, 2 – 6 saat ve 200°C'de, 1-2 saat hidrotermal ortamda tutulmuşlardır.

Silis kaynağı olarak amorf SiO_2 ve alüminyum kaynağı olarak Al_2O_3 kullanılmıştır. Silika/alümina oranı 3 veya 3.5'e eşit ve 3 M KOH çözeltisi ile deney ortamı kurgulanmıştır.

1.4. Çalışmanın Amacı ve Kapsamı

Önceki çalışmalarca paleo ada yayı olarak tanımlanmış olan Kuzey Anadolu sıra dağlarının jeodinamik gelişimi ile alakalı birbirinden farklı birçok petrolojik, petrografik çalışma yapılmıştır (Aydın, 2003; Eyüboğlu vd., 2006; Yücel, 2013). Ancak Kuzey Anadolu sıradağlarının doğu kesimlerinde, kısmi alanlarda yüzeyleme veren foidli kayalar içerisindeki foid mineralleri hakkındaki çalışmalar oldukça sınırlıdır. Jeokimyasal ve petrografik analiz ve yorumlamalardaki eksikliklerin yanında, özellikle foid mineralleri üzerinde, kayalar bileşimini etkileyebilecek farklılıklar genellikle göz ardı edilmiştir. Bu nedenle, bölgedeki foid minerali içeren volkanik kayaların oluşumuna kaynaklık eden magmaların gelişiminde foid minerallerinin fraksiyonel kristallenme, magma karışımı, kontaminasyon, asimilasyon olayları gibi bileşimi etkileyecek süreçler çalışılmasına rağmen kayalar oluşumundan sonraki metamorfizma, metasomatizma, alterasyon gibi süreçlerin etkisi yeterince ortaya konulmamıştır.

Yücel vd. (2014) yaptığı çalışmada Trabzon bölgesindeki analsimlerin kökeni hakkında bilgi vermiş ve bu analsimlerin lösitten itibaren dönüştüğünü kayaların dokusal özelliklerine dayandırarak belirtmiştir. Putnis vd. (1994, 2008) lösit – analsim dönüşüm sürecinin iki farklı türde oluşabileceğini belirtmiştir. Bunların birincisi difüzyon yoluyla K^+ - Na^+ takası şeklinde, diğeri ise çözünme ve tekrar çökelme mekanizması ile olur.

Analsimler kimi araştırmacılar tarafından foid türü olarak kabul edilseler de günümüzde çoğu araştırmacı bu minerali, moleküler su ihtiva edebilmesinden ötürü zeolit grubuna dahil etmektedir. Bu sebepten ötürüdür ki analsimlerin köken belirlenmesi için kullanılabilecek O-izotop yöntemi ile moleküler suyun da ölçüme katılma durumu söz konusudur. O izotop yönteminde kullanılan güncel metod LA-ICP-MS olmakla birlikte halen daha TIMS kullanan laboratuvarlar mevcuttur. Nitekim zeolitler için en sağlıklı sonucu verebilecek metod TIMS iken, moleküler suyun dehidratasyon ile uzaklaştırılmasının akabinde örnek cihaza yükleninceye kadar atmosferik nemden etkilenmektedir. Hal böyle iken zeolitler için uygulanacak duraylı izotop yöntemlerinde güncel su moleküllerinden tamamen izole bir ortam yaratmak olası değildir.

2. YAPILAN ÇALIŞMALAR

2.1. Giriş

Çalışma alanı olan Trabzon Ortahisar ve Bayburt Everekhanları yörelerinden foidli kayaç örnekleri derlenmiştir. Kayaç örnekleri üzerinde foid minerallerinin oluşum koşullarını belirlemek için laboratuvar çalışmaları yapılmıştır.

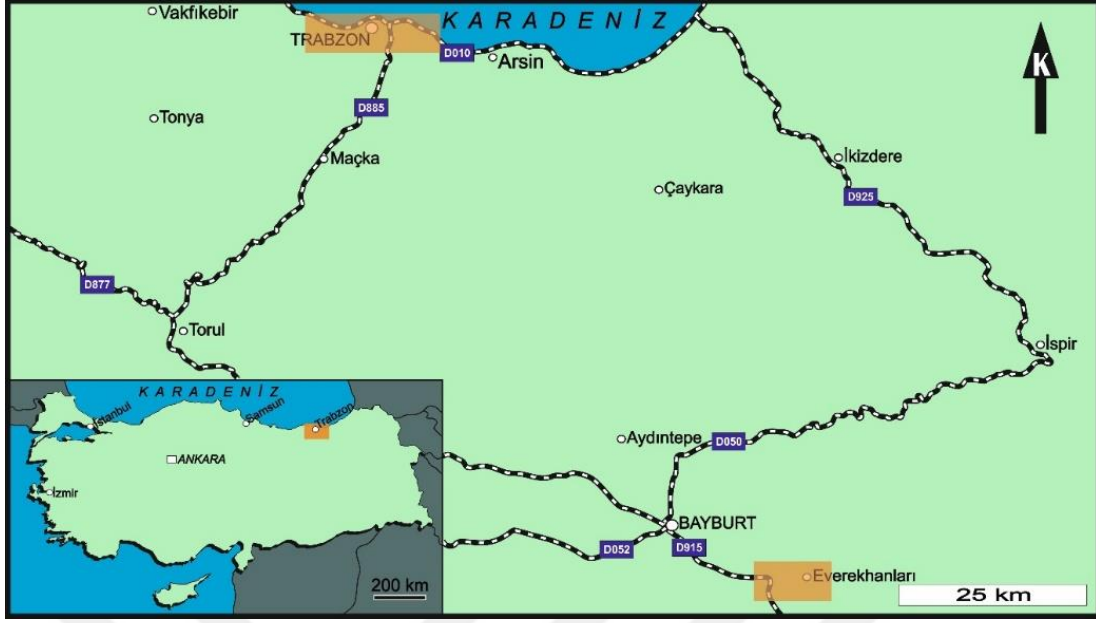
2.2. Materyal ve Yöntem

2.2.1. Arazi Çalışmaları

Arazi çalışmaları, Doğu Karadeniz Bölgesi'nde çalışma yürütüldüğü için yağmur dönemlerinin nispeten az olduğu yaz mevsiminde yapılmıştır. Daha önceki çalışmalarda yapılan jeolojik haritalardan da yararlanılmış, Trabzon ve Bayburt yörelerinde bulunan foid minerali (genellikle analsim) içeren kayaçlardan toplam 43 el örneği alınmıştır. Birincil ve ikincil oluşumları karşılaştırmak maksadı ile Trabzon yöresi kayaçlarının kırık hatlarında iyi gelişmiş ikincil hidrotermal kökenli analsim kristalleri de derlenmiştir. Arazi çalışmaları esnasında makro ve mikro ölçekte yapısal-dokusal ilişkiler fotoğraflanmıştır.

• Çalışma Alanlarının Konumu

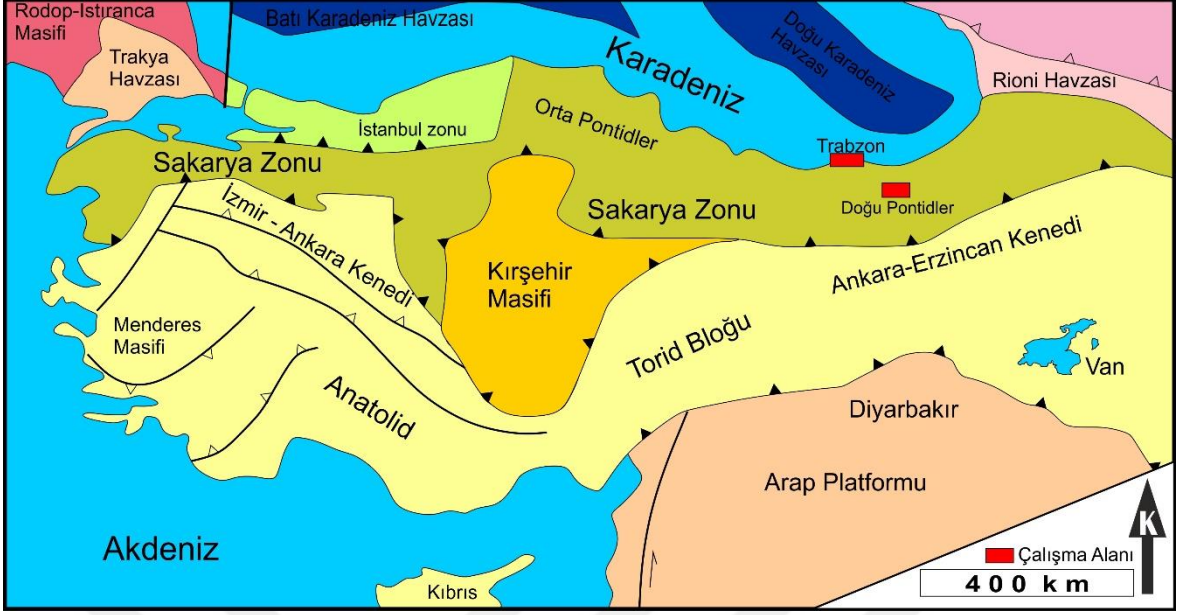
Çalışma alanı Türkiye'nin kuzeydoğu kesiminde yer almaktadır ve iki parçadan oluşmaktadır. Çalışma alanının büyük kısmı Trabzon ili dâhilinde Ortahisar ilçesi sınırlarındadır. Diğer kesimi ise Bayburt iline yaklaşık 27 km uzaklıktaki Everek mevkiinde bulunmaktadır (Şekil 2.1).



Şekil 2.1. Çalışma alanlarına ait yerbulduru haritası.

• Bölgesel Jeoloji

Birçok araştırmacı tarafından Doğu Pontidler olarak adlandırılan Kuzey Anadolu Sıradağları, Karadeniz'in güneydoğu hattı boyunca yaklaşık 500 km uzunluğunda ve 100 km genişliğinde konumlanır. Birim Okan ve Tüysüz (1999) tarafından tanımlanan Sakarya Zonu içerisinde yer almaktadır (Şekil 2.2). Jeolojik olarak Kuzey Anadolu Sıradağları, Geç Kretasede kuzeye dalan okyanus tabanının üzerinde gelişmiş olan ve en iyi korunmuş paleo ada yayı örneklerinden biridir (Şengör ve Yılmaz, 1981; Konak vd., 2009). Kuzey Anadolu Sıradağları'nın Paleozoyik yaşlı temeli amfibolit – granülit fasiyesine kadar inebilen ve Pulur masifi olarak adlandırılan metamorfizmlerden oluşmaktadır (Ketin, 1963; Korkmaz ve Baki; 1984; Keskin vd., 1989; Güven, 1993; Konak, vd., 2009). Topuz vd. (2004) tarafından monazitler üzerinde yapılan U-Pb yaşlandırmasında Pulur masifinin yüksek dereceli metamorfizma yaşları 331-327 My olarak tespit edilmiştir.



Şekil 2.2. Ana sütur zonları ve kıtasal blokları gösteren Anadolu ve çevresinin tektonik haritası (Okan ve Tüysüz, 1999).

Bu metamorfik temel üzerine, Liyas yaşlı volkanotortul serilerden oluşan Hamurkesen Formasyonu tarafından uyumsuz şekilde yerleşmiştir (Pelin, 1977). Hamurkesen Formasyonunun üzerine, gri – bej renkli, killi kireçtaşları ile başlayıp dolomitik kireçtaşları ile devam eden Berdiga Formasyonu oturmaktadır (Pelin, 1977). Berdiga Formasyonu’nun yaşı *Lenticulifna sp.*, *Soccocma sp.*, *Girvanella sp.*; *Grassicollaria sp.*, *Lituola sp.*, *Lithocodium sp.*, *Kurnubia sp.* fosillerine dayanılarak Dogger-Malm-Erken Kretase olarak verilmiştir (Yılmaz, 1993). Berdiga Formasyonu’nun üzerine, tabanında büyüklüğü 1 m’ye varabilen Berdiga Formasyonu’ndan türemiş bloklar içeren kalın bir konglomera seviyesi ile başlayan, volkanik ara katkılı bir transgresif istif olan Kermutdere Formasyonu gelmektedir (Tokel, 1977; Yılmaz, 1993). Kermutdere Formasyonu tipik kırmızı rengi ile diğer birimlerden kolaylıkla ayırt edilebilmektedir. Birimin yaşı Pelin (1977) ve Yılmaz (1993) tarafından Geç Kretase olarak belirlenmiştir. Senomaniyen dönemi Kuzey Anadolu Sıradağları’nın genelinde hızlı bir yükselme ve aşınma dönemini temsil eder (Ketin, 1977; Pelin vd., 1982; Konak, 2009). Barremiyen – Aptiyen aralığında hızlı aşınma döneminin son evresinde türbiditik kumtaşı, marn, silttaşı çökellerinin oluşturduğu Çağlayan Formasyonu yer almaktadır (Ketin ve Gümüş, 1963; Gedik ve Korkmaz, 1984). Kuzey Anadolu Sıradağları’nda Senomaniyen çökelleri görülmez fakat çoğu bölgede Kampaniyen kireçtaşları Jura çökelleri üzerinde uyumsuz olarak konumlanmıştır (Pelin, 1977; Yılmaz,

1985; Robinson vd. 1995; Eren ve Taşlı, 2001; Konak vd, 2009). Gümüşhane yöresi civarında Senoniyen çökelleri doğrudan Karbonifer yaşlı Gümüşhane granitoidinin üzerine gelir (Yılmaz, 1972). Kuzey Anadolu Sıradağları'nın batı kısmında ise Cankurtaran Formasyonu ile uyumlu olan Geç Maastrichtiyen yaşlı pelajik kireçtaşı, kumtaşı, kumlu kireçtaşı, silttaşı ardalanmalarından oluşan Akveren Formasyonu çökelmiştir (Blumenthal, 1940; Ketin ve Gümüş, 1963; Bayraktaroğlu, 1988). Geç Kretase'nin sonunda ortam hızlı ve ani bir transgresyona uğramıştır ve neticede, sıg denizden derin denizel ortama kadar değişen farklı ortamsal çökeller oluşmuştur (Konak, 2009).

Kuzey Anadolu Sıradağları'nda Jura sonrası tektonik olaylarının en güçlüsü Paleosen – Erken Eosen sıkışma evresidir ve bölgesel yükselim, bazı bölgelerde istifleri Mesozoyik temele kadar aşındırırken derin erozyonal faaliyetlere neden olmuştur. Lütesiyen kalkalkalen magmatizması bazı araştırmacılar tarafından, Tetis okyanusunun kuzeye doğru dalması ile ilişkilendirmektedir (Yücel, 2013). Bölgede bazalt, andezit, trakit ve bunların piroklastitlerinden oluşan Kabaköy Formasyonu, uyumsuz olarak kendinden yaşlı birimleri üzerlemektedir (Tokel, 1977; Akın, 1978; Yoldaş, vd., 1985; Konak, 2009; Aydın, 2003; Yücel, 2013). Kabaköy Formasyonu Eosen ve sonrası volkanizma ürünleri olan tefrit tür kayaçlar ve piroklastitleri ile örtülmekte ve sokulumları tarafından kesilmektedir (Aydın, 2003; Yücel, 2013).

2.2.2. Laboratuvar Çalışmaları

Çalışma alanından toplanan kayaçların mineralojik, kristalografik, kimyasal ve kökensel yorumlamalarına katkı sağlamak amacıyla analizler gerçekleştirilmiş ve bu analizlerin gerçekleştirildiği cihazlar için ölçüm koşullarına uygun mineral örnekleri hazırlanmıştır.

• Makro Ölçekli Fotoğraf Çekimleri

Çalışma alanından derlenen tüm örneklerin makro fotoğrafları, Canon 550D fotoğraf makinası ve F/2,8 1:1 özellikli makro objektif ile Kodak Easy Share C190 model fotoğraf makinası kullanılarak çekilmiştir. Örnekler fotoğraflanırken dikkat edilen husus mümkün olduğu kadar farklı makromorfolojik özelliklerin belirgin olması ve farklı minerallerin parajenez ve süksesyonu dikkate alınarak bir arada bulunmasıdır.

- **X-Işınları Analizi (XRD) için Örnek Hazırlama**

Çalışma alanından derlenen örneklerin temiz ve makromorfolojileri mümkün olduğu kadar farklı olan ikincil mineral örnekleri seçilerek çekiç yardımıyla en büyüğü yaklaşık 3 mm kadar olacak boyutta kırılmıştır. Kırılan bu örneklerin temiz olanları, çıplak gözle ve 20 kat büyütme binoküler mikroskop yardımıyla tekrar seçilmiş ve agat havanda 2 μm 'den daha küçük tane boyutuna inene dek öğütülmüşlerdir. Her örneğin öğütme işlemine geçmeden evvel, kontaminasyonu önlemek amacıyla bir önceki örnekten havanda ve tokmakta kalan tozlar etil alkol yardımıyla temizlenmiştir.

- **Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM) için Örnek Hazırlama**

Makro morfolojik gözlem ile süksesyonu belirlenemeyen ancak XRD sonucunda birliktelik arz eden minerallerden, Dremel Engraver F0130290JM model kırıcı yardımıyla tek yön boyutu (en, boy, yükseklik) en fazla 1.5 cm olan doğal yüzeylere sahip parçalar çıkarılmış ve SEM cihazının örnek tutucusuna rahatça sabitlenebilmesi için alt yüzeyleri Performance Power 125 model matkap zımparalayıcı ile düzleştirilmiştir. Böylelikle bir yüzü doğal hâliyle, diğer yüzü cihaz örnek tutucusuna sabitlenebilecek biçimde şekillendirilmiş örnekler elde edilmiştir.

- **Elektron Mikroprob Analizi (EPMA) için Örnek Hazırlama**

Kayaç örneklerinden alınan, en büyüğü 45x25 mm boyutlarındaki dilimlerin bir yüzleri 220 mesh boyutundaki elmas disk yardımıyla düzleştirildikten sonra 48x28x1.35 mm boyutlarında lazer rodajlı Streus marka lamalar üzerine Streus Epoxy Resin yardımıyla yapıştırılmıştır. Örnekler yüksek sıcaklıkta hızlandırılmış epoksi dondurma prosedürü uygulanarak kayacın ve ikincil minerallerin cama tutunma mukavemeti artırılmış, böylelikle su ile temasında kil ve zeolit minerallerinin kayaç örneğini camdan ayrılmasının önüne geçilmiştir. Yapıştırılan örnekler, mikroskop altında çift kırıcılık renkleri belli aralıklarla kontrol edilmek suretiyle 220 ve 600 mesh boyutundaki elmas diskler yardımıyla 40 μm kalınlığına kadar inceltmişlerdir. 1200 mesh kalınlıklı elmas disk yardımıyla son aşındırması tamamlanan örnekler için sırasıyla 9 μ , 6 μ , 3 μ ve 1 μ kalınlıkta elmas solüsyonlar

ile parlatma işlemi uygulanmıştır. Hassas parlatma işlemleri 0.5μ ve 0.25μ boyutlarındaki alüminyum oksit solüsyonlar kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Son parlatmaları tamamlanan örnekler ultrasonik temizleyicide 2 dk bekletilerek kalan aşındırıcı tozlardan arındırılmış ve etil alkol ile yıkanmıştır.

• Mikroskopik Tayinler

Volkanik kayaç ince kesitleri Karadeniz Teknik Üniversitesi (KTÜ), Jeoloji Mühendisliği Bölümü, İnce Kesit Hazırlama Laboratuvarında hazırlanmıştır. İncekesit incelemeleri KTÜ Jeoloji Mühendisliği Bölümü Araştırma Laboratuvarında bulunan Olympus ve Nikon marka polarizan mikroskoplarda gerçekleştirilmiştir. Kayaç ve minerallere ait dokusal ve mineralojik tayinler bu mikroskoplara bağlı Canon 450D model dijital fotoğraflama ünitesi ile belgelenmiştir.

• X-Işınları Difraksiyon (XRD) İncelemeleri

Araziden derlenen ikincil mineral örneklerinin XRD incelemeleri Karadeniz Teknik Üniversitesi, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü X-ışınları Difraktometri Laboratuvarında Panalytical X'Pert3 Powder XRD model X-ışınları difraktometresi kullanılarak gerçekleştirilmiştir. XRD incelemelerindeki aletsel koşullar Anot: Cu ($\text{CuK}\alpha=1.5406 \text{ \AA}$), gerilim 40 kV, akım 40mA, $2\theta=2.000$ ile 70.010 aralığında, zaman sabiti=1sn şeklindedir. XRD difraktogramlarında çözümlemeler J.C.P.D.S. (1990) kartları ve Crystal Impact Match v3.0 kullanılarak yapılmıştır.

• Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM) İncelemeleri

SEM incelemeleri Karadeniz Teknik Üniversitesi, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü SEM Laboratuvarında bulunan ZEISS EVO LS 10 model ve Recep Tayyip Erdoğan Üniversitesi Merkezi Laboratuvarında bulunan Jeol 6510 model elektron mikroskop cihazları ile gerçekleştirilmiştir. İncelemeler için örneklerin doğal engebeli yüzeyleri altın ile kaplanmıştır. İncelemelerde dikkat edilen hususlar mineral örneklerinin süksesyonu, dokusal ilişkileri ve farklı morfolojilerin seçilebilmesidir.

- **Elektorn Mikro Prob Analizleri (EPMA)**

İlk olarak, EPMA analizi yapılacak parlatılmış ince kesit örnekleri kaplama ünitelerinde karbon ile kaplanmışlardır. Çalışma Ankara Üniversitesi Yer Bilimleri Uygulama ve Araştırma Merkezinde JEOL 8900 Superprobe WDS eklentili cihaz kullanılmıştır. Jeol marka cihazın tercih edilmesindeki neden, iz elementlerin ve Na, F gibi düşük kütle numaralı elementlerin ölçümelerini daha hassas gerçekleştirmiş olmalarındandır. Cihaz doğal plajyoklas, feldspat ve cam standartları ile kalibre edilmiştir. Çalışmada analizi gerçekleştirilen ikincil minerallerin yüksek enerji altında kolay parçalanabilmesinden ötürü ölçümler düşük enerji şartlarında gerçekleştirilmiştir. Işın çapı 10 µm, hızlandırma voltajı 15 kV ve ışın akımı 4.021 nA tutularak ölçüm süresi uzatılmış, sonuçta minerallerin parçalanmasının önüne geçilmiştir. Ana elementler için % 0.5, iz elementler için ise 100 ppm saptama limitlerini oluşturmaktadır.

- **Kimyasal Analizler**

Çalışma alanından derlenen toplam 8 adet volkanik kayaç ve mineral örneğinin tüm kayaç analizleri ve örnek hazırlama işlemleri ACME (Kanada)'de hizmet alımı şeklinde yaptırılmıştır. Ana element ölçümleri ICP-AES (İndüktif Eşleşmiş Plazma-Atomik Emisyon Spektrometri) iz ve nadir toprak elementler ICP-MS (İndüktif Eşleşmiş Plazma-Kütle Spektrometri) cihazları kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Cihaz kalibrasyonları USGS ve CANMET standartları kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Analitik ölçümün hatasızlığı için her bir ölçümün toplamının %98.5 ile %101 arasında olmasına dikkat edilmiştir. Kimyasal analizlerde saptama limitleri ana oksitler için % 0.01, iz ve nadir toprak elementlerde ise As, Br, Cd, Cs, Sb için 0.5 ppm, Be, Co, Ga, Ge, Nb, Sc, Sn, W, için 1 ppm, Ba, Se için 3 ppm, Hf, In için 0.2 ppm, Ta, Th, Tl, U, V, Ce, Nd, Sm, Gd, Tb, Dy, Ho, Er, Yb, La için 0.1 ppm, Ni için 20 ppm, Y, Rb, Mo için 2 ppm, Zr için 4 ppm, Lu için 0.04 ppm olarak verilmektedir.

2.2.3. Laboratuvar Ortamında Sentetik Mineral Üretimi

- **pH Nötr Ortamlarda Kullanılmak Üzere Tuz Elde Edilmesi**

Sentetik mineral üretimi ve mineral dönüşüm süreçleri için pH nötr ortamlarda kullanılmak üzere rafine NaCl yerine, doğal ortamı taklit edebilmek adına deniz tuzu kullanılmıştır. Isıya dayanıklı cam kap içerisine kademeli olarak Karadeniz Teknik Üniversitesi Sahil Tesisleri mevkiinden alınan 6,5 lt deniz suyu 95 °C sıcaklıkta manyetik sıcak tabla üzerinde manyetik döner balık yardımıyla buharlaştırılarak 186 gr tuz elde edilmiştir (Şekil 2.3).

• Mineral Sentezi İçin Silika Jel Üretimi

Çalışma alanı dışından elde edilen kuvars kristali öğütülüp 30 mikron gözenek çaplı elek ile elenerek 30 mikrondan daha küçük taneli silis tozu elde edilmiştir. Silis kumunun içermesi muhtemel safsızlıkları gidermek ve kristal yapısını bozmak amacıyla malzeme 850 °C’de kül fırını içerisinde 4 saat bekletilmiş, kristal yapısı bozulmuş ardından ortam pH’ı düşürülerek çözülmek amacıyla HCl içerisinde 3 saat boyunca 80 °C’de etüvde bekletilerek kalan muhtemel organik madde artıklarının siyah bant filtre yardımı ile süzülerek ortamdan uzaklaşması sağlanmıştır. Arta kalan katı silis kumu, saf su ile yıkanarak kurutulmuştur (Yılmaz, 2013). Yakın plan görünümünde çökelen tuz kristallerinin özşekilli yapılar oluşturduğu görülmektedir.



Şekil 2.3. 95 °C’de manyetik karıştırıcılı sıcak tabla üzerinde buharlaştırılan 6.5 litre deniz suyundan elde edilen 186 gr tuz.

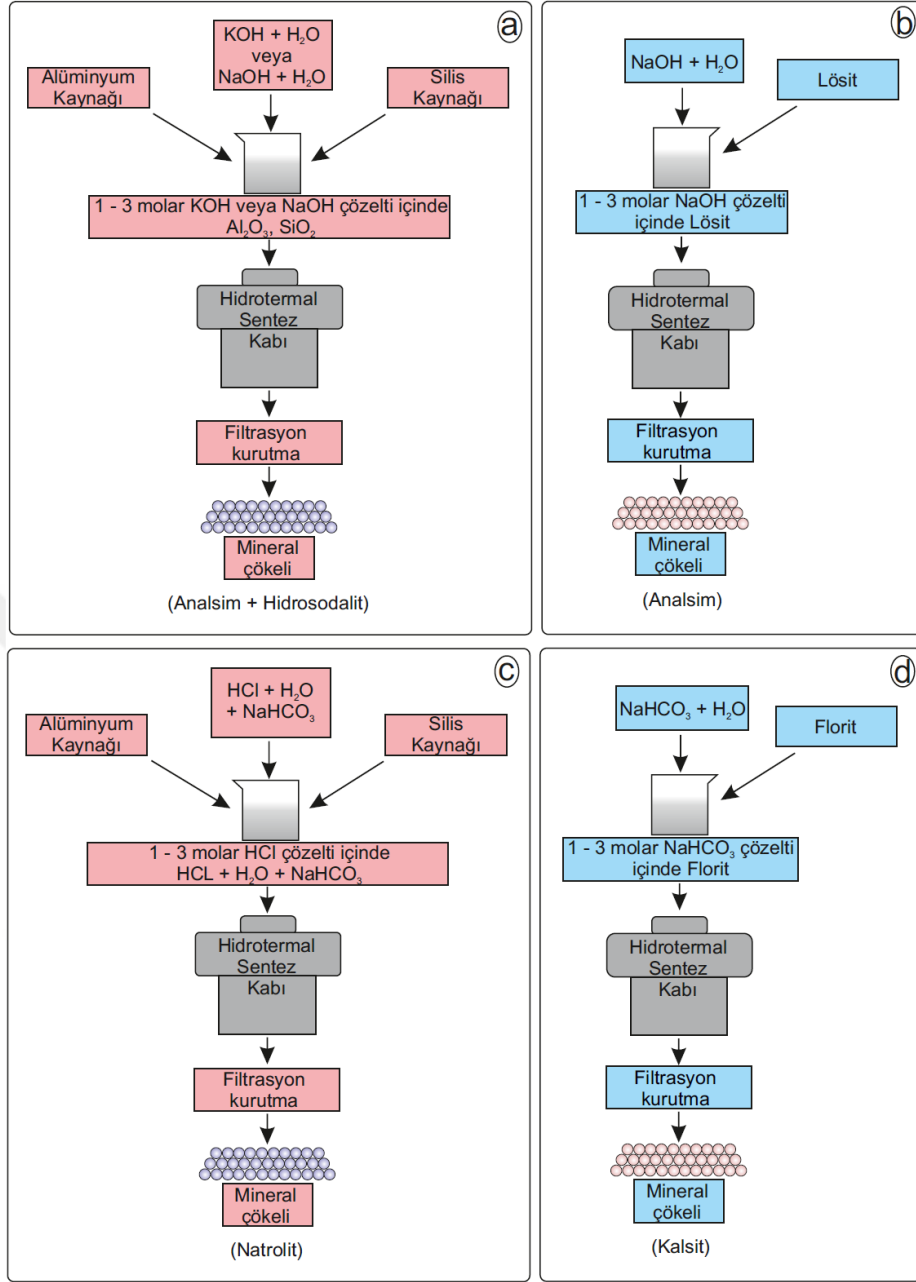
- **Mineral Sentezi Süreci**

Mineral sentezi teflon kaplar içerisinde ve mikrodalga fırın kullanılarak 100°C, 125°C, 150°C, 175°C ve 200°C sıcaklıklarda farklı basınçlar altında denenmiştir (Şekil 2.4). Bu sıcaklık değerlerinin seçilmesindeki amaç, kısa sürede uygun sıcaklıklarda alterasyon süreçlerinin tamamlanabildiğini göstermek ve çalışmada kullanılacak mineral oluşum ve dönüşüm şartlarını literatürdeki benzerleri ile doğrulayıp karşılaştırabilmektir.

Sentezleme esnasında hazırlanan çözeltiler tampon değerler dikkate alınarak mümkün olan en yüksek konsantrasyonlarda hazırlanmıştır. Bunun iki sebebi vardır; birincisi ortamın pH değerini asit veya baz olması durumunda maksimum seviyede tutmak ve reaksiyonun başlangıç hızını zaman faktörü etkisinde arttırmaktır. Bu maddenin kendi içinde iki bileşeni vardır. Birincisi 3, 6, 10, 20 saat gibi kesintisiz reaksiyon sürelerinde tam zaman dilimini yakalamak, ikincisi ise deney başlangıcında kullanılan plajyoklas, lösit veya sentetik ürünün bozunma sürecini kolaylaştırarak rekristalizasyon evresini hızlı başlatabilmek. Çözeltilerin en yüksek konsantrasyonda hazırlanmalarının ikinci sebebi ise tamamlayıcı moleküler girdili ürünler sayesinde maksimum Na, K, Ca konsantrasyonları ile yeni ürünün kristallenmesini sağlayarak çökeltme eşiğine ulaşmaktır. Deney düzeneklerine ait bazı şematik gösterimler Şekil 2.5’de verilmiştir.



Şekil 2.4. Mineral sentezinin yapıldığı mikrodalga fırına ait 50 ml hacimli teflon hidrotermal sentez odacığı.



Şekil 2.5. Asidik ve bazik çözeltiler kullanılarak sentezlenen minerallere ait hidrotermal deney ortamlarının şeması. a: analsim ve hidrosodalit oluşumları, b: lösitin analsime dönüşümü, c: natrolit oluşumu, d: florit üzerinde kalsit büyütülmesi.

2.2.4. Foid Minerallerinin Oluşum Koşullarının DeneySEL Yöntemle Belirlenmesi

Çalışma alanında bulunan kayalardaki foid minerallerinin oluşum koşullarını belirlemek için laboratuvar koşullarında, analsim kristali oluşturabilecek ana oksitler

kullanılarak asidik ve bazik şekilde farklı ortamsal şartlar altında, analsim kristalleri sentezlenmeye çalışılmıştır.

Sentetik mineral üretimi teflon kaplar içerisinde ve mikrodalga fırın kullanılarak 175°C ve 200 °C sıcaklıklarda farklı basınçlar altında denenmiştir.

• Bazik Ortamda Analsim Sentezleme Süreci

Çalışma alanı dışından elde edilen kuvars kristali öğütülüp 30 mikron gözenek çaplı elek ile elenerek 30 mikrondan daha küçük taneli silis tozu elde edilmiştir. Silis kumunun içermesi muhtemel safsızlıkları gidermek amacıyla malzeme 850 °C’de kül fırını içerisinde 4 saat bekletilmiş, ardından ortam pH’ı düşürülerek HCl içerisinde 3 saat boyunca 80 °C’de etüvde bekletilerek kalan muhtemel organik madde artıklarının ortamdan uzaklaşması sağlanmıştır. Elde edilen katı silis kumuna basit analsim formül dizimine göre silis/alüminyum oranı 1/2 olacak şekilde Al_2O_3 ilave edilmiştir. Karışımın 1 gram kadarı, 1 molar 20 ml NaOH çözeltisi içerisinde 175°C ve 200°C sıcaklıkta 5 saat süre ile teflon kap içerisinde mikrodalga fırında kısmi döngü (twist) hareketi ile bekletilmiştir. 175 °C sıcaklıkta teflon kap içerisinde yaklaşık 7 bar, 200°C sıcaklıkta teflon kap içerisinde yaklaşık 22 bar basınç oluşmaktadır.

• Asidik Ortamda Analsim Sentezleme Süreci

Çalışma alanı dışından elde edilen kuvars kristali öğütülüp 30 mikron gözenek çaplı elek ile elenerek 30 mikrondan daha küçük taneli silis tozu elde edilmiştir. Silis kumunun içermesi muhtemel safsızlıkları gidermek amacıyla malzeme 850 °C’de kül fırını içerisinde 4 saat bekletilmiş, ardından ortam pH’ı düşürülerek HCl içerisinde 3 saat boyunca 80 °C’de etüvde bekletilerek kalan muhtemel organik madde artıklarının ortamdan uzaklaşması sağlanmıştır. Elde edilen katı silis kumuna basit analsim formül dizimine göre silis/alüminyum oranı 1/2 olacak şekilde Al_2O_3 ilave edilmiştir. Elde edilen karışımın 1 gram kadarı, %2 lik HF çözeltisi içerisinde sodyum (Na) kaynağı 0.5 gr NaCl olacak şekilde 175°C ve 200°C sıcaklıkta 5 saat süre ile teflon kap içerisinde mikrodalga fırında kısmi döngü (twist) hareketi ile bekletilmiştir. 175°C sıcaklıkta teflon kap içerisinde yaklaşık 7 bar, 200°C sıcaklıkta teflon kap içerisinde yaklaşık 22 bar basınç oluşmaktadır.

Hidrotermal teflon kapların bazılarının içerisinde tıpkı bazik ortamdaki gibi klinopiroksen kristali bırakılmış ancak klinopiroksen yüzeyinde kayda değer bir kaplama ya da kristal nüvelenmesi gözlemlenememiştir.

- **Bazik Hidrotermal Ortamda Lössit Sentezi**

Lössit kristali sentezlenme işlemi, potasyumun elde edilebilmesinin kolay olması sebebiyle farklı konsantrasyonlarda KOH çözeltisi oluşturularak hem amorf silis hem de kuvars kristali ile gerçekleştirilmiştir. Kuvars kristalinden itibaren oluşturulan silika jel kullanılan hidrotermal ortamda 0,4 gr Al_2O_3 toz karışımı 20 ml ve 2 molar derişimdeki KOH çözeltisi içerisinde $175^\circ C$ ve 7 bar basınç altında 5 saat süre ile bekletilmiştir. Amorf silisten itibaren alüminyumoksit ile 1 molar 20 ml KOH çözeltisi ile hidrotermal ortam oluşturulmuştur.

- **Sentetik Lössit Kristallerinin Analsime Dönüşüm Süreci**

Sentetik lösit kristalleri mikrodalga fırında, teflon kröze içerisinde, silika jel kullanılarak 0,4 gr Al_2O_3 toz karışımı 30 ml, 2 molar ve $150^\circ C$ 'de, ortalama 7 bar basınç altında, NaOH çözeltisi ile oluşturulan hidrotermal ortamda 10 saat bekletilmek suretiyle doğal ortamdaki alterasyon süreci hızlandırılarak oluşturulmaya çalışılmıştır.

- **Doğal Lössit Kristallerinin Analsime Dönüşüm Süreci**

Vezüv volkanından elde edilen kayaların incelemelerinde belirlenen izotrop foid kristallerinin ve elektron mikropob analizleri ile lösit oldukları belirlenmiştir

Lössit kristalleri kayaktan ayrıştırılmadan, tek yüzeyi parlatılmış 1 cm^2 'lik parçalar hâlinde, teflon kröze içerisinde, $150^\circ C$ 'de, ortalama 7 bar basınç altında, 2M NaOH çözeltisi ile oluşturulan hidrotermal ortamda 10 saat bekletilmek suretiyle alterasyon süreci oluşturulmaya çalışılmıştır. Sürecin sonunda saf su ile yıkayıp etüvde kurutulmuşlardır.

- **Bazik Ortamda Plajyoklastan İtibaren Analsim Sentezi**

İki molarlık NaOH çözeltisi ile izole teflon kaplar içerisinde hidrotermal bazik ortam oluşturulmuştur. 20 ml çözelti içerisine 1 gram spilitleşmiş bazalt örneklerinden elde edilen plajyoklas kristalleri eklenmiştir. Toz halde eklenen plajyoklasın yaklaşık kristal boyutu 50 mikrondur. 10 ve 20 saat süren iki deneyin ortam sıcaklığı 150 °C ve basıncı ortalama olarak 4 bar olarak ölçülmüştür.

- **Asidik Ortamda Plajyoklastan İtibaren Analsim Sentezi**

Yüzde 10'luk HCL çözeltisi kullanılarak, izole teflon kaplar içerisinde hidrotermal asidik ortam oluşturulmuştur. 20 ml HCl çözeltisi içerisine spilitleşmiş bazalt örneklerinden elde edilen plajyoklas kristalleri, Na⁺ kaynağı olarak NaCl eklenmiştir. 10 ve 20 saat süren deneyin, ortam sıcaklığı 150°C ve basınç ortalama olarak 4 bar olarak ölçülmüştür. Toz halde eklenen plajyoklasın yaklaşık kristal boyutu 50 mikrondur.

- **Bazik Ortamda Kalsit Sentezi**

Kayaçlarda lösit ve analsime eşlik eden kalsit minerallerinin sentezi için kalsiyum (Ca) kaynağı olarak florit minerali kullanılmıştır. Ortalama boyutu 200 mikron civarında florit parçacıkları 3 molar 25 ml NaOH çözeltisi içerisine bırakılmıştır. Karbon (C) kaynağı olarak NaHCO₃ kullanılarak, 150 °C sıcaklıkta 5 saat karıştırma programında mikrodalga fırın içerisinde, izole teflon krözede reaksiyon gerçekleştirilmiştir.

2.2.5. Büro Çalışmaları

Büro çalışmaları; arazi, literatür araştırması, laboratuvar aşamalarındaki çalışma esnasında derlenen verilerin uygulamaya aktarılması ve yorumlanması aşamalarını kapsamaktadır. Arazi çalışmaları ve literatür taraması sonucunda daha önce farklı araştırmacılar tarafından hazırlanmış jeolojik haritalar yenilenmiş, jeolojik birimler yerinde incelenmiş ve kayaç ve ikincil mineral örneklemeleri yapılmıştır. Harita, kolon kesit ve şematik çizimlerin bazıları Grapher 12, CorelDRAW X7 ve Adobe Photoshop CS2 programlarında gerçekleştirilmiştir. Elde edilen kayaç analizlerinin sonuçları, Golden Software Grapher 12 programı kullanarak ilgili diyagramlara düşürülmüştür. X-ışınları

analizlerinin sonuçları powder diffraction files ve Crystal Impact Match v3.0 programı yardımıyla belirlenmiştir. Kayaç ve ikincil mineral analizlerinin sonuçları ve bunların grafiksel gösterimi diğer mineralojik-petrografik verilerle birlikte yorumlanmak sureti ile Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü tarafından tanımlanmış tez yazım kurallarına uyularak bu rapor hazırlanmıştır.



3. BULGULAR

3.1. Çalışma Alanlarının Stratigrafisi ve Petrografisi

Arazi çalışmaları Kuzey Anadolu Sıra Dağları'nın doğu kesiminde, foid minerali içeren Trabzon (Değirmendere Vadisi ve Ayasofya-Yeşiltepe hattı) ve Bayburt (Everekhanları) bölgelerinde yürütülmüştür. Önceki çalışmalarda belirlendiği üzere çalışılan kayaçlar foid mineralleri içermektedir (Bektaş ve Gedik, 1988, Şen vd., 1998; Bülbüloğlu, 2001, Aydın, 2003; Topuz vd. 2008; Yücel, 2013; Yücel vd., 2014).

3.1.1. Bayburt (Everekhanları) Yöresi

Bayburt-Everekhanları yöresi, Bayburt-Maden ilçe merkezine 5 km mesafede olup güney kısmında yer almaktadır. Birim Bektaş ve Gedik (1988) tarafından Everekhanları Formasyonu olarak adlandırılmıştır ve karasal kırıntılar ile ara katkılı lösitli düşük titanyumlu alkali volkanizma olarak tanımlamışlardır. Birim rudistli resifal kireç taşlarının aşınma boşlukları üzerine akmış olarak görülür ve kırmızı renkli litik kumtaşı ile ara katkılıdır. Birimin üzeri *nummulit* sp. içeren, Eosen yaşlı fliş tarafından örtülmüştür (Bektaş ve Gedik, 1988, Topuz vd., 2008) (Şekil 3.1).

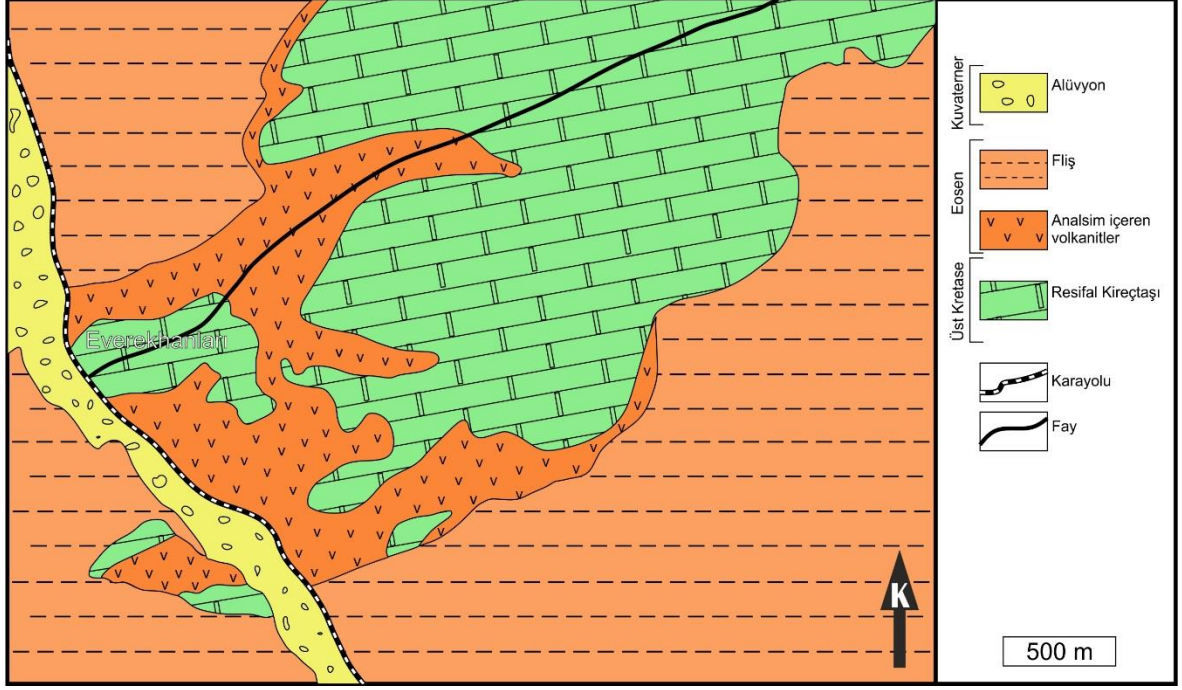
Birim geneli itibarıyla ayrılmıştır ve çoğu alanda hamur malzemesi tümünden alteredir (Şekil 3.2). Çok yerde çatlaklı, pembe-beyaz renk tonlarında, öz ve yarı-öz şekilli iri fenokristaller içermektedir (Şekil 3.2b,c,d,e). İlk kez Bülbüloğlu (2001) tarafından yapılan mineral kimyası çalışmasıyla fenokristaller analsim olarak belirlenmiştir.

Makro incelemelerinde öz şekilli özellik gösteren foid kristallerinin kenar çeperlerinde ve çatlaklarında karbonat zarflanmaları görülmektedir. Ayrıca öz şekilli görülen yüzey alanlarının pürüzsüz değil, daha çok noktasal boşuklara sahip, yer yer kırık çatlak gibi etkenlerce bozuştığı da görülebilmektedir (Şekil 3.2c,d,e).

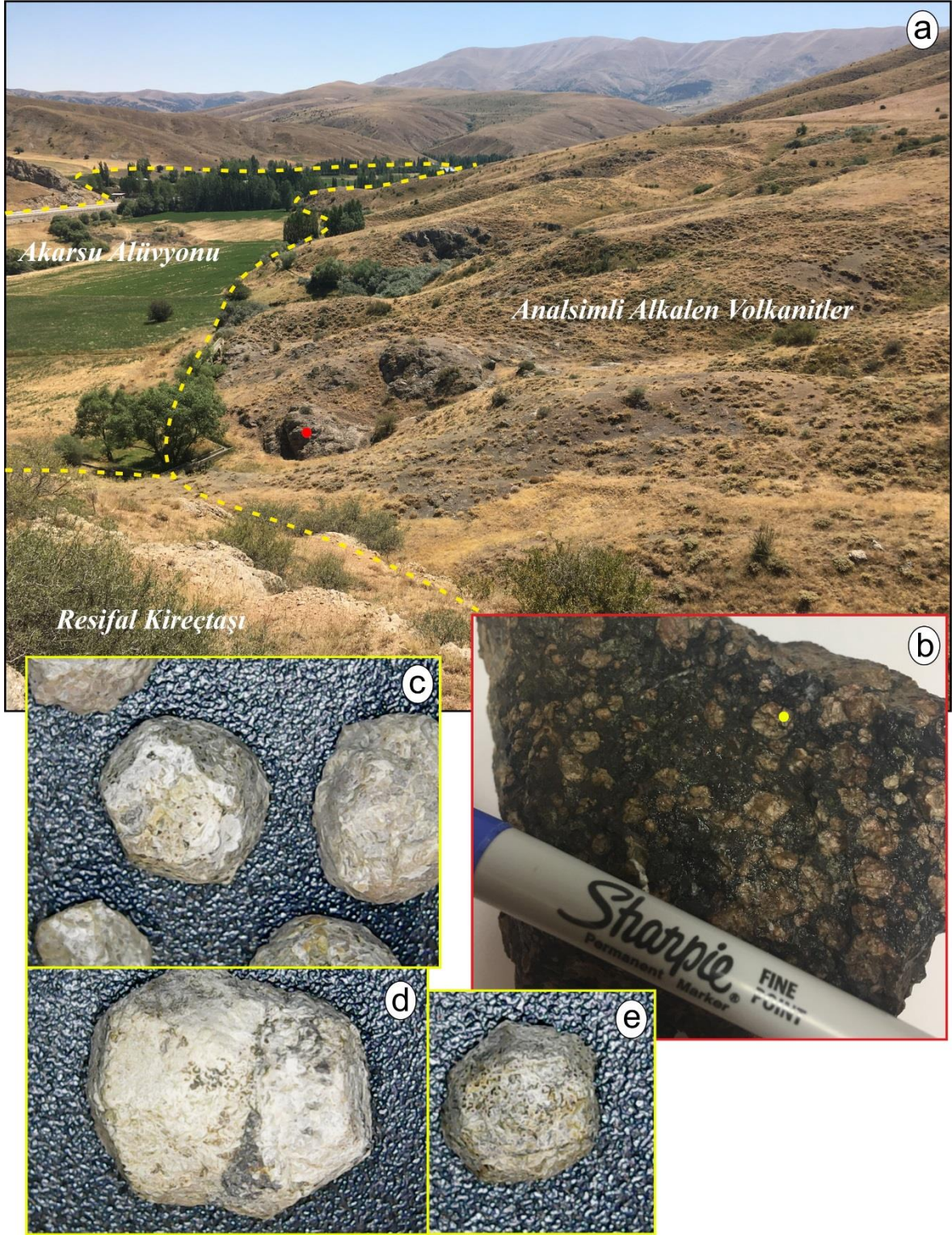
Polarizan mikroskop altında kısmen izotrop özellik gösteren öz ve yarı öz şekilli kristallerin boyutları santimetre ölçeğine kadar varabilmektedir. Koyu gri-siyah tonlarda çapraz nikol renkleri gösterirler ve kayacın yaklaşık olarak yüzde kırkıdan fazlasını oluştururlar.

Bu kristallerin içerisinde kalsit dolgulu çatlak hatları vardır (Şekil 3.3c,e). Analsim kristallerinin bazıları ikizlenme göstermektedir (Şekil 3.3d). Kayacın foid mineralleri haricindeki hâkim minerali klinopiroksenlerdir.

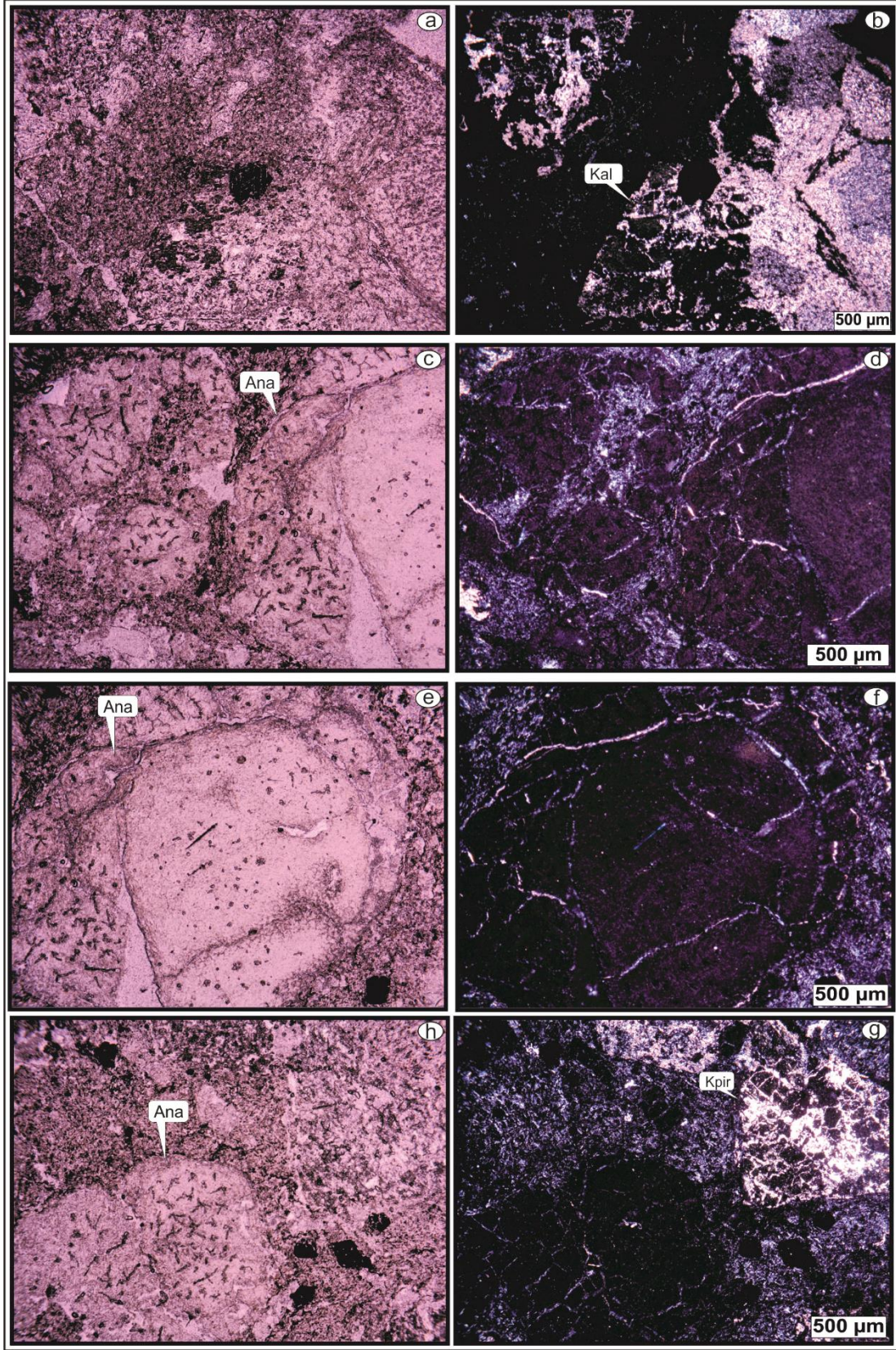
Kayacın geneli aşırı alteredir. Hamur malzemesi kısmen camsı görülmektedir ancak büyük oranda alteredir.



Şekil 3.1. Bayburt-Everekhanları yöresi jeoloji haritası (Bektaş ve Gedik, 1988).



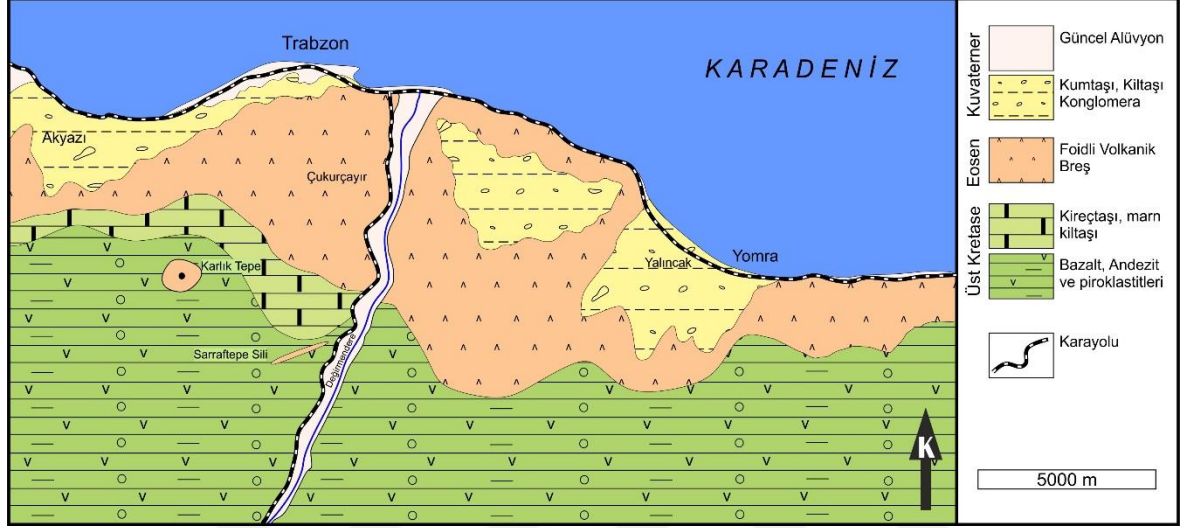
Şekil 3.2. Bayburt-Everekhanları yöresi foidli alkalen kayaçların genel arazi görünümü (a). Kayaç içerisinde bulunan foid kristallerinin büyüklükleri yarım santimetreye kadar ulaşmaktadır (b) ve bir kısmı ikizlenme (d) göstermektedir.



Şekil 3.3. Bayburt-Everekhanları yöresi analsimlerine ait ince kesit mikrofotografaları.
(Kal:Kalsit, Ana:Analsim, Kpir:Klinopiroksen)

3.1.2. Trabzon Yöresi

Çalışma alanında Trabzon - Ortahisar dâhilinde foid minerali içeren volkanik breşler, dayk ve siller, mevcuttur. Bu birimler geneli itibarıyla Eosen yaşlı Kabaköy Formasyonu dâhilindedir (Şekil 3.4).



Şekil 3.4. Trabzon yöresine ait jeolojik harita (Güven, 1993).

Foid minerali içeren volkanik breşlere ait taze kayaç yüzeylenmeleri Trabzon Ayasofya – Yeşiltepe hattında inşaat temellerinde, yeni tamamlanan yol çalışmaları sebebiyle Trabzon-Maçka kara yolu üzerinde Dolaylı köyü civarında yüzeylenme vermektedir (Şekil 3.5a). Kayaçların makro örneklerinde volkanik breşlerin, breş çakıllarının çapları 60 cm’ye kadar çıkmaktadır (Şekil 3.5b). Birim dâhilinde breş çakılları içerisinde 5 mm’ye varan büyüklüklerde öz şekilli klinopiroksen kristalleri belirgin şekilde görülmektedir (Şekil 3.5c). Breş çakıllarının ve ara malzemenin çatlak ve boşluklarında beyaz renkli kalsit ve zeolit türlerinde ikincil mineraller gelişmiştir (Şekil 3.5b). Birimin üst seviyesine, volkanik kökenli çakıllar içeren kum ve kil bağlayıcılı gevşek tutturulmuş sedimanter malzeme gelir ve birim mafik dayklar tarafından kesilmiştir (Şekil 3.5d).

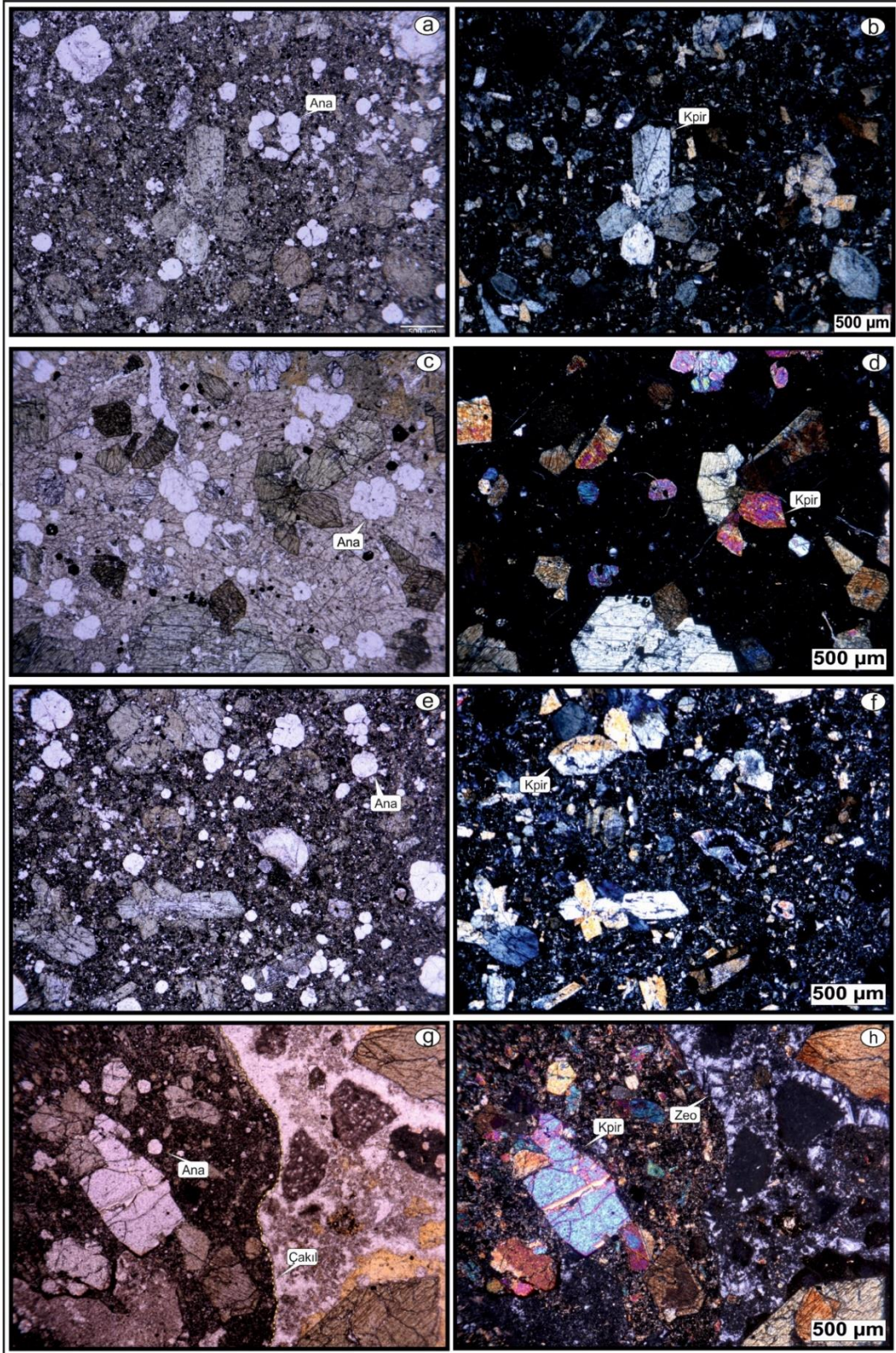
Breş çakılları ve bağlayıcılarından alınan el örneklerinden elde edilen ince kesitlerin incelemelerinde bu kayaçların bağlayıcı kısmının bazı el örneklerinde altere olduğu gözlemlenmiştir (Şekil 3.6g,h). Breş çakıllarının mineralojik bileşimleri klinopiroksen, izotrop özellik gösteren foid kristalleri ve opak minerallerden oluşmaktadır (Şekil 3.6). Bu mineraller bazı bölgelerde tümenden camsı bir hamur malzemesi içerisinde dağılmıştır (Şekil

3.6c,d). Klinopiroksen mineralleri öz ve yarı öz şekillerde bulunmakla birlikte içerisinde opak mineraller ve ergiyik kapanımlar görülmektedir. Klinopiroksenlerin bazı kesitlerinde kum saati ikizleri ve halkalı zonlanma görülmektedir ve hyaloporfirik doku gösteren breş çakılları içerisinde kümülofrik dokular da meydana getirmektedir (Şekil 3.6b). İzotrop özellik gösteren foid kristalleri, öz ve yarıöz şekillerde altıgen – sekizgen çoğunlukla ikizlenmeli şeklide kayaç hamurunda dağılmıştır. Bazı kristaller tam izotropik özellik sergilememektedir. Çapraz nikolde yüksek ışık altında I. Sıranın koyu gri tonlarında görülmektedir. Hamur malzemesinde gözlenen opak mineraller öz şekilsiz olarak görülmekle birlikte klinopiroksenlerin içerisinde kapanım hâdekiler ise öz ve yarı öz şekillidir (Şekil 3.6c).





Şekil 3.5. Dolaylı köyü eski ana yol güzergahında yüzeylenme veren çakılları analsim kristalleri içeren volkanik breşler.

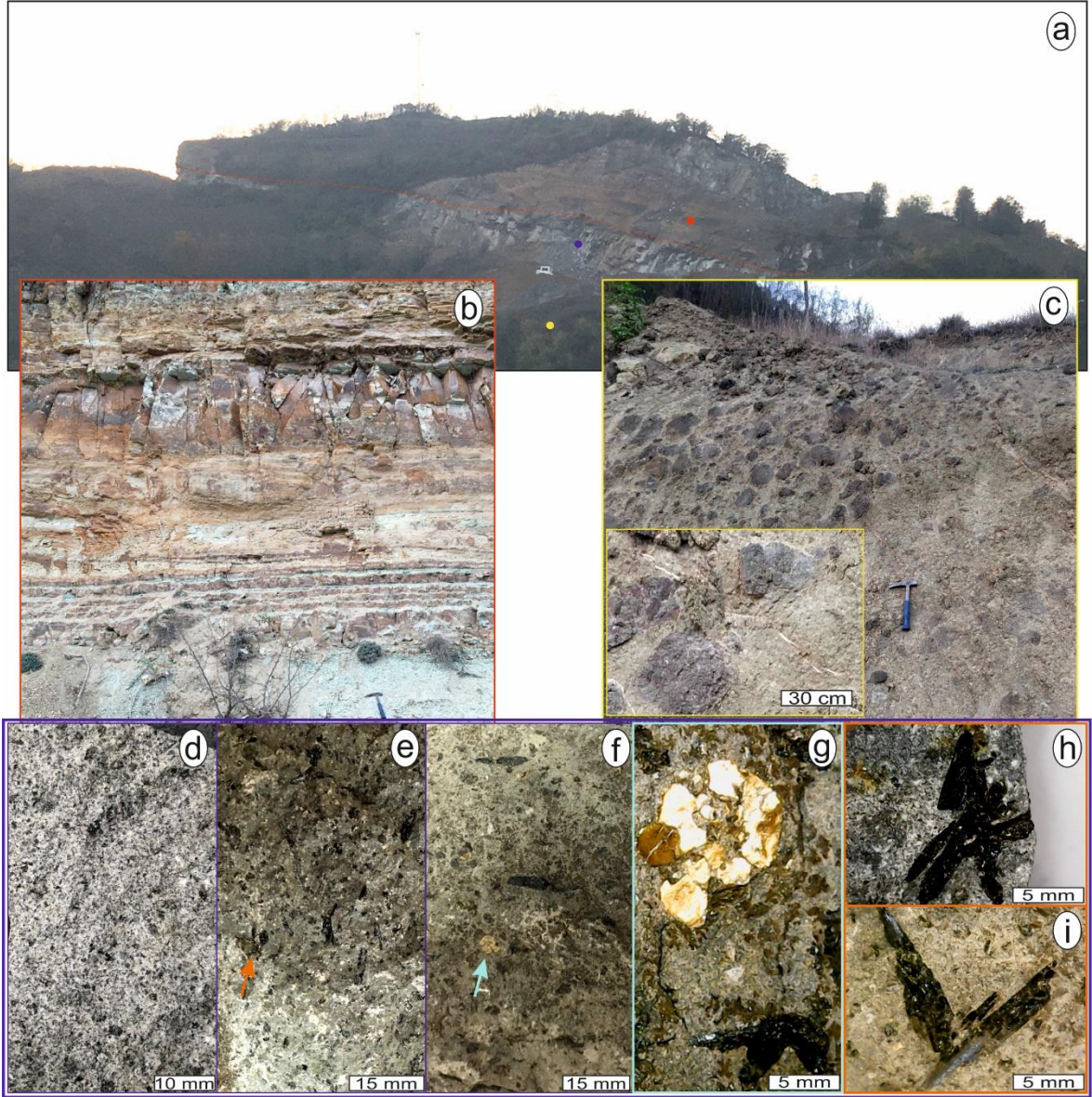


Şekil 3.6. Trabzon – Ortahisar bölgesinden derlenen volkanik breş ve çakıllarından alınan ince kesit görüntüleri (Ana: analsim, Kpir:klinopiroksen, Zeo:Zeolit).

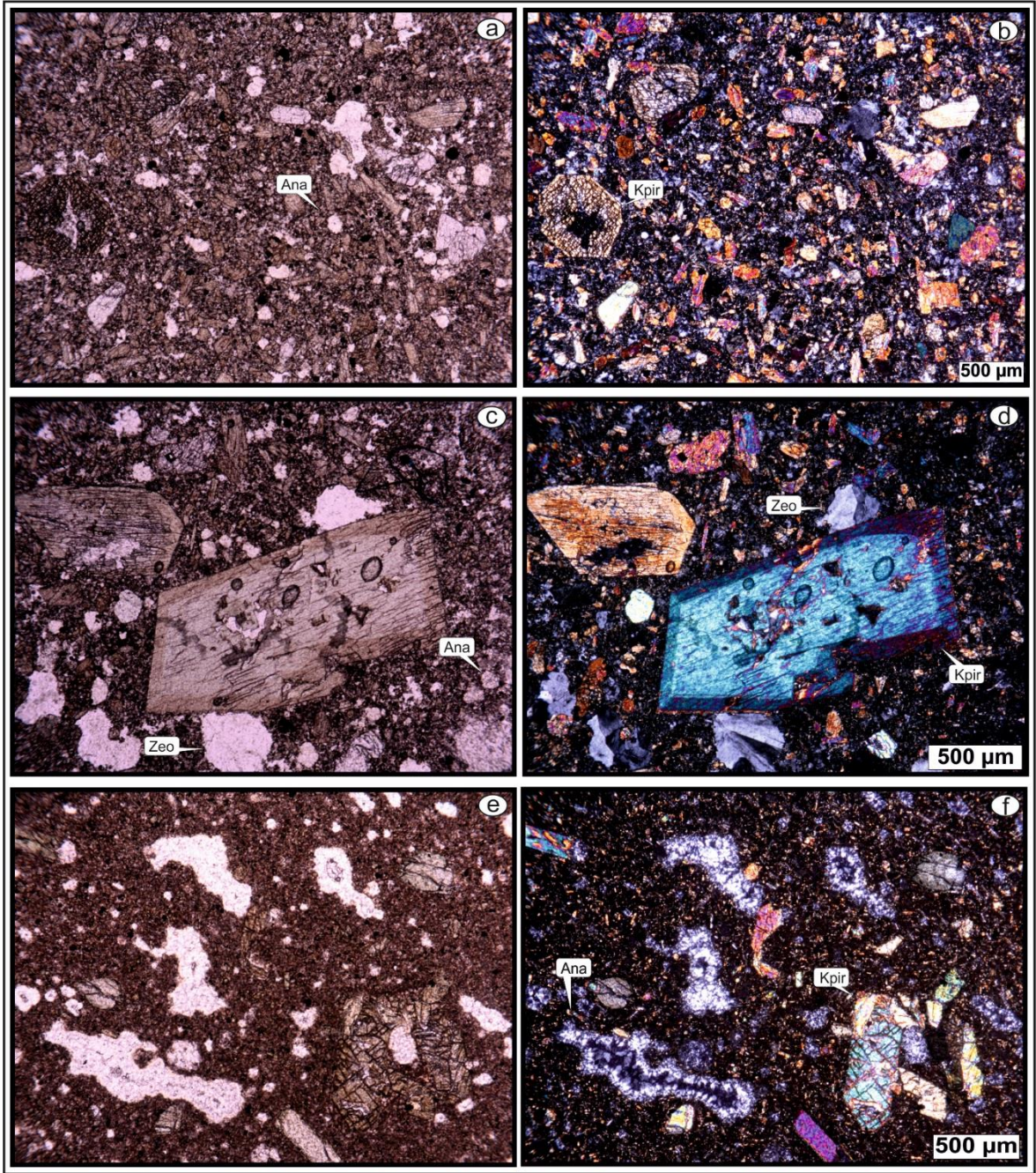
Çalışma alanında yüzeylenme veren sokulum kayaçlarının en önemli ve en az altere olanı Trabzon – Ortahisar – Akoluk mevkiindeki taş ocağında yüzeylenme veren tabanda aşırı altere aglomeralar, üst kesimde ise karbonatlı, tabakalı sedimanter birimlerin arasına yerleşmiş, yaklaşık 30 m kalınlığında Sarraftepe silidir (Şekil 3.7a,b,c). Birimin genel rengi kahverengi ve açık yeşil tonlarda olmakla birlikte, taş ocağında yüzeylenen kesimi ise sokulum esnasında meydana gelen pişmeden ötürü daha koyu renklidir (Şekil 3.7c).

Sarraftepe siline ait kayaçlar makroskobik olarak incelendiğinde mineralojik ve dokusal olarak heterojen bir sildir. Titano – ojitlerin (Şekil 3.7h,i) silin her tarafına homojen olarak yayılmasına rağmen, silin alt kısımlarında istavroz ikizi gösteren amfiboller, üst kesimlerinde ise daha çok biyotitler görülür (Şekil 3.7g). Dokusal olarak silin orta kesimleri hamur kısmının zeolitlenmesinin etkisiyle kar taneleri gibi açık renkli benekler oluştururken alt ve üst dokanaklar koyu gri renklidir. Taze kırık yüzeylerinde hamur kısmı açık gri renktedir. İkincil mineral olarak çatlaklarda ve boşluklarda kalsit ve zeolit mineralleri gelişmiştir.

Sarraftepe silinin petrografik incelemelerinde izotrop özellik gösteren foid kristalleri ve mafik mineral olarak yer yer kümülofrik doku gösteren klinopiroksen, amfibol ve biyotit kristalleri belirlenmiştir (Şekil 3.8). Birimin daha çok üst kısımlarında gelişen elipsoidal gaz boşluklarında zeolit mineralleri gelişmiştir (Şekil 3.8e,f). Klinopiroksenler çoğunlukla öz ve yarı öz şekillerde kayaç hamurunda homojen dağılmış ve kümülofrik yapılar oluşturmaktadırlar. Tek ve çift yönde dilinim gösteren klinopiroksen kristallerinin bazı örneklerinde ise zonlanma görülmekte ve merkez kısımlarında elek dokuları ve opak kapanımlar bulunmaktadır ve alterasyondan etkilenmemişlerdir (Şekil 3.8c,d). Biyotitlerin petrografik incelemelerinde koyu kahverengi tonlarda renk pleokroizması görülmektedir. İçlerinde yer yer opak kapanımlar bulunmakla birlikte alterasyondan etkilenmemişlerdir. Amfiboller istavroz ikizlenmesi göstermektedir ve yeşil tonlarda pleokroizması vardır. Kayaç içerisindeki foid kristallerinin geneli izotrop özelliktedir ve öz ve yarı öz şekilli olarak bulunmaktadır. Bir kısım izotrop özellik göstermeyen analsimlerin girişim renkleri birinci sıranın koyu gri renklerindedir. Bunun sebebinin lösit kristallerinin analsime dönüşümü esnasında düşük sıcaklıkta ideal kübik kristalizasyonuna ulaşamaması sebebiyledir. Kayaç hamuru kısmen alteredir. Kayacın geneli hyaloporfirik doku göstermektedir.



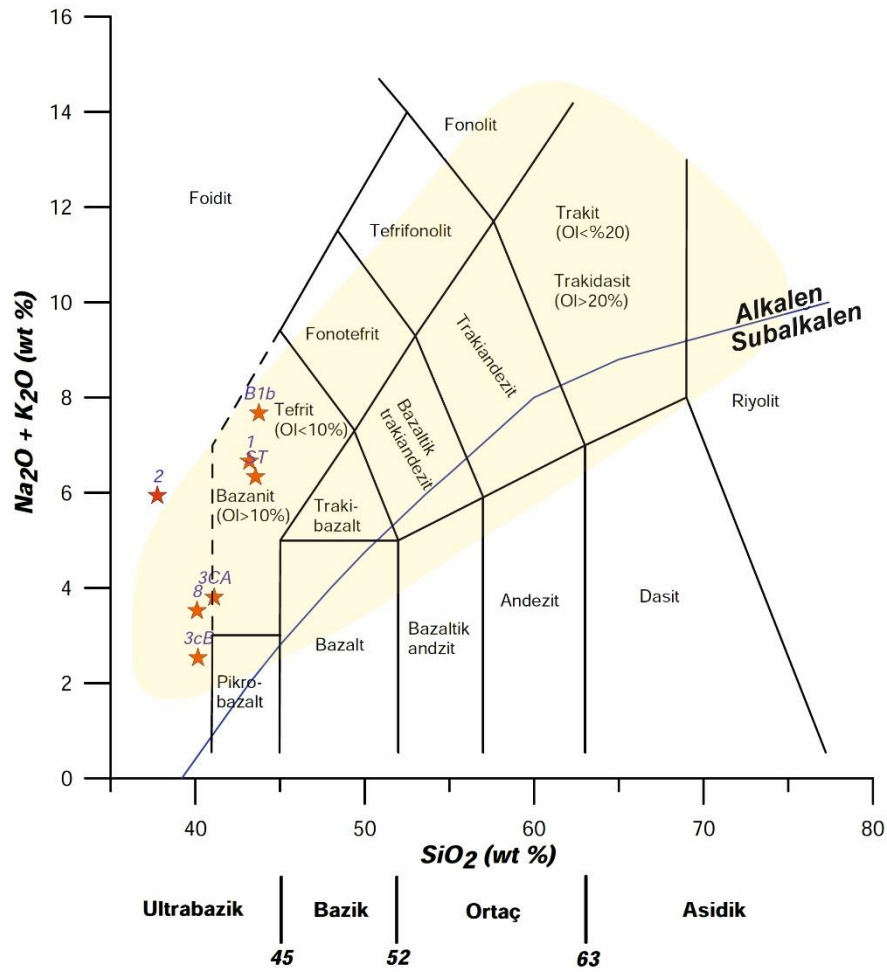
Şekil 3.7. Trabzon-Ortahisar (Akoluk) mevkiindeki taş ocağında yüzeyleme veren, karbonatlı sedimanter istif (b) ile aglomeralar (c) arasına yerleşmiş, üst kısımları nispeten homojen (d), alt kısımlarında (e,f) ise iri flogopit (g) ve istavroz ikizi gösteren amfiboller (h,i) fenokristalleri içeren tefrit bileşimli sil (a)



Şekil 3.8. Sarraftepe siline ait ince kesit görüntüleri. İzotrop özellik gösteren öz ve yarıöz şekilli analsim (Ana) kristalleri birinci sıranın koyu gri tonlarını göstermektedir (a,b). Klinopiroksen (Kpir) kristalleri bazı durumlarda zonlanma göstermekte ve orta kesimlerinde elek dokusu görülmektedir (c,d). Silin üst kısımlarından alınan örneklerde zeolit (Zeo) mineralleri ile doldurulmuş elipsoidal boşluklar bulunmaktadır (c,d,e,f)

3.2. Foid Minerallerinin İçinde Bulunduğu Kayaçların Jeokimyası

Le Maitre vd. (1989, 2002)'nin önerdiği SiO_2 'ye karşı $\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$ (TAS) diyagramına düşürülen örneklerin konumlarına göre tümü alkalen karakterli olup foidit, tefrit bileşimlerinde oldukları görülmektedir. Bayburt Everekhanları'ndan alınan örnek tefrit bileşimindeyken Trabzon yöresinden alınan örnekler tefrit ve foidit alanlarına düşmektedir (Şekil 3.9). SiO_2 ye karşı $\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$ (TAS) diyagramında Na ve K gibi elementlerin alterasyon etkisi ile farklılık gösterebilmesi olasıdır.

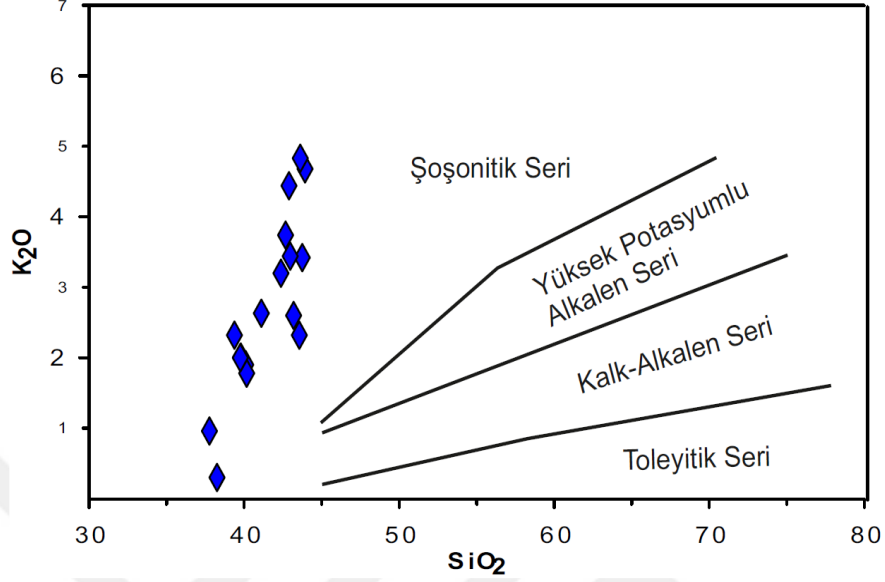


Şekil 3.9. Çalışma alanındaki kimyasal analizi yapılan kayaçların SiO_2 'ye karşı $\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$ diyagramı (Le Maitre vd., 2002; Alkalen-Subalkalen ayırım çizgisi Irvine ve Baragar (1971)'den alınmıştır). Taralı alan Kuzeydoğu Anadolu Eosen birimlerinin kimyasal bileşimini göstermektedir (Aydın, 2003; Yücel, 2013)

Tablo 3.1. Çalışma alanlarından alınan örneklerin bazılarına ait tüm kayaç analizleri. Ana oksitler ağırlıkça yüzde, diğerleri ppm cinsindendir.

	1	3CA	B1b	ST	8	3cB	2
SiO ₂	43,19	41,11	43,75	43,56	40,10	40,16	37,76
Al ₂ O ₃	14,76	12,45	14,13	16,13	12,04	11,72	15,19
Fe ₂ O ₃	7,98	8,79	10,43	8,10	8,17	8,67	10,08
MgO	6,42	9,98	4,13	5,34	9,43	11,16	5,87
CaO	11,69	14,88	8,68	11,54	15,07	13,75	13,29
Na ₂ O	4,06	1,17	4,25	4,01	1,62	0,75	4,98
K ₂ O	2,60	2,63	3,42	2,32	1,90	1,78	0,96
TiO ₂	0,97	1,35	1,00	0,94	1,16	1,27	1,16
P ₂ O ₅	0,96	0,85	0,70	0,98	0,82	0,88	1,83
MnO	0,14	0,15	0,21	0,16	0,14	0,15	0,24
Cr ₂ O ₃	0,017	0,048	0,009	0,009	0,047	0,045	0,003
Ba (ppm)	981	2272	982	1619	2324	2287	2095
LOI	6,7	5,9	8,9	6,3	8,7	8,9	7,9
Toplam	99,60	99,57	99,75	99,54	99,49	99,47	99,48
Co	28,0	35,0	25,5	24,4	33,5	34,9	32,5
Cs	0,9	0,4	5,3	1,9	1,5	0,9	0,6
Ga	14,4	12,4	13,0	15,6	11,4	12,5	17,3
Hf	3,3	3,6	3,4	3,6	3,7	3,7	3,4
Nb	25,4	25,8	15,8	30,1	21,2	22,4	57,6
Rb	44,1	61,2	129,9	44,0	48,2	45,7	24,2
Sr	1385,4	1008,5	408,3	1792,4	1891,6	1704,8	1811,0
Ta	1,1	1,3	1,0	1,3	1,0	1,0	2,3
Th	13,3	16,0	15,0	24,7	18,8	18,7	26,5
U	2,8	3,0	3,2	4,9	3,4	3,8	6,4
V	185	241	185	199	192	221	251
Zr	154,7	144,6	150,8	184,9	144,3	154,1	214,7
Y	15,9	19,6	23,4	19,5	18,7	20,1	29,3
La	98,3	73,7	51,5	149,1	83,0	85,3	171,7
Ce	179,3	142,4	91,6	254,1	157,1	161,2	302,6
Pr	19,76	17,52	10,98	26,93	18,42	19,50	34,69
Nd	68,1	68,1	43,6	93,6	69,8	75,2	121,3
Sm	9,55	11,30	8,48	12,49	11,18	12,14	17,12
Eu	2,38	2,91	2,18	3,02	2,99	3,12	4,11
Gd	6,04	7,98	7,00	7,68	7,80	8,50	10,41
Tb	0,70	0,89	0,87	0,83	0,88	0,95	1,23
Dy	3,34	4,30	4,55	4,15	4,26	4,41	5,82
Ho	0,53	0,71	0,85	0,65	0,67	0,68	1,00
Er	1,55	1,65	2,24	1,81	1,62	1,69	2,67
Tm	0,21	0,22	0,30	0,25	0,22	0,24	0,38
Yb	1,26	1,42	1,95	1,49	1,28	1,47	2,33
Lu	0,18	0,20	0,27	0,23	0,20	0,20	0,33

Kayaçların tüm kayaç analizleri sonuçları SiO_2 'ye karşılık K_2O diagramında kullanılarak değerlendirildiğinde şoşonitik karakterli oldukları görülmektedir (Şekil 3.10).



Şekil 3.10. SiO_2 – K_2O arası ilişkiyi gösteren diagrama göre çalışma alanlarından derlenen kayaçlar şoşonitik karakterlidir.

3.2.1. Çalışma Alanından Derlenen Foidli Kayaçların Mineral Kimyası

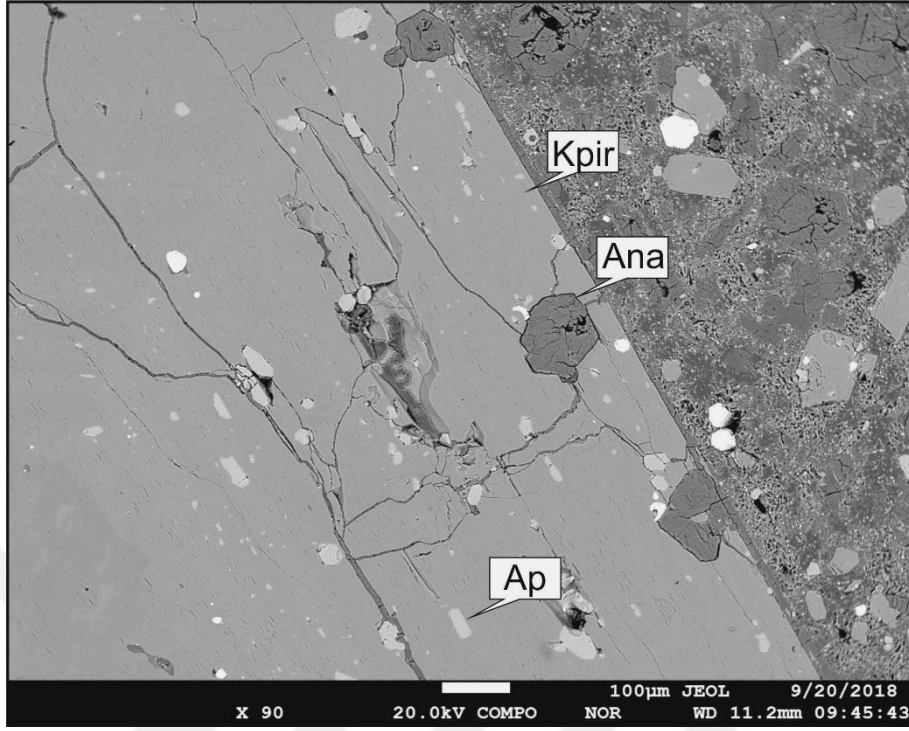
Çalışma alanından derlenen kayaçlardaki mineraller analsim ve piroksen mineralleri ve kayaç bağlayıcısı olan hamur malzemesi özelinde incelenmiştir. Trabzon yöresi kayaçlarına ait analsimlerde mineral kimyası çalışmaları yapılmıştır.

Trabzon yöresi foidli kayaçlar içerisinde yer alan analsimlere ait elektron mikroprob analiz sonuçları aşağıda verilmiştir (Tablo 3.2). Analsimlerin SiO_2 ağırlıkça % oranları 43,63 – 54,26 arasında değişmektedir. Seçilen bazı analsimlerin ana katyonu olan Na^+ 'nın ağırlıkça % oranı 1.66 – 12,73 aralığındadır. Ağırlıkça % K^+ oranlarına bakıldığında 0.15 – 8.21 aralığındadır. Yüksek K^+ miktarı, analsimlerin lösit dönüşüm ürünü olduklarına işaret etmektedir.

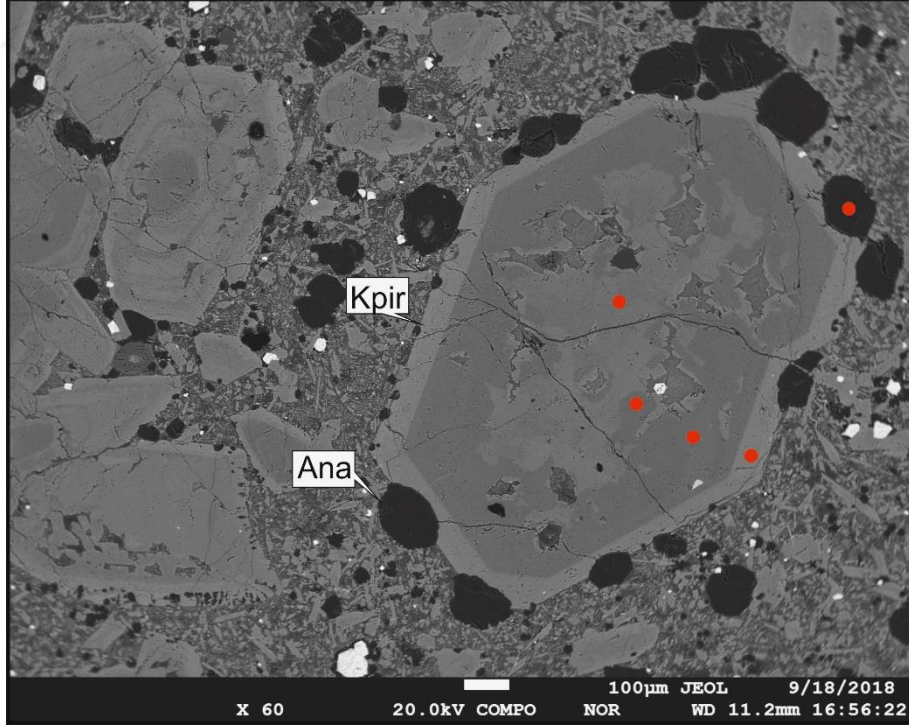
Tablo 3.2. Trabzon yöresi kayaçlarındaki bazı analsimlere ait EPMA analizleri.

Örnek No	1	1	1	2	2	3	3	3
Alan No	1	2	2	3	6	1	2	3
SiO ₂	53,29	54,20	52,32	53,56	53,06	52,97	52,10	52,86
TiO ₂	0,04	0,03	0,03	0,04	0,06	0,05	0,03	0,03
Al ₂ O ₃	22,86	23,42	23,17	23,28	23,42	23,70	23,86	23,55
FeO	0,33	0,30	0,35	0,37	0,33	0,39	0,39	0,34
MnO	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
MgO	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,02
CaO	0,02	0,04	0,04	0,04	0,04	0,03	0,18	0,03
BaO	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Na ₂ O	14,15	13,62	13,74	14,00	13,90	14,51	14,40	13,77
K ₂ O	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,04	0,15	0,04
Toplam	90,75	91,68	89,71	91,35	90,86	91,68	91,13	90,63
Si	31,75	31,84	31,52	31,68	31,55	31,32	31,06	31,50
Ti	0,02	0,01	0,01	0,02	0,02	0,02	0,01	0,01
Al	16,06	16,22	16,45	16,23	16,42	16,51	16,76	16,54
Fe ⁺³	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Fe ⁺²	0,16	0,15	0,18	0,18	0,16	0,19	0,20	0,17
Mn	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Mg	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,02
Ca	0,01	0,03	0,03	0,02	0,02	0,02	0,11	0,02
Ba	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Na	16,34	15,52	16,05	16,05	16,02	16,63	16,65	15,90
K	0,05	0,04	0,04	0,05	0,05	0,03	0,11	0,03
Sr	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Toplam	64,39	63,82	64,29	64,24	64,25	64,73	64,92	64,19

Trabzon yöresine ait foidli breşik lavlarda bazı analsim kristalleri klinopiroksenlerin içinde ve yüzeyinde görülmektedir (Şekil 3.11, Şekil 3.12). Klinopiroksenlerin son kristalizasyon evresinde bulunan analsimler eş zamanlı gelişmiş şekilde görülmektedir. Klinopiroksen zonlanmalarını merkezden kenara doğru silisçe fakirleşmektedir (Tablo 3.3). En dış zon amfibol tarafından zarflanmıştır. Yapılan mineral kimyası analizlerinde merkezdeki SiO₂ ağırlıkça % değeri 50,35 iken kenar kısımlarda bu değer ağırlıkça % 40,25'e düşmektedir. Ca oranlarında belirgin bir farklılaşma gözlemlenmezken, Mg oranı belirgin şekilde azalmakta, Al₂O₃ değeri artmaktadır. Önceki araştırmacılar bu kayaçlardaki klinopiroksen minerallerini diyopsitik ojit olarak adlandırmışlardır (Aydın, 2003; Yücel, 2013).



Şekil 3.11. Anasim ve apatit kristalleri içeren klinopiroksen minerali (BSE).

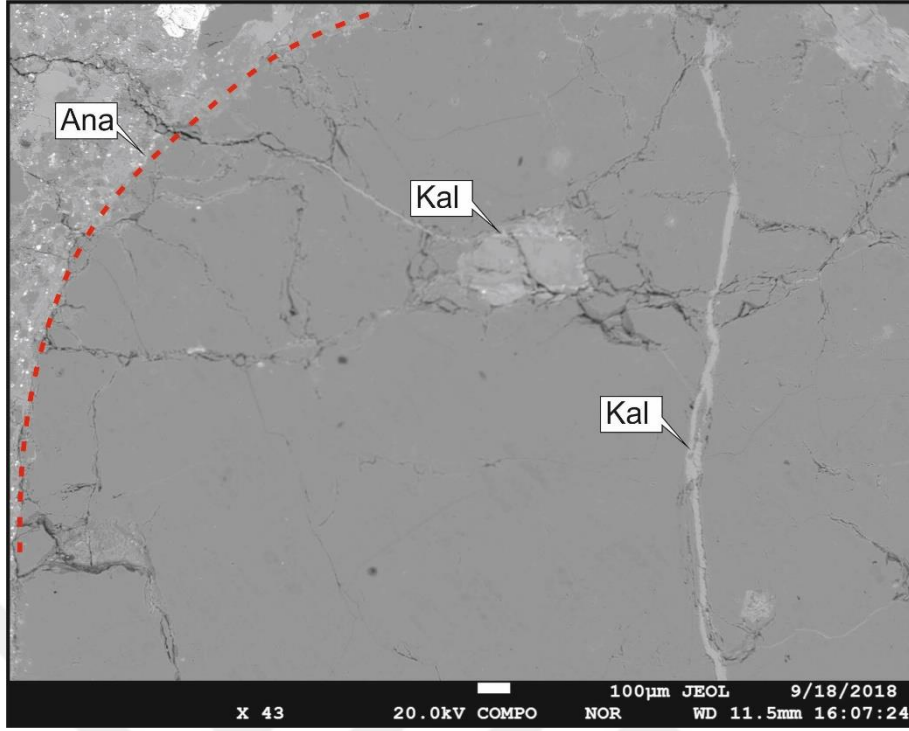


Şekil 3.12. Trabzon yöresi kayaçlarında piroksen üzerine tutunan anasim kristalleri (BSE görüntüsü).

Tablo 3.3. Şekil 3.12'deki piroksen ve çeperindeki analsim kristaline ait mineral analiz profili.

	Merkez	Kpir			Kenar	ANA
SiO ₂	50,35	52,42	45,34	47,67	40,25	51,13
TiO ₂	0,89	0,52	1,79	1,34	3,08	0,00
Al ₂ O ₃	3,89	2,45	7,19	5,46	10,58	23,55
FeO	5,52	4,17	9,47	7,31	11,61	0,31
MnO	0,01	0,08	0,04	0,07	0,06	0,02
MgO	14,49	15,59	11,76	13,22	9,69	0,10
CaO	23,12	22,98	21,93	23,04	22,57	4,35
BaO	0	0	0	0	0	0,27
Na ₂ O	0,26	0,26	0,39	0,31	0,39	3,92
K ₂ O	0,01	0	0,23	0,01	0,01	8,01
Cr ₂ O ₃	0,19	0,57	0,05	0,14	0	0,00
Toplam	98,73	99,03	98,18	98,56	98,24	91,77
Si	1,88	1,94	1,75	1,81	1,58	31,05
Ti	0,03	0,01	0,05	0,04	0,09	0,00
Al	0,17	0,11	0,33	0,24	0,49	16,85
Fe ⁺³	0	0	0	0	0	0,00
Fe ⁺²	0,17	0,13	0,31	0,23	0,38	0,16
Mn	0	0	0	0	0	0,01
Mg	0,81	0,86	0,68	0,75	0,57	0,09
Ca	0,93	0,91	0,91	0,94	0,95	2,83
Ba	0	0	0	0	0	0,06
Na	0,02	0,02	0,03	0,02	0,03	4,62
K	0	0	0,01	0	0	6,21
Sr	0	0	0	0	0	0,04
Cr	0,01	0,02	0	0,01	0	2,00
Toplam	4,02	4	4,07	4,04	4,09	63,92

Bayburt yöresi kayaçlarına ait analsimlerde mineraller kimyası çalışmaları yapılmıştır. Bayburt yöresine ait foidli kayaçlarda bulunan bazı analsimlerin mineral kimyası analizleri Tablo 3.5’de verilmiştir. SiO₂ ağırlıkça % değeri ortalama 53 olan analsimlerin Na⁺ oranları ortalama 13 olarak ölçülmüştür. BSE incelemelerinde analsimlerin içerisinde kalsit damarları ve boşluklarda kalsit birikimleri görülmektedir (Şekil 3.13).



Şekil 3.13. Bayburt yöresi kayaçlarındaki analsim kristalinin BSE görüntüsü.

Şekil 3.13’de görülen analsim kristali üzerinde gerçekleştirilen kenardan merkeze doğru olan mineral kimyası analizlerinde belirgin bir elementel farklılaşma bulunmamaktadır (Tablo 3.4).

Tablo 3.4. Bayburt yöresi kayaçlarına ait bir analsim kristaline ait mineral analiz profili.

O	Kenar								Merkez	
	96 B-1	96 B-1	96 B-1	96 B-1	96 B-1	96 B-1	96 B-1	96 B-1	96 B-1	96 B-1
Örnek										
No:	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
SiO ₂	53,80	53,10	53,48	52,86	53,45	53,41	53,31	53,05	53,74	53,22
TiO ₂	0,01	0,03	0,01	0,03	0,00	0,03	0,02	0,01	0,01	0,02
Al ₂ O ₃	21,17	20,76	21,11	20,81	20,76	21,08	20,87	21,00	20,95	20,77
FeO	0,10	0,43	0,13	0,33	0,10	0,13	0,09	0,14	0,11	0,15
MnO	0,02	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
MgO	0,02	0,20	0,02	0,18	0,02	0,06	0,02	0,08	0,02	0,02
CaO	0,02	0,09	0,03	0,18	0,02	0,02	0,02	0,03	0,02	0,02
BaO	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01	0,02	0,02	0,01	0,01
Na ₂ O	13,72	13,53	13,77	13,31	13,51	13,59	13,54	13,71	13,69	13,43
K ₂ O	0,03	0,07	0,03	0,07	0,02	0,02	0,02	0,03	0,02	0,02
SrO	0,01	0,01	0,06	0,00	0,02	0,03	0,00	0,00	0,01	0,00
Toplam	88,90	88,21	88,64	87,78	87,91	88,37	87,92	88,06	88,58	87,65
Si	29,79	29,73	29,71	29,68	29,90	29,71	29,79	29,63	29,81	29,80
Ti	0,00	0,01	0,01	0,01	0,00	0,01	0,01	0,00	0,00	0,01
Al	19,19	19,05	19,24	19,19	19,08	19,29	19,21	19,33	19,17	19,20
Fe ⁺²	0,05	0,22	0,07	0,17	0,05	0,07	0,05	0,07	0,05	0,08
Mn	0,01	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Mg	0,01	0,12	0,01	0,11	0,01	0,04	0,01	0,05	0,01	0,01
Ca	0,01	0,05	0,02	0,10	0,01	0,01	0,01	0,02	0,01	0,01
Ba	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01	0,00	0,00
Na	15,04	15,00	15,14	14,81	14,96	14,97	14,99	15,17	15,05	14,90
K	0,03	0,07	0,03	0,07	0,02	0,02	0,02	0,03	0,02	0,02
Sr	0,00	0,00	0,03	0,00	0,01	0,01	0,00	0,00	0,01	0,00

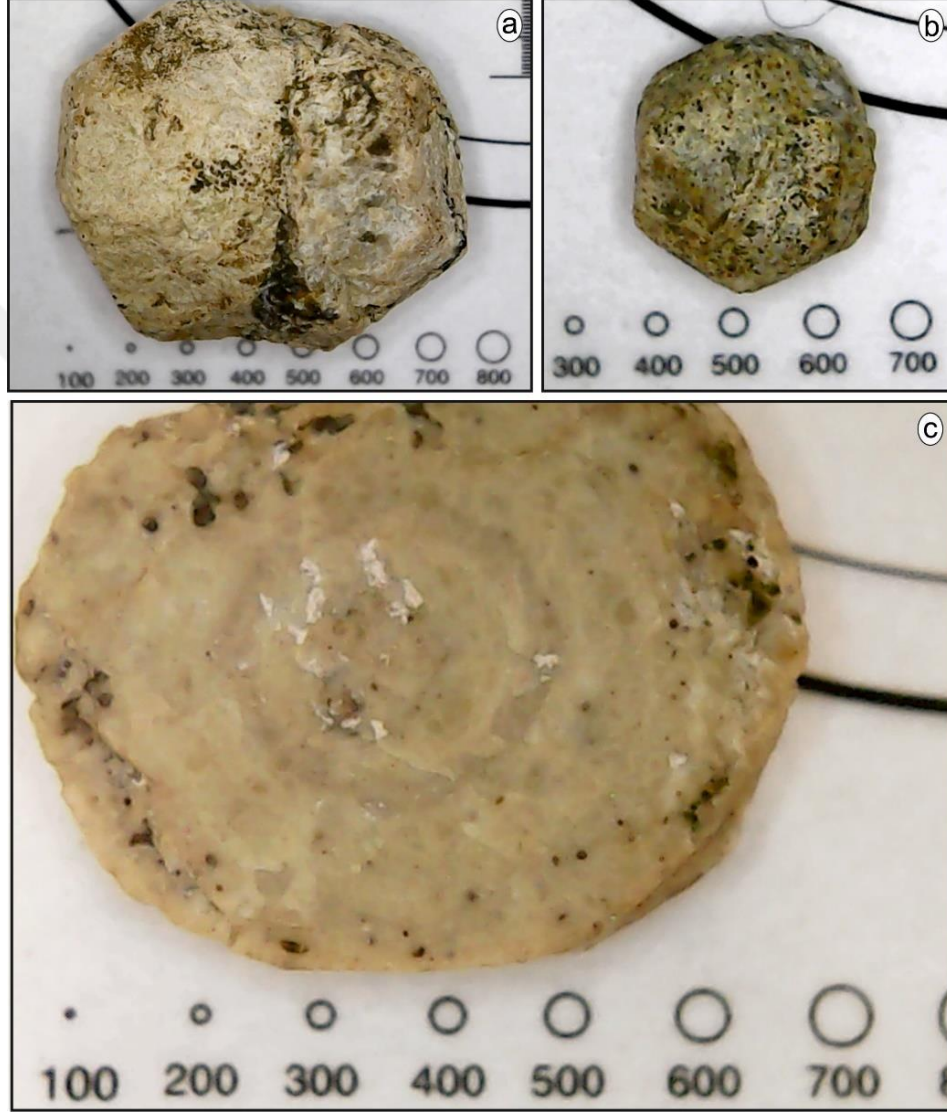
3.3. Analsim Kristallerinin Morfolojileri ve Diğer Mineraller ile Olan İlişkileri

Trabzon ve Bayburt bölgelerinden derlenen farklı volkanik kayaçlar içerisindeki öz ve yarı öz şekilli kübik kristallerin morfolojileri stereo mikroskop ve SEM-EDS yöntemleri kullanılarak karşılaştırılmıştır.

3.3.1. Bayburt (Everekhanları) Yöresi Analsimleri

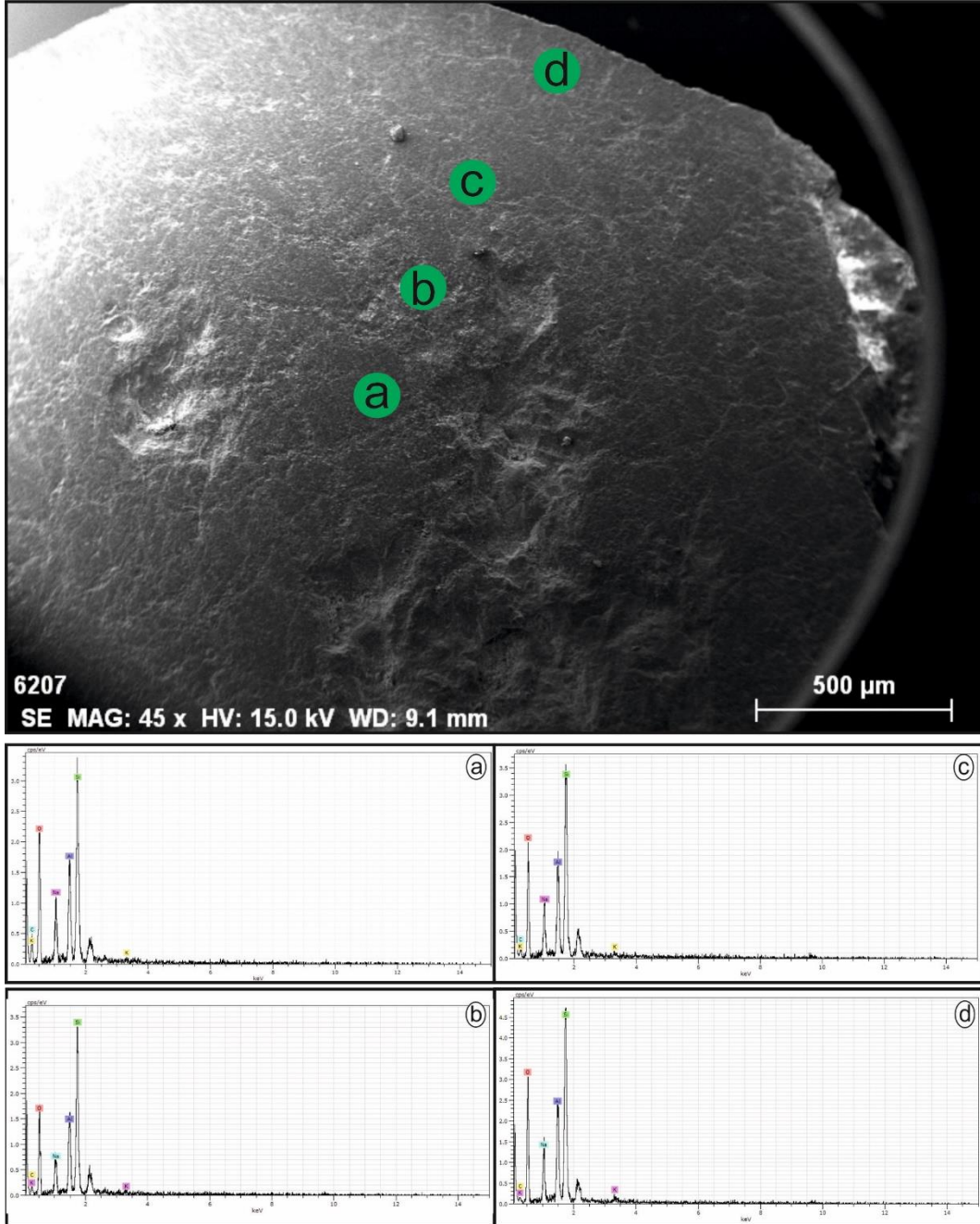
Bayburt (Everekhanları) bölgesinde yer alan volkanik kayaçlarda trapezohedron morfolojiye sahip analsim kristalleri bulunmaktadır (Şekil 3.14). [001] ve [110] yüzeylerinde ikizlenme gösteren kristallerde mevcuttur (Şekil 3.14b). Kristal büyüklükleri

cm ölçeğine kadar çıkabilmektedir. Kristallerin en kesitlerinde bazılarının konsantrik halkalar gösterdiği gözlenmiştir. Ayrıca bu konsantrik halkaların renk tonlarının da farklılaştığı görülmektedir (Şekil 3.14c). Yüzeylerinde siyah kirlilikler olan analsim kristallerinin en kesitlerine bakılınca iç kısımlarında da impüritelere rastlanılmaktadır.



Şekil 3.14. Bayburt bölgesindeki volkanik kayalardan derlenen analsim kristallerinin makroskopik morfolojileri. Analsim kristalleri trapezohedron şekli ile belirgindir (b). İkizlenme gösteren analsim kristalleri de bulunmaktadır (a). Bazı analsim kristallerinin en kesitlerinde dıştan içe doğru konsantrik halkaların olduğu görülmektedir (c). Yapılarında koyu renkli kapanımlar ve kristal yüzeylerinde çatlak hatları mevcuttur. (Ölçekler mikrometre cinsindendir.)

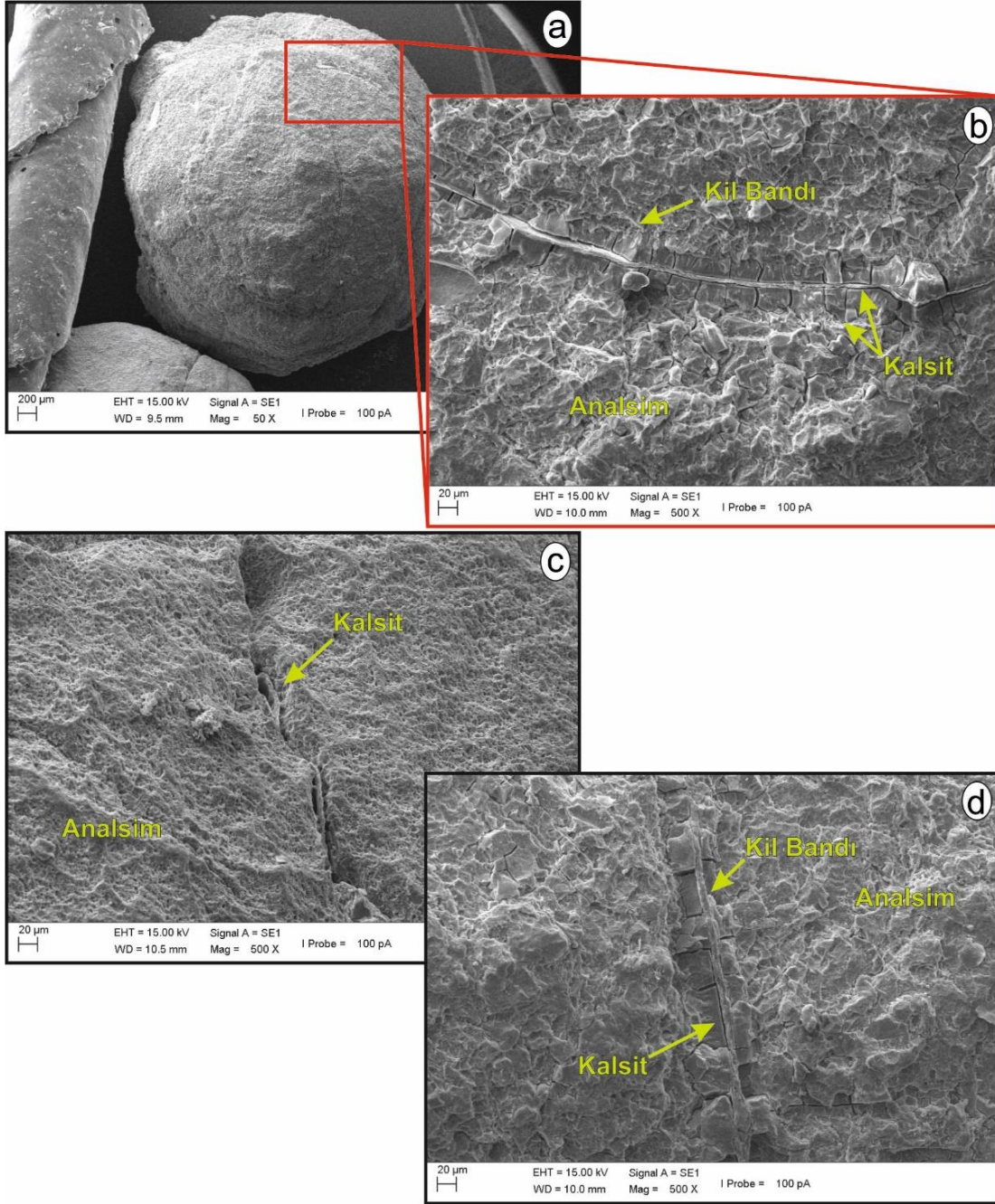
Makroskopik gözlemlerle belirlenen konsantrik halkaların kimyasal ya da morfolojik olarak farklılık gösterip göstermediğini belirlemek için hazırlanan en kesitli SEM numuneleri üzerinde 4 noktada EDS profilinde belirgin bir kimyasal farklılaşma gözlenmemiştir (Şekil 3.15).



Şekil 3.15. Bayburt bölgesi analsimlerinden hazırlanan bir örneğe ait merkezden kenara doğru profil hattı boyunca EDS çekimleri.

Taramalı elektron mikroskop görüntülerinde kristal yüzeylerinin düzensiz ve pürüzlü, mısır patlağına benzeyen düzensiz ve mikro çatlaklı bir yapıda olduğu görülmektedir (Şekil 3.16). Kristal yüzeylerinin yakın plan görüntülerinde, kristallerin ana hatlarını kesen kırıklar bulunmaktadır. Bu kırıklar dıştan içeri doğru sırasıyla kil ve karbonat minerallerince doldurulmuştur (Şekil 3.16b, c, d). Bazı kırıkların içerisinde kil mineralleri bulunmamaktadır, sadece karbonat minerallerince doldurulmuştur (Şekil 3.16c). Kil mineralleri çatlak hatlarına dik gelişmiş mikro çatlaklar, kil minerallerinin yapısındaki moleküler suyun uzaklaşması sonucu kil mineralinin hacminde meydana gelen azalmadan kaynaklıdır (Şekil 3.16b, d).





Şekil 3.16. Trapezohedron yarı özşeklini belirgin bir şekilde gösteren analsim kristalinin (a) SEM görüntülerinde kristal yüzeyinde çoğunlukla karbonat ve son evrede kil bantları ile doldurulmuş kırık – çatlak hatları görülmektedir (b, c, d).

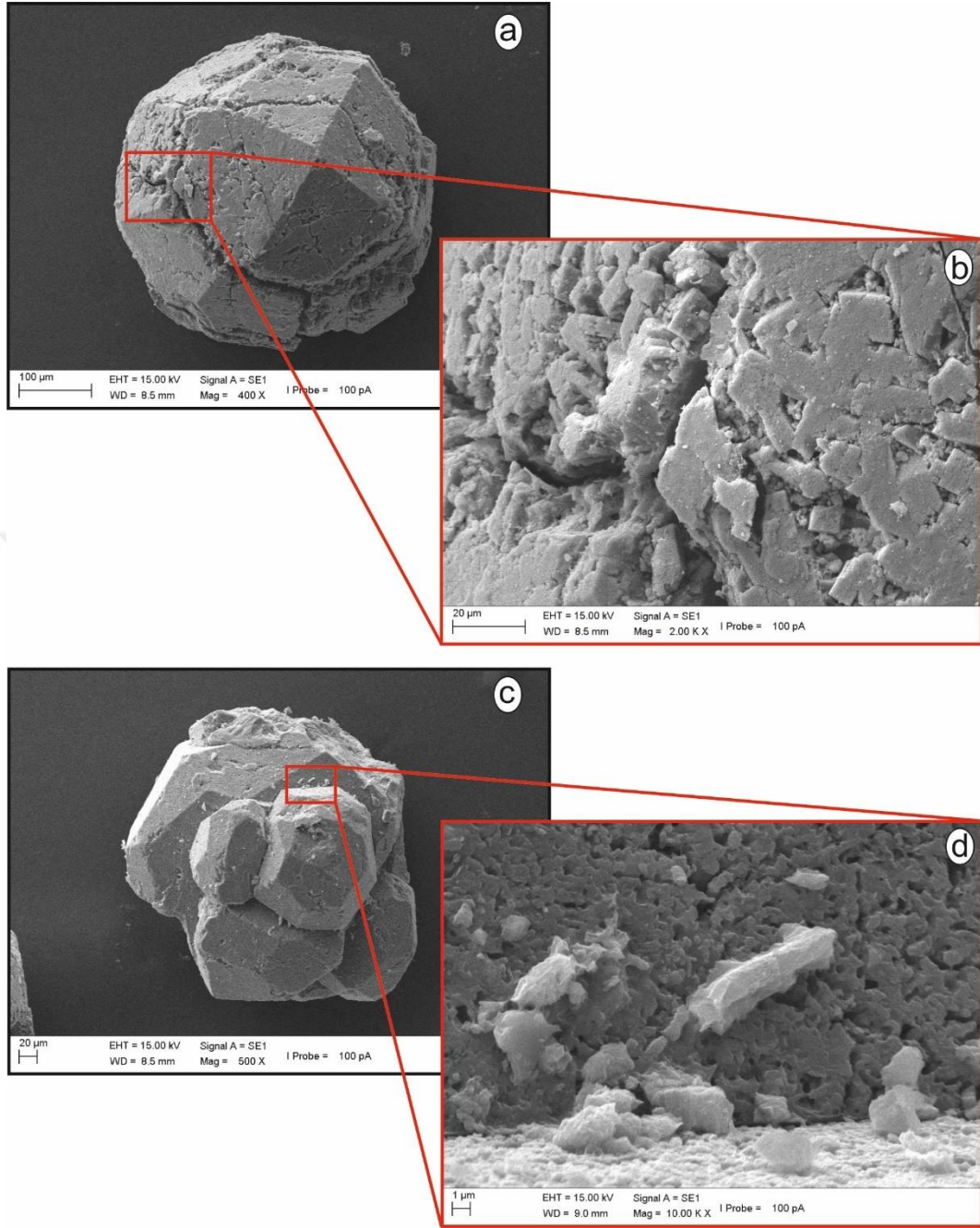
3.3.2. Trabzon Yöresi Analsimleri

Trabzon bölgesindeki kayalarda gözlenen analsimler genellikle kayaç hamuru içerisinde serbest hâlde dağılmış vaziyette 100 – 400 mikrometre boyutlarında öz ve yarı öz şekilli kristaller hâlinde bulunmaktadır. Bazı bölgelerde klinopiroksen kristalleri üzerinde

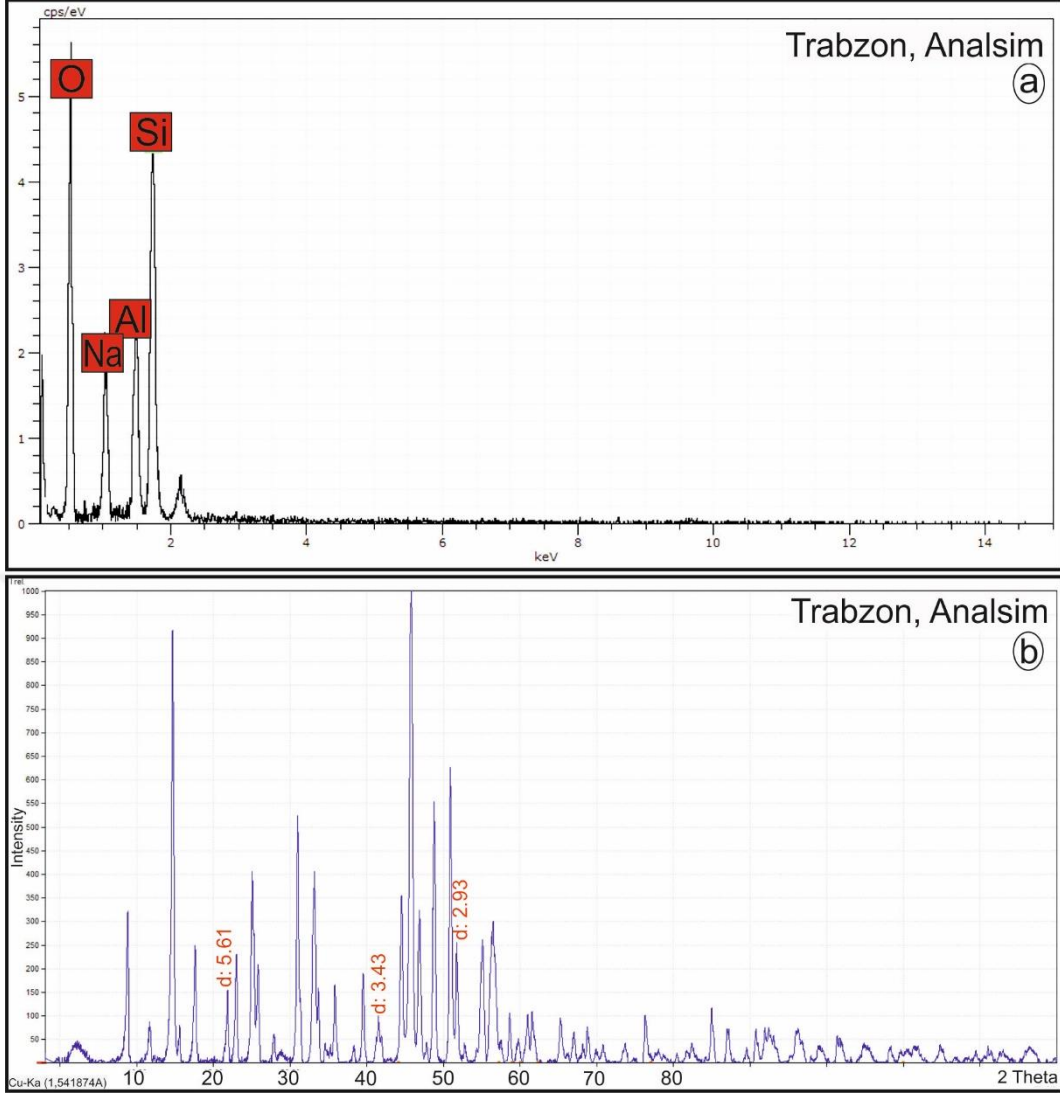
de iyi gelişmiş öz şekilli 50 – 100 mikrometre boyutunda analsim kristalleri gözlemlenmiştir (Bölüm 3.2.2.1).

Kayaç hamurundan seçilen kristallerde, kristal yüzeyleri düzensiz kristalizasyondan ötürü öz şekilsiz, mısır patlağına benzetilen yapılar göstermektedir (Şekil 3.17). Bu kristallerinin SEM incelemelerinde bazılarının iyi gelişmiş kristal yüzeylerinde düzensiz çatlaklar görülmektedir (Şekil 3.17a). İnce kesit incelemelerinde kayacın muhtelif yerlerinde karbonatlaşma zeolitleşme gibi alterasyon süreçleri görülmesine rağmen kırık ve çatlakların bu faz ikincil minerallerce doldurulmamış oluşu, örnek hazırlama prosesi esnasında oluştuğuna delildir (Şekil 3.17b). İkizlenme gösteren analsim kristallerinde kırık ve çatlaklar görülmemektedir (Şekil 3.17c). Nitekim kristal yüzeyleri düzgün, öz şekilli ve ikizlenerek büyümüş gibi görülmektedir (Şekil 3.17d). Psödomorfizma emaresi sayılabilecek bir ize rastlanmamıştır. Yüzeylerinde görülen boşluklar muhtemelen kristal büyümesi esnasında tamamlanamamış yüzeylerdir. Kristal üzerindeki boşlukların geometrik bir şekil göstermesi ile bu bulgu açıklanabilir (Şekil 3.17b,d).

Mineral üzerinde gerçekleştirilen EDS analizi sonucu sodyumca (Na) zengin oldukları görülmektedir (Şekil 3.18a). Tüm kayaçtan itibaren öğütülüp, elenip, felsik mineralleri manyetik seperatörle zenginleştirmeye tabi tutulan örneklerin X ışını diffraktogramlarında da analsim kristallerine rastlanılmaktadır (Şekil 3.18b).



Şekil 3.17. Trabzon bölgesi foid minerali içeren kayalardan elde edilen analcim kristalleri. Kristallerin üzerinde oluşan kırık ve çatlaklar boştur (a). Kristaller ikizlenme göstermektedir (c). Analcim kristallerine özgü trapezohedron kristal şekli belirgindir (a) ve kristal yüzeylerinde gözlemlenen boşluklar kristal büyümesi esnasında tamamlanamamış kristal boşluklarına benzer şekilde geometrik yapılar sunmaktadır (b, c)



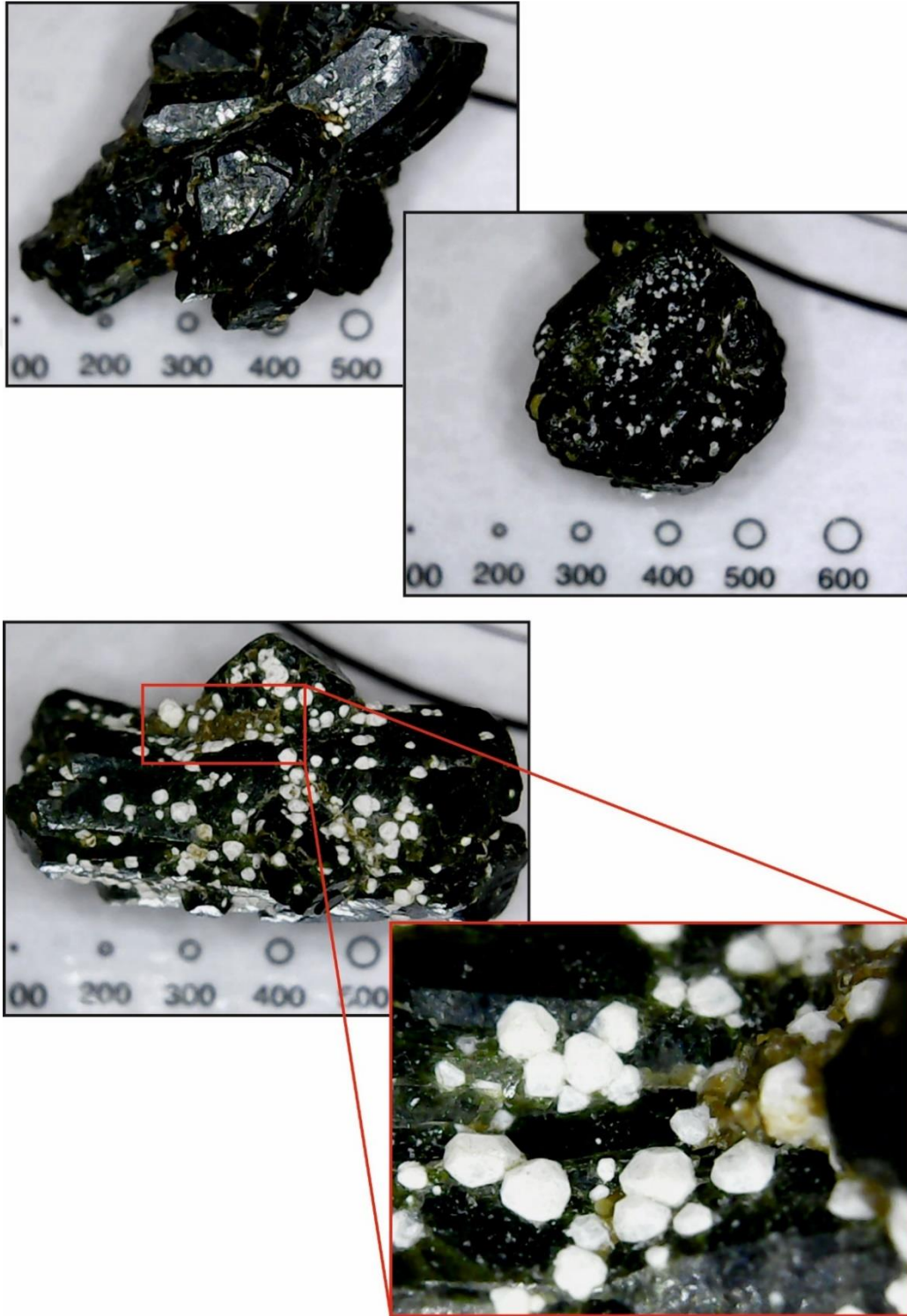
Şekil 3.18. Trabzon bölgesinden elde edilen analsim kristaline ait SEM-EDS (a) ve tüm kayaktan itibaren zenginleştirilmiş analsim X ışını difraktogram (b) çekimi.

• Klinopiroksen Fenokristalleri Üzerinde Gelişen İkincil Analsim Mineralleri

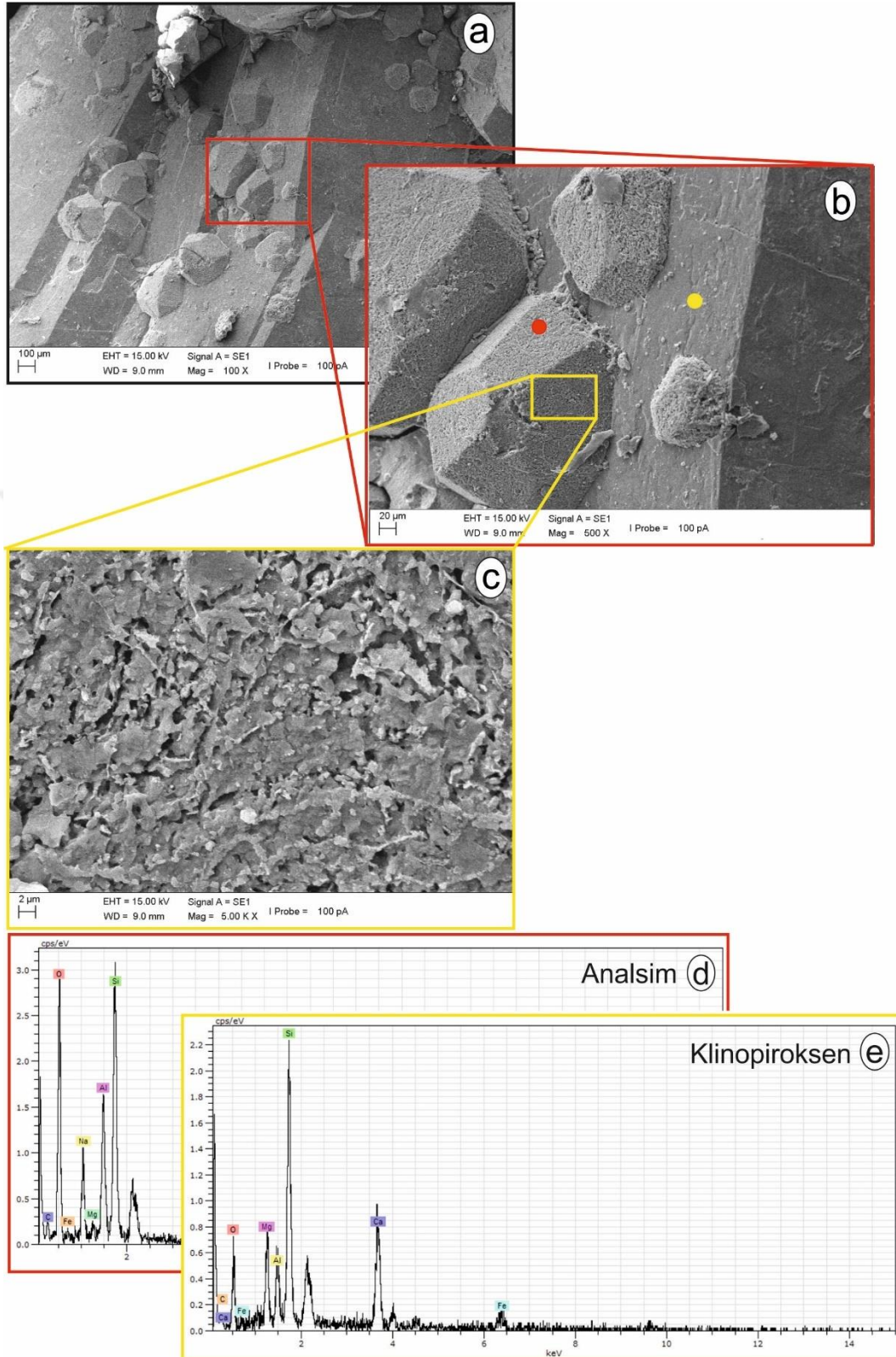
Trabzon bölgesinde yüzeylenen kayalar içerisindeki öz şekilli siyah, koyu yeşil renk tonlarındaki klinopiroksen kristalleri üzerinde, beyaz renkli ve yarım trapezohedron şeklini temsil eden kristaller belirlenmiştir (Şekil 3.19).

Klinopiroksen kristalleri üzerinde gelişen beyaz renkli minerallerin SEM-EDS incelemelerinde öz şekliyle belirgin ve EDS incelemeleri ile sodyumca (Na) zengin tipik analsim kristalleri olduğu gözlemlenmiştir (Şekil 3.19, Şekil 3.20). Klinopiroksenlerin üzerlerinde yarım trapezohedron şeklinde gelişmiş bu kristaller klinopiroksenlerin üzerine sonradan tutunmuş ikincil analsim kristalleri değildir. Mineral kimyası analizlerinde Şekil

3.12’de görüldüğü üzere klinopiroksenin son evre zarflanması esnasında zarflanma ile eş zamanlı oluşmuştur. Analsim kristallerinin yakın plan yüzey incelemelerinde belli bir geometri dâhilinde tipik trapezohedron yapıda olduğu gözlenmiştir (Şekil 3.20b, c).



Şekil 3.19. Trabzon bölgesinde bulunan klinopiroksen kristalleri üzerinde gelişmiş trapezohedron analsim kristalleri. Ölçekler mikrometre cinsindendir.

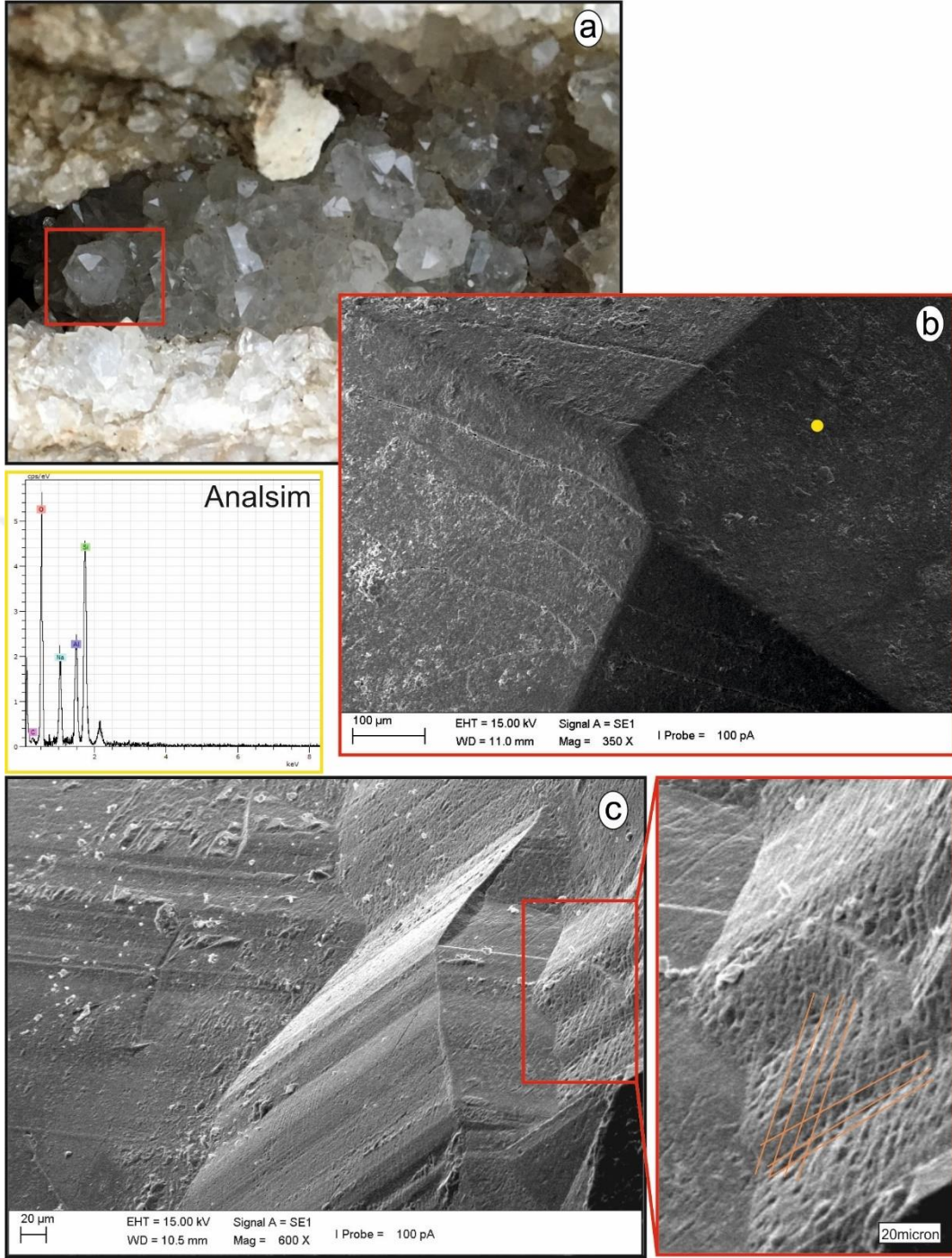


Şekil 3.20. Klinopiroksen fenokirstalleri üzerinde gelişen analsimlerin SEM görüntüleri. Öz şekilli Trapezohedron yapıda olan kristallerin (a,b) yakın plan çekimlerinde yüzeylerinde boşluklu yapılar gözlenmektedir (c). EDS çekimleri ile kristallerin analsim (d) ve klinopiroksen (e) oldukları belirlenmiştir.

3.3.3. Hidrotermal Kökenli Analsim Kristallerinin Morfolojik Özellikleri

Trabzon bölgesi volkanik kayaların kırık ve boşluklarında gelişen hidrotermal kökenli analsim kristallerinin SEM-EDS incelemelerinde kristallerin büyüme hatları ve tipik trapezohedron kristal şeklini temsil eden yapılar belirlenmiştir (Şekil 3.21). Büyümesini tamamlamış olan kristal yüzeyleri düzgün, pürüzsüz ve boşluksuz yapıda olmakla birlikte (Şekil 3.21b) gelişimini tamamlayamayan bazı kristallerin yüzeylerinde büyüme hatlarını belirginleştirir şekilde boşluklar görülmektedir (Şekil 3.21c). Geometrik büyüme hatları sunan bu boşluklar herhangi bir ikincil mineral tarafından doldurulmamıştır. Kristal yüzeyindeki büyüme hatları birbirine paralel olacak şekilde belirgindir (Şekil 3.21c).





Şekil 3.21. Trabzon bölgesinde çalışma alanında volkanik kayaların kırık ve boşluklarından derlenen hidrotermal kökenli analsim kristallerinin yüzey görüntüleri.

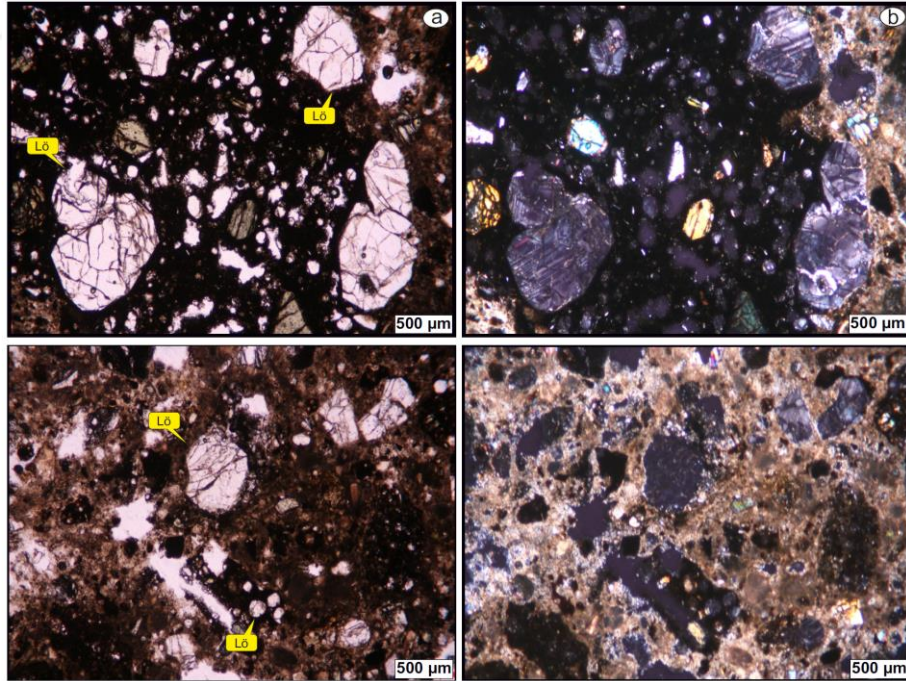
3.4. Doğal Lösit ve Plajyoklas Kristallerinden Analsime Dönüşüm Deneyleri

3.4.1. Doğal Lösit Kristallerinin Laboratuar Ortamında Analsime Dönüşüm Deneyleri

Vezüv volkanından derlenen (Dr. Muhammed Oğuz Sünnetci'den edinilen) tefritik kayalarda bulunan lösit kristalleri laboratuar ortamında analsime dönüştürmek için kullanılmıştır.

Vezüv volkanından derlenen otobreş yapısı gösteren kayacın el örneği 3 cm'ye varan kayaç parçaları içermektedir. Mikroskop altında incelenen kayaç parçalarında ve bu kayaç parçalarını bir arada tutan hamur içerisinde 500 mikron çapında, kırıklı, öz ve yarı öz şekilli, ikizlenme gösteren lösit kristalleri ile yaklaşık 250 mikron boyutunda taze, yarı öz şekilli klinopiroksen kristalleri bulunmaktadır (Şekil 3.22).

Vezüv volkanından derlenen tefritin içindeki lösitlerin mineral kimyası Ankara Üniversitesi Yer Bilimleri Uygulama ve Araştırma Merkezinde (YEBİM) analiz edilmiş, analiz sonuçları Tablo 3.2'de verilmiştir.



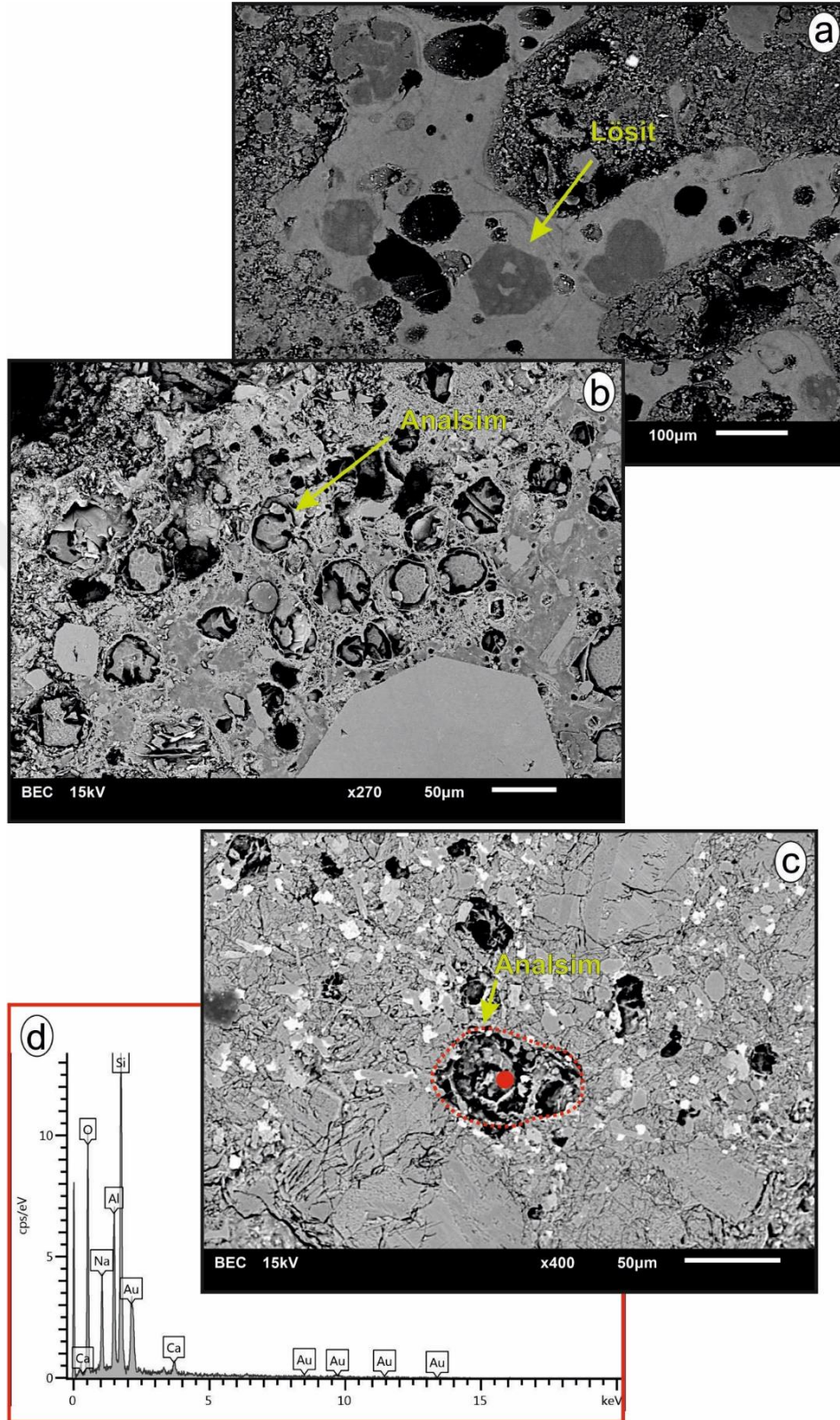
Şekil 3.22. Vezüv'den alınan örneğe ait ince kesit incelemelerinde cm ölçeğinde ikizlenmeli lösit kristalleri görülmektedir.

Tablo 3.5. Vezüvden alınan el örneğindeki lösit kristallerinin mineral kimyaları.

ÖrnekNo	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
SiO ₂	57,16	56,87	56,86	57,31	55,76	56,26	57,38	56,79	56,43	56,76
TiO ₂	0,07	0,11	0,09	0,10	0,10	0,08	0,09	0,08	0,09	0,09
Al ₂ O ₃	21,42	21,96	22,22	21,86	21,95	21,91	22,19	21,90	22,10	21,77
FeO	0,36	0,38	0,36	0,32	0,38	0,38	0,38	0,39	0,40	0,45
CaO	0,00	0,02	0,01	0,05	0,03	0,03	0,01	0,01	0,03	0,04
Na ₂ O	0,42	0,24	0,45	0,43	0,28	0,46	1,17	0,47	0,44	0,14
K ₂ O	19,75	20,58	20,67	19,87	20,55	20,05	17,27	20,28	20,42	20,85
Toplam	99,19	100,16	100,65	99,96	99,06	99,21	98,59	99,93	99,93	100,14
O	96	96	96	96	96	96	96	96	96	96
Si	29,41	29,04	28,89	29,22	28,79	28,94	29,31	29,01	28,83	29,00
Ti	0,03	0,05	0,04	0,05	0,05	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04
Al	18,59	18,92	19,06	18,84	19,16	19,07	19,19	18,95	19,14	18,87
Fe ⁺²	0,18	0,19	0,17	0,16	0,19	0,18	0,19	0,19	0,19	0,22
Ca	0,00	0,01	0,01	0,02	0,01	0,02	0,01	0,01	0,01	0,02
Na	0,43	0,24	0,45	0,44	0,29	0,47	1,19	0,48	0,45	0,14
K	17,65	18,26	18,27	17,63	18,47	17,97	15,38	18,06	18,20	18,60
Sr	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02	0,04	0,00	0,00	0,00
Toplam	66,29	66,71	66,89	66,37	66,96	66,71	65,35	66,74	66,86	66,89

1 cm²'lik yüzeyi parlatılmış tefrit örneği (Şekil 3.26a) 150°C'de 7 bar basınç altında 10 saat boyunca teflon kröze içerisinde, 2 molar NaOH ile oluşturulan (teorik pH 11) hidrotermal çözelti ile muamele edilmiştir. Deney sonrasında saf su ile arındırılan örnekler, Rize Recep Tayyip Erdoğan Üniversitesi Merkezi Laboratuvarında SEM-EDS yöntemi ile incelenmiştir.

Doğal lösit kristallerinin kayaç çeperinden itibaren analsimleşmenin başladığı gözlemlenmiştir (Şekil 3.23 b ve c). Lösitlerden itibaren oluşan analsimlerin EDS pikleri Şekil 3.23d'de verilmiştir.

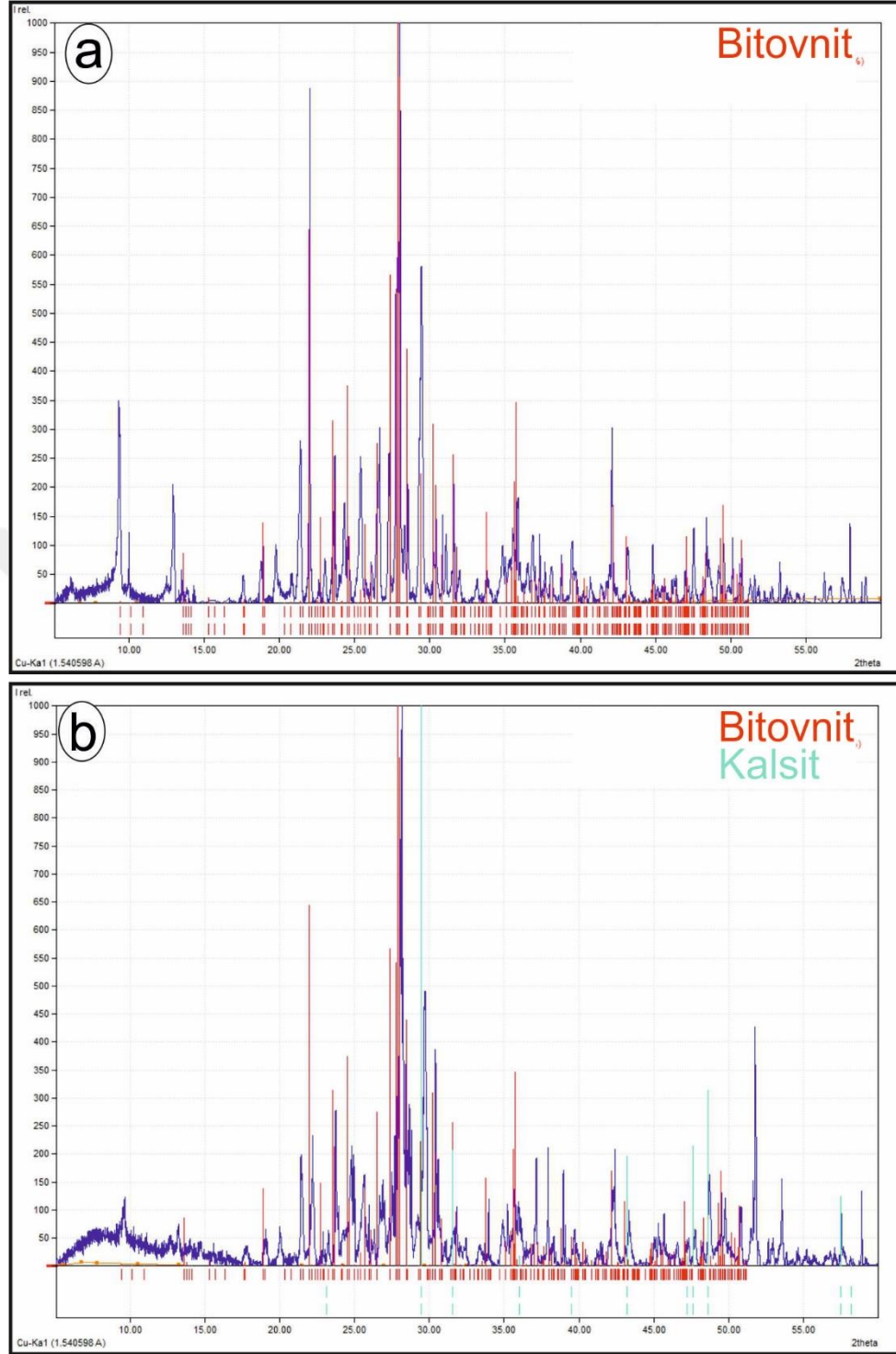


Şekil 3.23. Parlatılmış tefrit örneğinin BSE görüntüsü (a). 150 °C’de 10 saat boyunca 7 bar basınç altında 2 M NaOH ile muamele edilen tefritik kayaç içerisindeki öz ve yarı öz şekilli lössit kristallerinden itibaren dönüşen analsim kristallerinin SEM görüntüleri (b,c) ve EDS spektrumu (d).

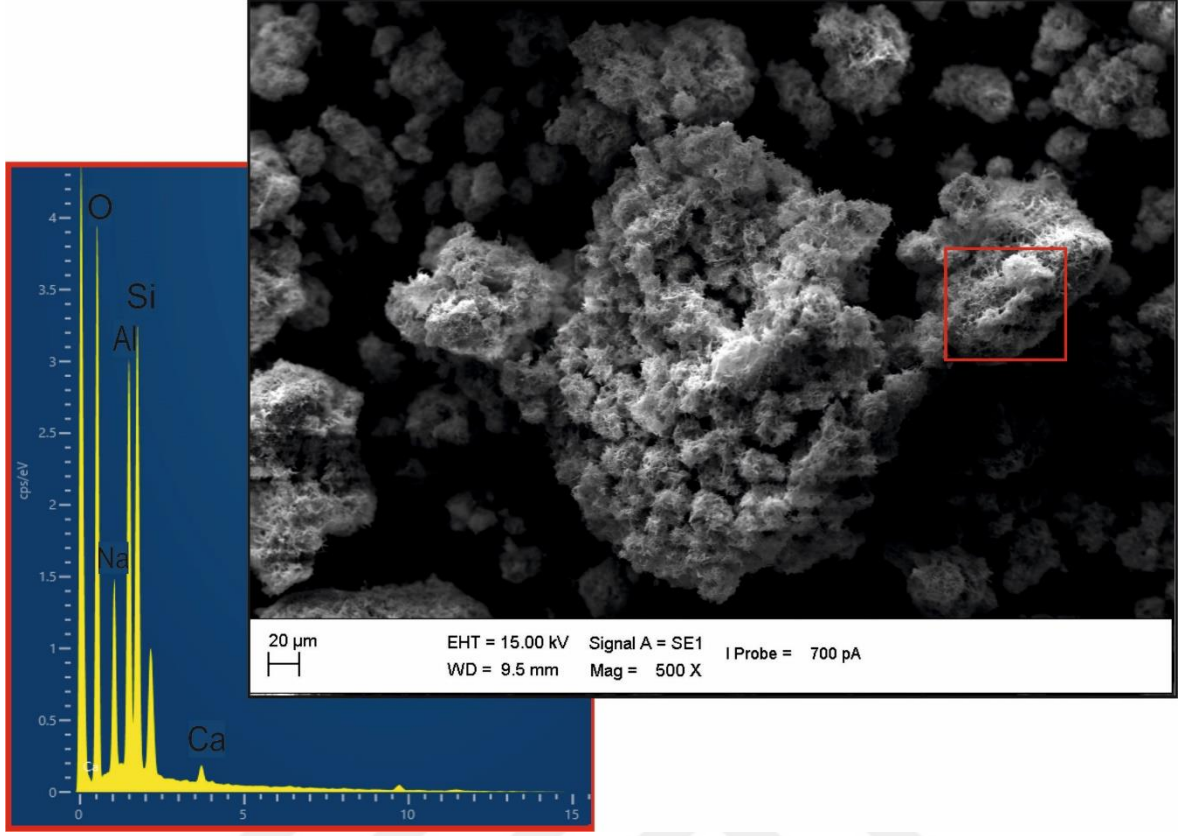
3.4.2. Bazik Ortamda Plajyoklastan İtibaren Analsim Döşümü

İncelenen Bayburt ve Trabzon yöresi foidli kayaçlarında plajyoklas kristalleri bulunmamaktadır. Ancak bölgemizdeki hafif alkali volkanik kayaçlar andezin-bitovnit bileşiminde plajyoklas kristalleri içerir. Literatürde bulunan Na^+ 'ca zengin plajyoklaslardan itibaren analsim dönüşümü süreçlerinden hareketle alkali kayaçlardaki bu plajyoklas kristallerinin analogu olarak bölgemizde bulunan Jura ve Üst Kretase yaşlı spilitik volkanik kayaçlar içerisindeki plajyoklas fenokristalleri seçilerek plajyoklas – analsim dönüşüm deneylerinde kullanılmıştır. Bu kristallere ait X-ışınları difraktogramı Şekil 3.24a'de verilmiştir.

İki molarlık NaOH çözeltisi kullanılarak, izole teflon kaplar içerisinde oluşturulan teorik pH'ı 11 olan hidrotermal bazik ortamda, seçilen plajyoklas kristallerinden itibaren analsim sentezlenme deneyleri yapılmıştır. 20 saat süren deneyin ortam sıcaklığı 150°C ve basıncı 4 bardır. Deney sonucunda örneklerin SEM-EDS incelemeleri plajyoklas kristallerinin yer yer kısmen bozularak analsim ve kalsit oluşturdukları gözlemlenmiştir (Şekil 3.24b). Analsim ve kalsite dönüşmeyen geri kalan kısımların tekrardan nodüler şekilde kristallenmeye başladığı ve amorf silika olarak çöktüğü gözlemlenmiştir (Şekil 3.24c, d).



Şekil 3.24. Deneylerde kullanılan plajyoklasa ait X-ışınları difraktogramı (a). Bazık ortamda plajyoklastan itibaren sentetik mineral üretimi. b: deney sonrası elde edilen kalsit, amorf çökel ve deneye giren plajyoklas kalıntılarını gösteren ait x ışını difraktogramı.

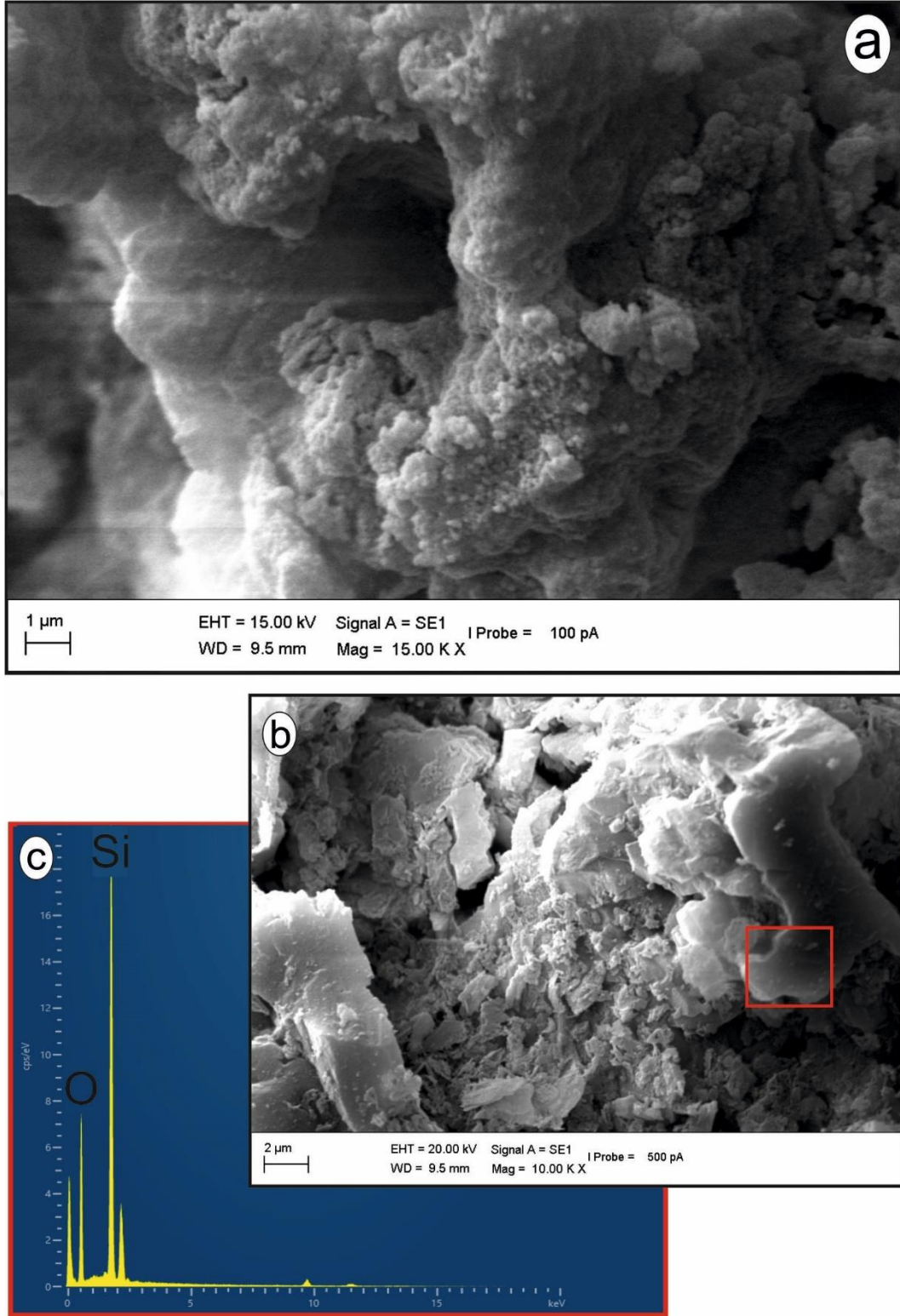


Şekil 3.25. Plajyoklas dönüşüm deneylerinde ürüne ait deney sonrası plajyoklaslar üzerinde gelişen nodüler amorf oluşumların SEM görüntüsü ve amorf oluşumların SEM-EDS analizi.

3.4.3. Asidik Ortamda Plajyoklastan İtibaren Analsim Dönüşümü

Bazık hidrotermal ortamda analsim dönüşümü için seçilen plajyoklas örneklerinin bir kısmı asidik ortam deneylerinde kullanılmıştır.

Yüzde 10'luk HCl çözeltisi kullanılarak, izole teflon kaplar içerisinde oluşturulan hidrotermal asidik ortamda, volkanik örneklerden itibaren seçilmiş plajyoklas kristalleri kullanılarak analsim sentezleme deneyleri yapılmıştır. İlave Na^+ kaynağı olarak NaCl eklenen sistemde 10 ve 20 saat süren deneylerde, sıcaklık 150°C ve basınç ortalama olarak 4 bar olarak ölçülmüştür. Deneyin sonucunda plajyoklas kristalinin tamamen bozulduğu ve amorf silika çökeli hâline geldiği gözlemlenmiştir (Şekil 3.25). Bahsedilen ortam koşullarında asidik ortamda plajyoklasın bozunmasından itibaren herhangi bir ürün elde edilememiştir.



Şekil 3.25. Asidik ortamda deney sonrası, plajyoklastan itibaren oluşan amorf silika çökellerinin SEM görünümü (a, b). Amorf silika çökellerinin SEM-EDS analizi (c).

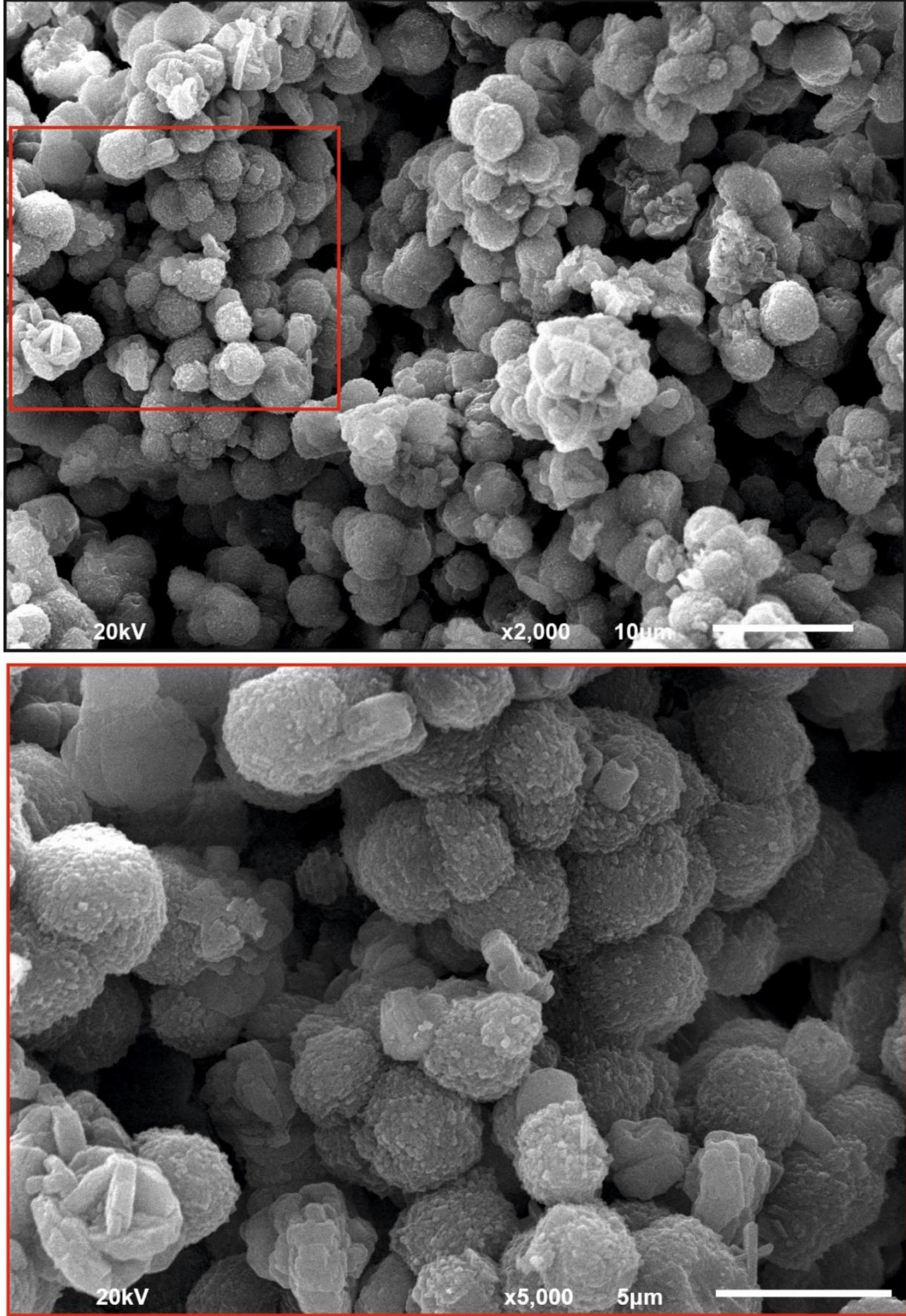
3.5. Deneysel Yöntemlerle Hidrotermal Koşullarda Analsim-Lösit Sentezi

Sentetik analsim ve lösit üretimleri teflon kaplar içerisinde ve mikrodalga fırın kullanılarak 150, 175°C ve 200°C sıcaklıklar altında denenmiştir. Bu sıcaklık değerlerinin seçilmesindeki amaç, kısa sürede uygun sıcaklıklarda alterasyon süreçlerinin tamamlanabildiğini göstermektir. Analsim kristalizasyon deneylerinin amacı, analsimlerin düşük sıcaklıkta asidik ve bazik hidrotermal koşullarda oluşumlarının test edilmesidir. Lösit kristalizasyon deneylerinin amacı, öncelikle asidik ve bazik ortamsal koşullarda lösit oluşumunun test edilmesi ve elde edilen lösitin lösit-analsim dönüşüm deneylerinde kullanılmasıdır.

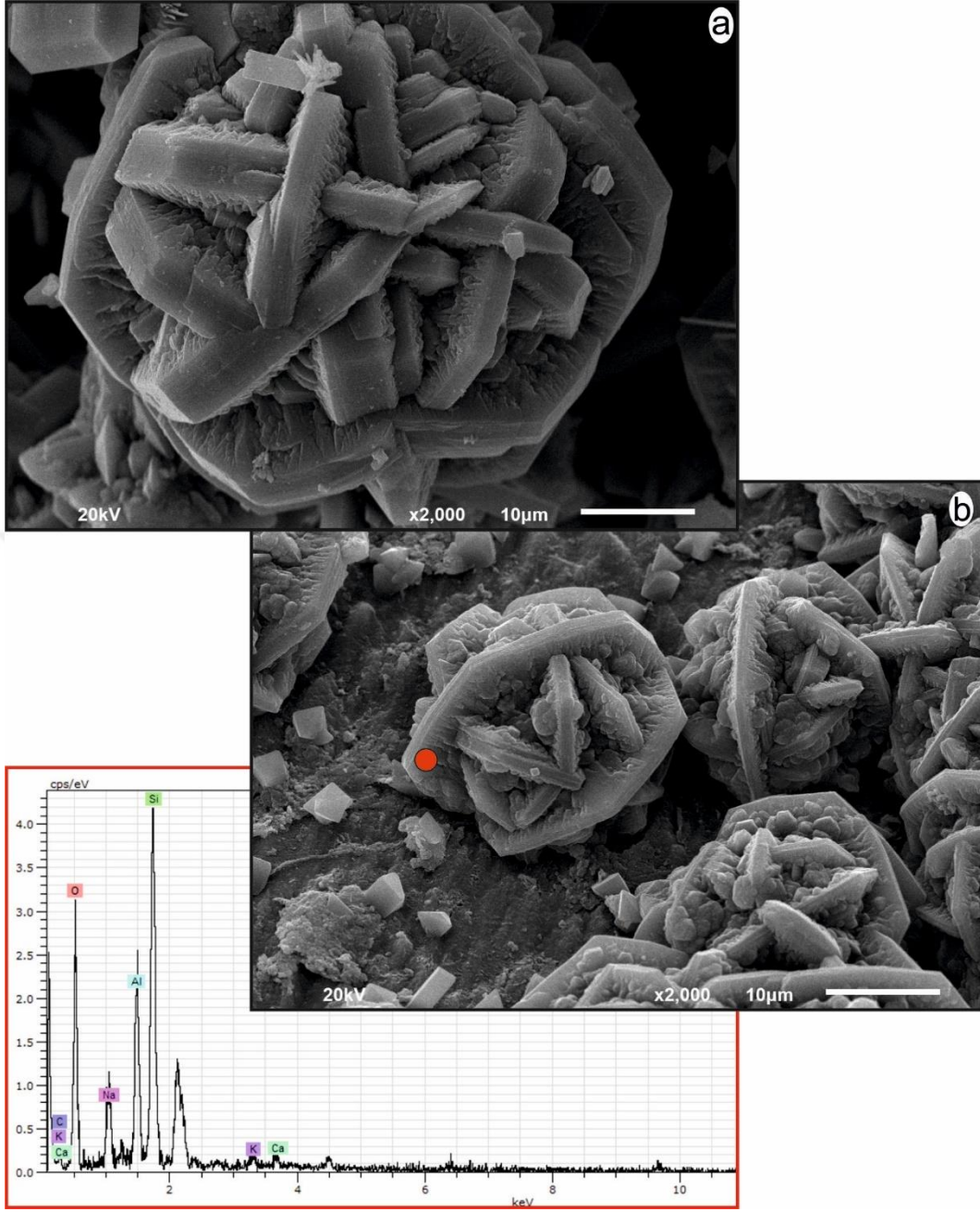
3.5.1. Bazik Ortamda Analsim Sentezi

Bölüm 2.2.2.5’de anlatıldığı şekilde elde edilen katı silis kumuna basit analsim formül dizilimine göre silisyum/alüminyum oranı 1/2 olacak şekilde laboratuvarından edinilen saf kimyasal Al_2O_3 (Merck marka) ilave edilmiştir. Karışımın 1 gram kadarı, 2 molar 20 ml NaOH çözeltisi içerisinde 150°C, 175°C ve 200°C sıcaklıkta 5 saat süre ile teflon kap içerisinde mikrodalga fırında kısmi döngü (twist) hareketi ile bekletilmiştir. Ortam sıcaklığının artışıyla birlikte basınç da artmaktadır. 150°C’de teflon kap içerisinde yaklaşık 4 bar, 175°C sıcaklıkta yaklaşık 7 bar ve 200°C sıcaklıkta yaklaşık 22 bar basınç oluşmaktadır.

Bazik ortamda 150°C’de kristalizasyon gerçekleşmemiştir. 175°C’de analsim ve hidrosodalit kristalizasyonu gerçekleşmiştir (Şekil 3.26, Şekil 3.27). Sentezlenen analsim kristallerinin ortalama boyutları 5 mikrometre civarındadır (Şekil 3.26). Ortamda nüvelenen kristallerin büyüklüğünün zaman faktörüne bağlı olarak değişim gösterdiği önceki çalışmalarda belirtilmektedir (Katsuki ve Futura, 2001; Li ve Yang, 2008). Bunun sonucu olarak kristal gelişimi hidrosodalitlerden ziyade, daha yüksek basınç ve sıcaklığı temsil edecek şekilde analsim oluşumunu göstermektedir. Nitekim 200°C sıcaklıkta öz şekilli 30 mikrometre çapa kadar analsim kristalleri gelişmiştir (Şekil 3.27, Şekil 3.34b,c,d).



Şekil 3.26. Bazik hidrotermal ortamda 200°C ve 22 bar basınç altında sentezlenen analsim kristalleri.

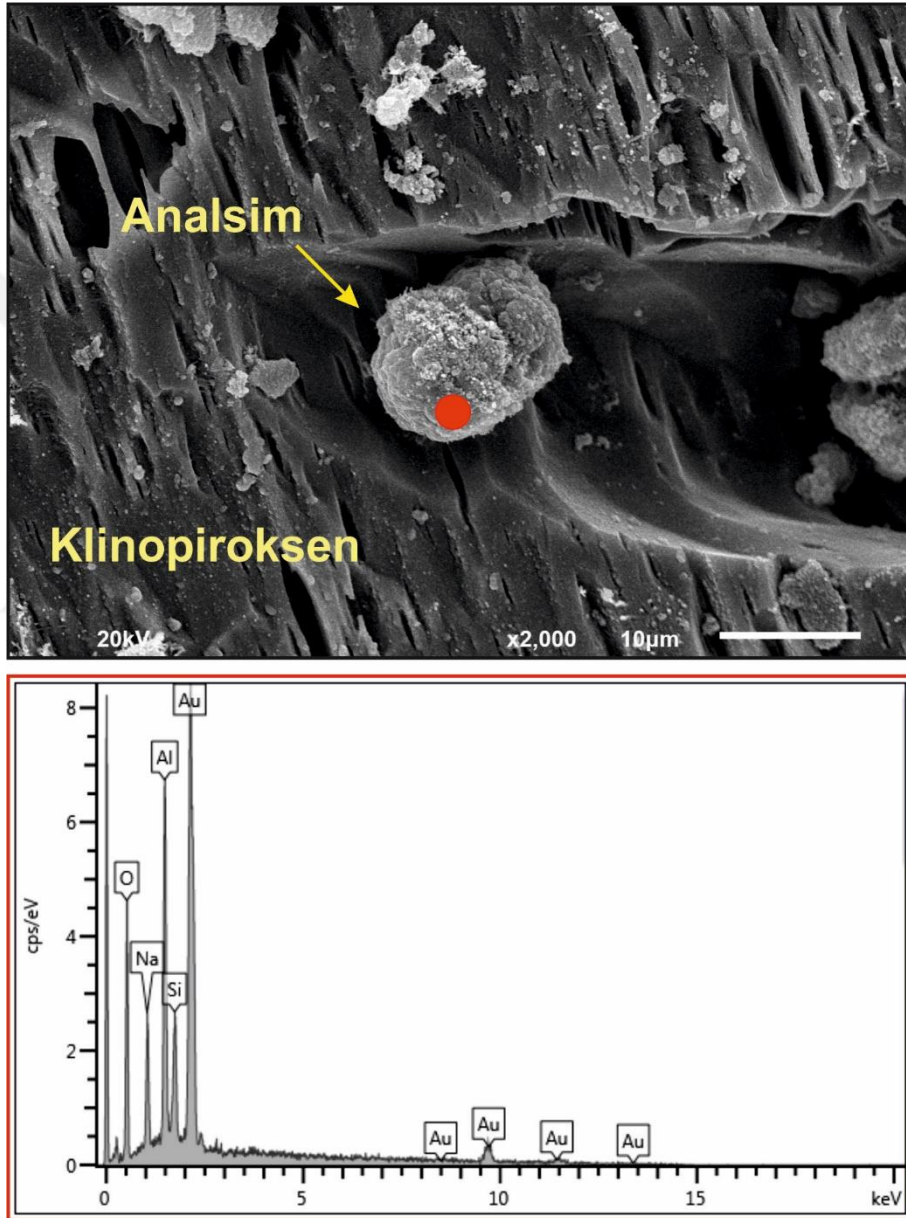


Şekil 3.27. Bazik hidrotermal ortamda 175°C sıcaklık ve 7 bar basınç altında sentezlenen hidrosodalit kristalinin yüksek sıcaklık ve daha uzun sürede analsim kristallerine dönüşümü.

Bu çalışma kapsamında oluşturulan hidrotermal ortamlarda katyon konsantrasyonu ve zaman faktörü de dikkate alınarak 2M NaOH çözelti ortamında 5 saat süre ile 200°C’de sodalit oluşumlarının daha saf hâlde geliştiği görülmüştür.

- **Klinopiroksenler üzerinde yapılan 175 °C ve 200 °C analsim kristalizasyonu**

Bazık hidrotermal ortamda analsim sentezinde kullanılan çözelti şartları için oluşturulan 175°C ve 200°C sıcaklıktaki hidrotermal ortamlara bırakılan klinopiroksen kristallerinin üzerine analsim kristallerinin nüvelendiği gözlemlenmiştir (Şekil 3.28).

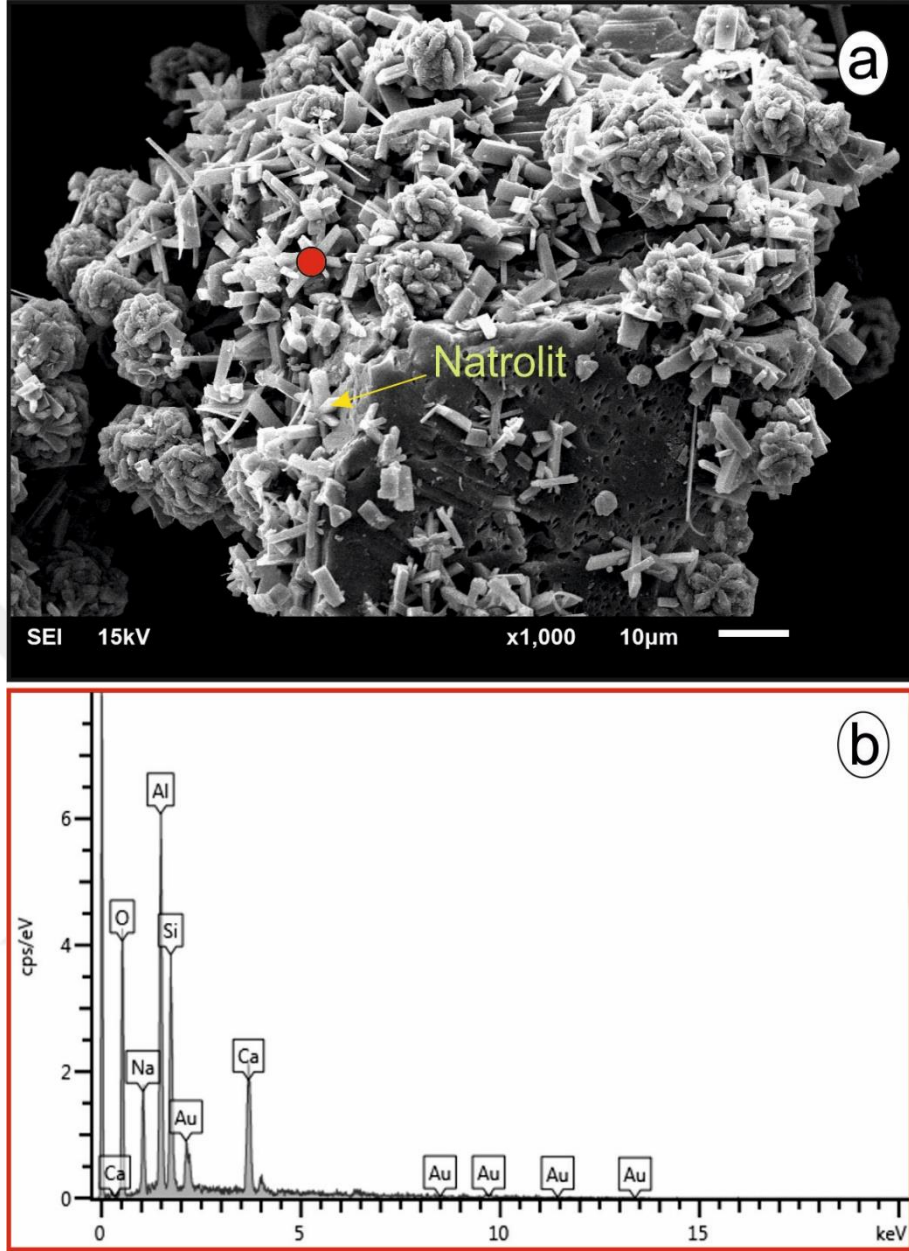


Şekil 3.28. Bazık hidrotermal ortama yerleştirilen klinopiroksen kristalinin üzerine tutunmuş analsim nüvesi.

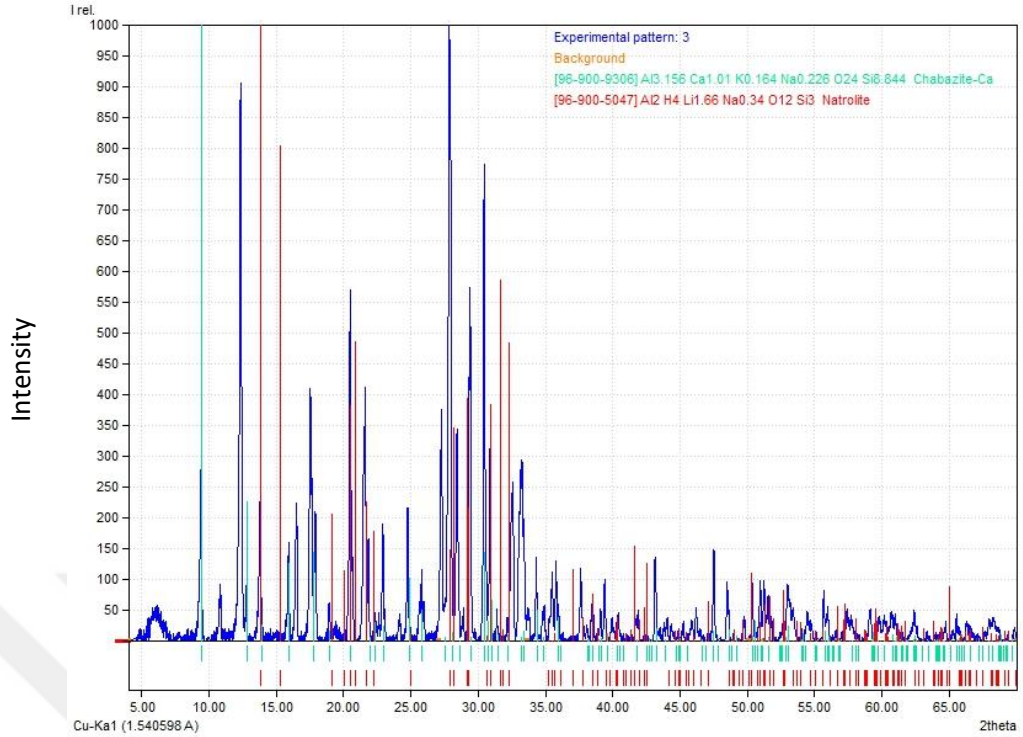
3.5.2. Asidik Ortamda Analsim Sentezi

Bölüm 2.2.2.5’de anlatıldığı şekilde elde edilen katı silis kumuna basit analsim formül dizilimine göre silisyum/alüminyum oranı 1/2 olacak şekilde laboratuardan edinilen saf kimyasal Al_2O_3 (Merck marka) ilave edilmiştir. Elde edilen karışımın 1 gram kadarı, % 2’lik HF çözeltisi içerisinde, sodyum (Na) kaynağı 0.5 gr NaCl olacak şekilde 175°C ve 200°C sıcaklıkta 5 saat süre ile teflon kap içerisinde mikrodalga fırında kısmi döngü (twist) hareketi ile bekletilmiştir. Teflon kaplarda yapılan 175°C ve 200°C sıcaklıklardaki deneylerin basınç koşulları sırasıyla 7 bar ve 22 bardır.

175°C’de reaksiyon sonucu sentezlenen toz numunenin SEM-EDS (Şekil 28) ve X ışınları difraksiyon (Şekil 3.29, Şekil 3.33a) incelemeleri sonucu 10 mikrona yakın boyutlarda ışınsal natrolit ve şabazit kristallerinin nüvelenmeye başladığı gözlenmiştir. (Şekil 3.29 ve 3.30). Analsim kristalizasyonu, asidik ortam deney kurgularında gerçekleşmemiştir.



Şekil 3.29. Asidik hidrotermal ortamda sentezlenen natrolit kristallerine ait SEM görüntüsü (a) ve EDS çekimi (b). Kristallerin ilk nüve hali görülmektedir.



Şekil 3.30. Asidik hidrotermal ortamda sentezlenen natrolit ve şabazit kristallerine ait X-ışınları difraktogramı.

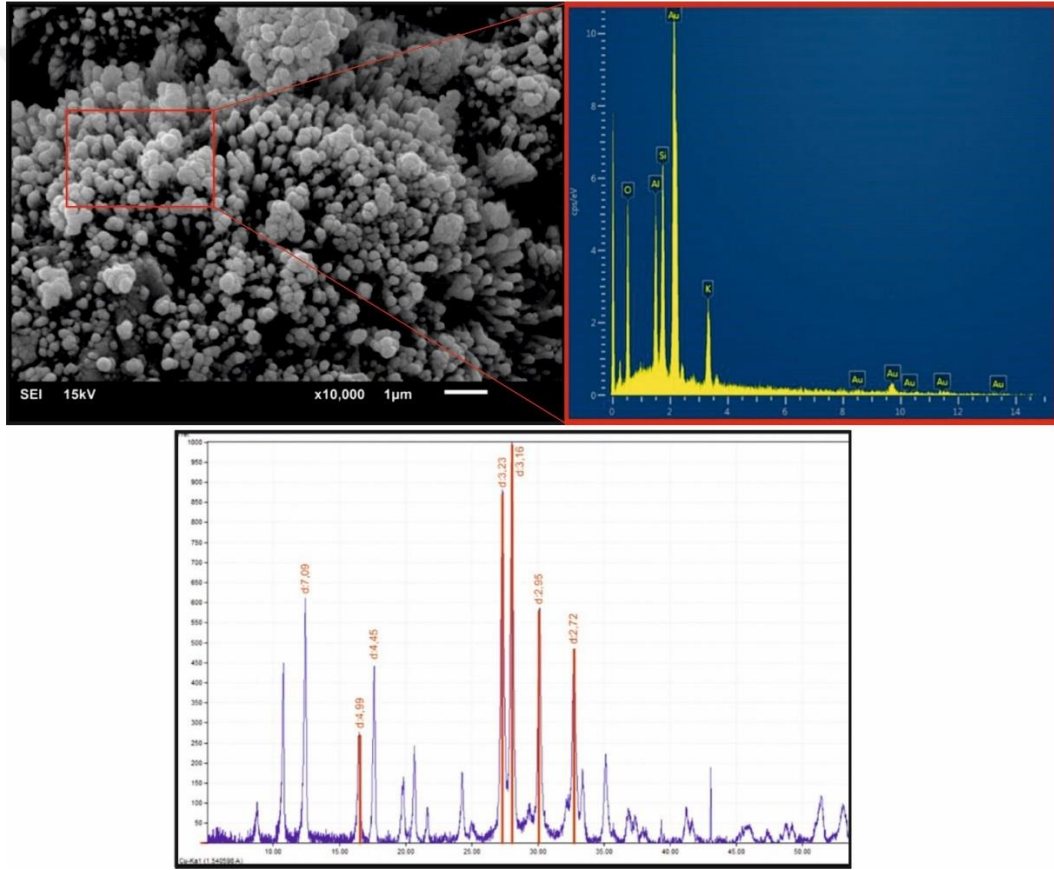
Klinopiroksenler üzerinde yapılan 175 °C ve 200 °C analsim kristalizasyonu;

Asidik ortamda analsim sentezinde kullanılan çözelti şartları için tekrardan 175°C ve 200°C sıcaklık koşullarında deney ortamı oluşturulmuştur. Hidrotermal teflon kapların bazılarının içerisine tıpkı bazik ortamdaki gibi klinopiroksen kristali bırakılmış ancak klinopiroksen yüzeyinde kayda değer bir kaplama ya da kristal nüvelenmesi gözlenmemiştir. Hatta asidik ortamda klinopiroksen yüzeyleri çözünmüştür.

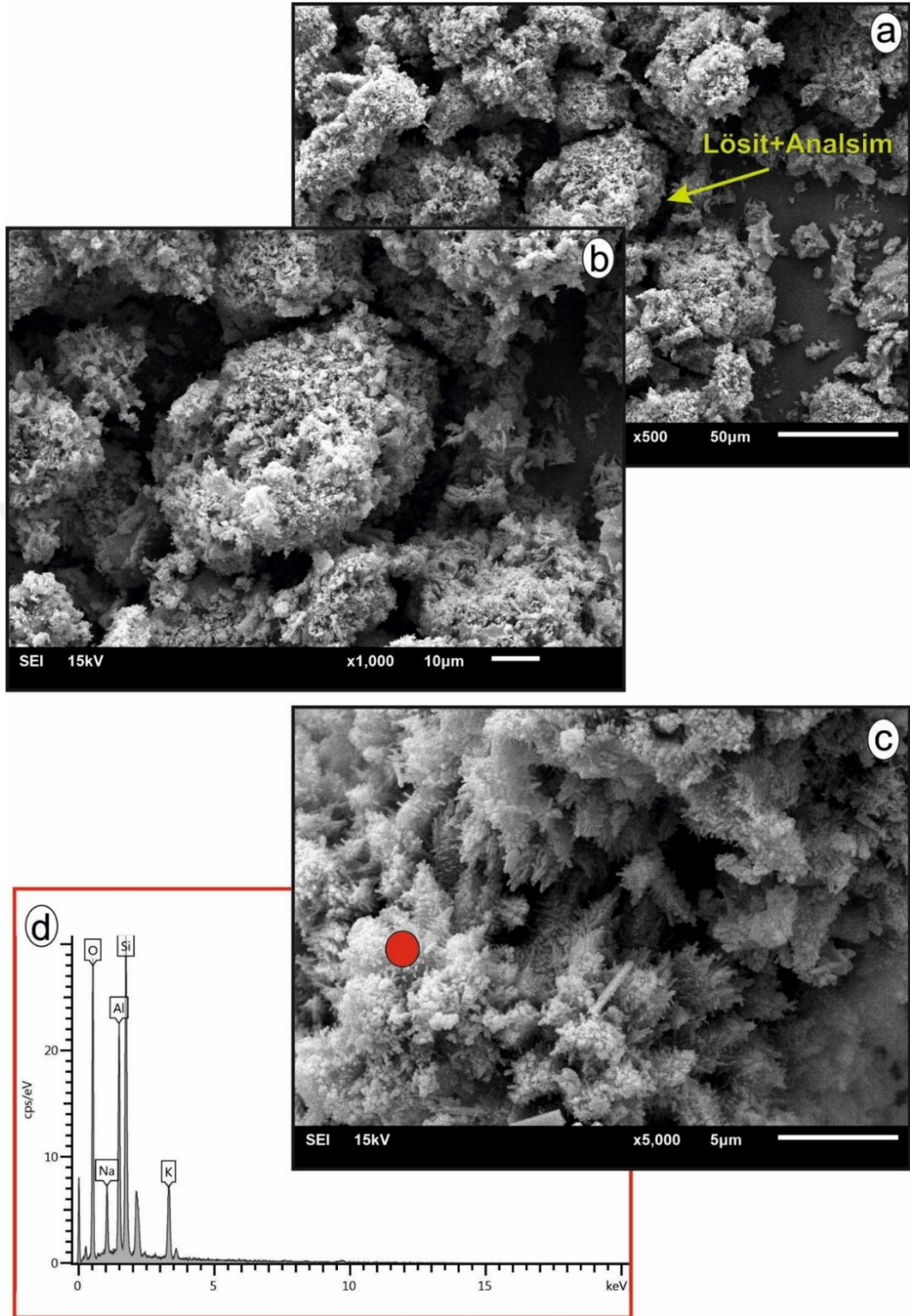
3.5.3 Bazik Hidrotermal Ortamda Lösit Sentezi

Lösit kristali sentezlenme işlemi farklı konsantrasyonlarda KOH çözeltisi oluşturularak hem amorf silis hem de saf kuvars kristalinin öğütülmesi ile elde edilen -yüksek sıcaklıkta kalsinasyon işlemine tabi tutulmadan- malzemelerle gerçekleştirilmiştir. Kuvars kristali kullanılan hidrotermal ortamda 0,4 gr Al_2O_3 toz karışımı 20 ml ve 2 molar derişimdeki KOH çözeltisi içerisinde 175°C ve 7 bar basınç altında 5 saat süre mikrodalga

fırında kısmi dönme hareketi (twist) ile bekletilmiştir. Oluşan ürünün SEM-EDS ve X-ışınları difraktogramında lōsit olduğu tespit edilmiştir (Şekil 3.31). Amorf silisten itibaren alüminyumoksit ile 1 molar 20 ml KOH çözeltisi ile hidrotermal ortam oluşturulmuştur. Benzer şekilde 175°C ve 7 bar sıcaklık ve basınç altında 5 saat boyunca işlem gören malzemeden elde edilen çökelin X-ışınları difraktogramı inclemelerinde lōsit olduğu görölmüştür (Şekil 3.31). Her iki durumda da elde edilen lōsit kristallerine ait difraktogramlar Cattel vd. (2005) tarafından elde edilen tetragonal lōsit kristalleri ile benzerlik göstermektedir (Şekil 3.31).



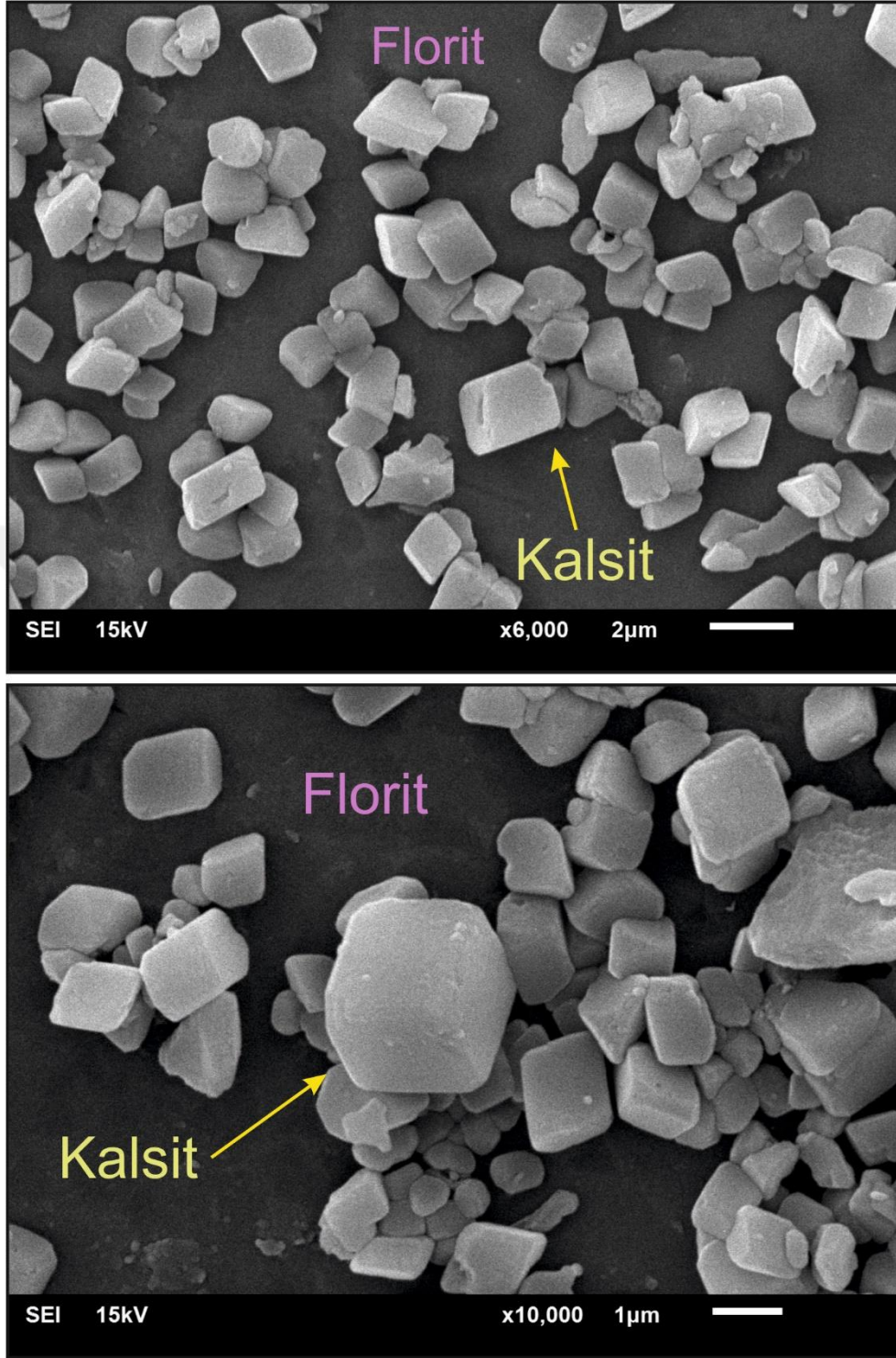
Şekil 3.31. Bazık hidrotermal ortamda kristallenen pseudolōsit kristaline ait SEM-EDS ve x-ışınları difraktogramı.



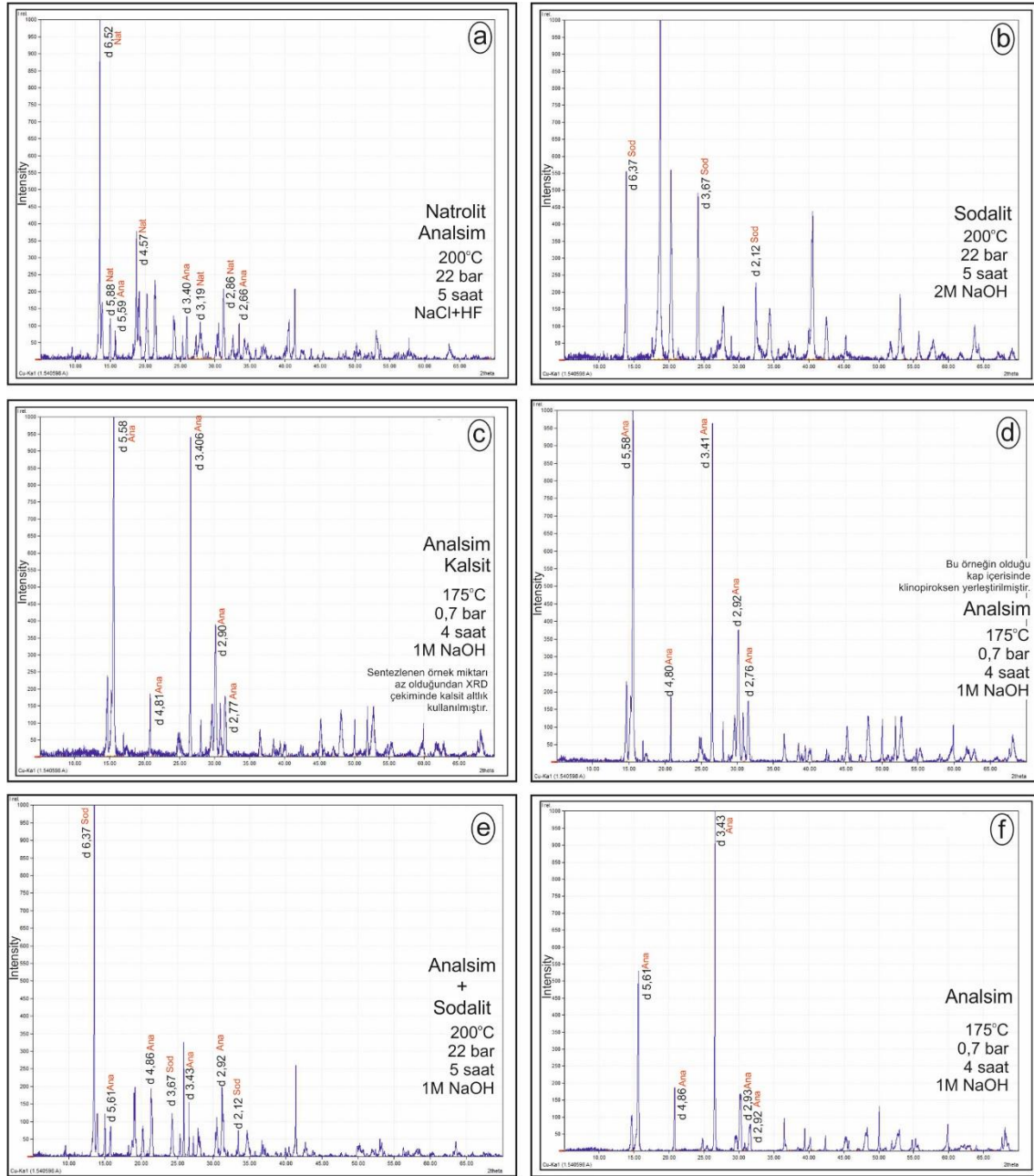
Şekil 3.32. Yarı öz şekilli ve öz şekilsiz sentetik lösit kristallerinin NaOH hidrotermal ortamındaki dönüşümü sonucu oluşan lösit - analsim birliktelikleri (a,b,c) ve eds spektrumu (d).

3.5.5. Bazik Ortamda Kalsit Sentezi

Lösit dönüşüm ürünü olan analsimler ve hidrotermal kökenli olan analsimlerle birlikte en sık görülen ikincil mineral kalsittir. Analsim ile kalsitin hidrotermal ortamlarda oluşum şartlarını denestirmek için kalsit kristalizasyon deneyleri yapılmıştır. Kayaçlarda analsime eşlik eden kalsit minerallerinin sentezi için kalsiyum (Ca) kaynağı olarak florit minerali kullanılmıştır. Kayaçların doğal ortamında Ca^+ kaynağı muhtemelen çözelti içerisinde iyonik hâlde bulunmaktadır. Laboratuar ortamında Ca^+ konsantrasyonunu kontrol edebilmek ve farklı mineral oluşumlarını önleyebilmek adına takribî boyutu 200 mikron civarında florit parçacıkları 3 molar 25 ml NaOH çözeltisi içerisine bırakılmıştır. Karbon (C) kaynağı olarak NaHCO_3 kullanılarak oluşturulan bazik ortamda, 150°C sıcaklıkta 5 saat karıştırma programında mikrodalga fırın içerisinde, izole teflon kapta reaksiyon gerçekleştirilmiştir. Neticede florit parçacıklarının üzerinde öz şekilli ortalama 2 mikron büyüklüğünde kalsit kristallerinin oluştuğu gözlenmiştir (Şekil 3.33, Şekil 3.34c).



Şekil 3.33. Florit minerali üzerinde büyütülmüş öz şekilli kalsit kristalleri



Şekil 3.34. Hidrotermal ortamda sentezlenen kristallere ait X ışını difraksiyonları. a; Asidik ortamda analsim+natrolit birlikteliği, b; Bazik ortamda sentezlenen sodalit c; Bazik ortamda sentezlenen analsim kristali. d; Bazik ortamda sentezlenen analsim kristali. Bu örnek kabına klinopiroksen eklenmiştir. e; Bazik ortamda sentezlenen analsim ve sodalit birlikteliği, f; Bazik ortamda sentezlenen analsim. (Her örneğin oluşumundaki ortamsal şartları difraktogramlar üzerine yazılıdır. Sentezlenen bazı örneklerin miktarı az olduğu için XRD örnek tutucusunda referans altlık olarak kalsit kullanılmıştır.)

4. İRDELEME VE TARTIŞMA

4.1. Giriş

Lösitler, potasyumca zengin alkali magmatitlerde fenokristal olarak bulunmaktadır. Analsimler ise daha geniş bir yelpazede, bazik, ortaç ve asidik magmatik kayalarda, sedimanter ve metamorfik kayalar içerisinde gözlemlenebilen yaygın bir fazdır. Analsimlerin yaygın bir şekilde bulunması oluşum koşullarının (sıcaklık, basınç, pH gibi) çok geniş aralıklarda olmasıdır.

Kuzey Anadolu Dağ Silsilesi içindeki alkali volkanik kayalarda öz şekilli analsim kristalleri bulunmaktadır (Gedik ve Bektaş 1988, Şen 1998, Bülbüloğlu 2001, Aydın 2003, Yücel 2013). Söz konusu kayalardaki analsim kristalleri mikroskop altında bazı araştırmacılar tarafından lösit olarak isimlendirilmiştir (Gedik ve Bektaş 1988). Ancak mikro kimyasal analizler sonucunda bu kayalarda lösit olarak tanımlanan kristallerin çoğunluğunun analsim olduğu tespit edilmiştir (Bülbüloğlu, 2001; Aydın, 2003; Yücel, 2013). Literatürde analsimin birincil olarak kristallendiği volkanik kayalara ait veriler bulunmaktadır ancak bu kayalar sodyumca zengin alkali volkanik kayalardır. (Pearce, 1970). Kuzey Anadolu Dağ Silsilesindeki kayalar sodyuma göre potasyumca daha zengindir (şekil 3.10). Potasyumca zengin lösitin içerisindeki K^+ aktivitesi Na^+ aktivitesine göre daha yüksek olduğundan uygun koşullarda $K^+ \rightarrow Na^+$ değişimi kolayca olabilmektedir (Khalaque, 2020). Literatürde doğal kayalardan ve deneysel çalışmalardan itibaren lösit – analsim dönüşümüne ait çalışmalar mevcuttur (Putnis, 1994, 2007; Wilkinson, 1968; Wilkinson, 1977; Putnis vd., 1994; Hovis vd., 2002; Putnis vd., 2007; Ruiz-Agudo vd., 2014).

4.2. Kuzey Doğu Anadolu Dağ Silsilesindeki Foid Minerali İçeren Kayalardaki Analsimlerin Kökeni

Kuzey Doğu Anadolu Dağ silsilesi içerisindeki Eosen yaşlı volkanitler potasyumca zengin alkali kayalardır (Şekil 3.10). Potasyumca zengin bu volkanitlerin içerisindeki öz

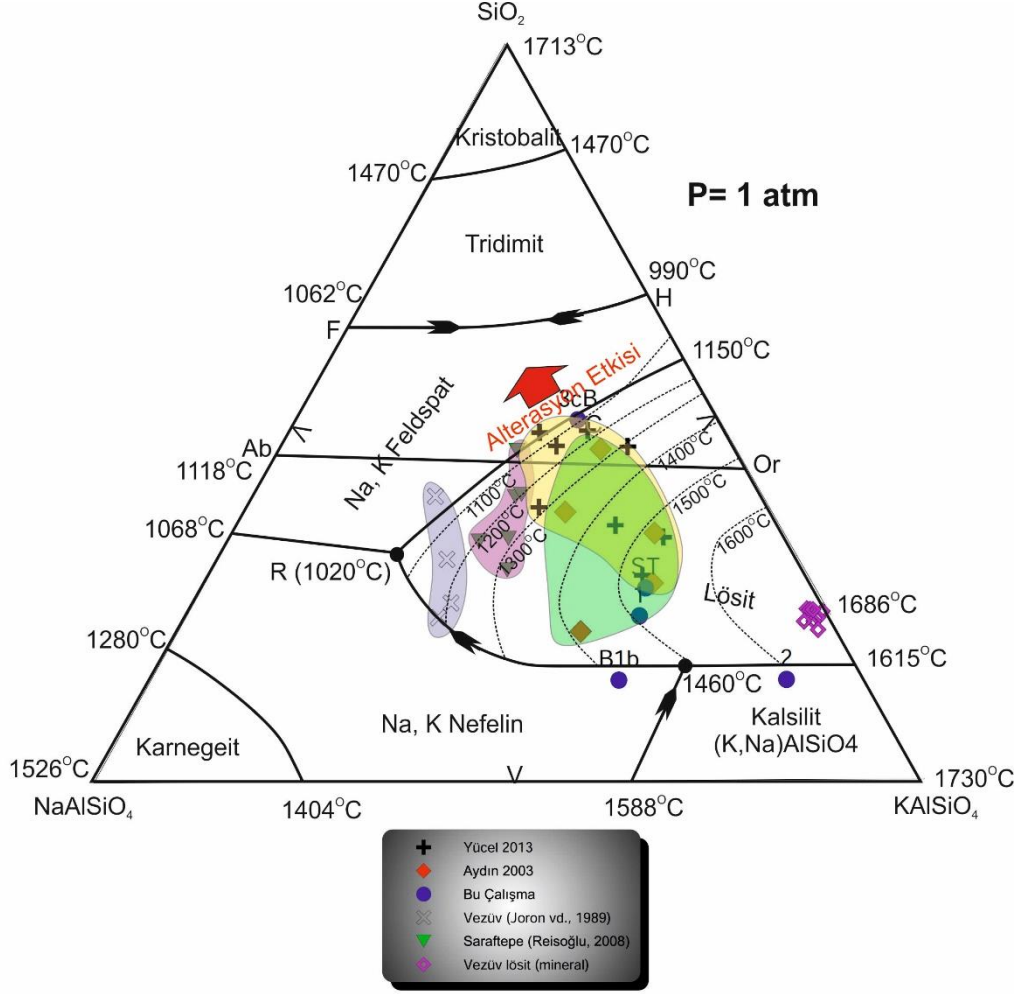
şekilli analsim kristallerinin literatürde de belirtildiği şekliyle lösit kristallerinden itibaren oluşup oluşmadığı deneysel ortamlar oluşturularak irdelenmiştir.

Analsimlerin içinde bulunduğu kayaçların kimyasal analizlerinden itibaren dengede bulunduğu mineral birlikteliğini ortaya koymak için bileşimleri, farklı su basınçlarına göre oluşturulan $\text{SiO}_2 - \text{NaAlSiO}_4 - \text{KAlSiO}_4$ faz diagramlarına düşürülmüştür. Kullanılan faz diagramları Schair'ın (1950) deneysel çalışmaları neticesinde ortaya konulmuştur. Daha sonra bir çok araştırmacı tarafından (Fudali, 1963; Morse, 1969; Hamilton ve MacKenzie, 1975; Roux ve Hamilton, 1976) revize edilen faz diagramları en son Gupta (2015) tarafından 1 atm, 1 kbar, 5 kbar H_2O basınç şartları için yeniden oluşturulmuştur. Bu çalışmada, Gupta (2015) tarafından oluşturulan faz diagramları (Şekil 4.1, Şekil 4.2, Şekil 4.3) kullanılmıştır. Örnekler bu faz diagramlarına tüm kayaç kimyasal bileşimlerinden itibaren milimoller hesaplanarak düşürülmüştür.

$\text{SiO}_2 - \text{NaAlSiO}_4 - \text{KAlSiO}_4$ üçgen diagramlarında, lösit, nefelin, kalsilit, tridimit, Na, K-feldspat kristallerinin duraylılık alanları ve sıcaklıkları gösterilmiştir. Bu diagramlarda 1 atm (0,1 kbar) basınçtan (Şekil 4.1) 5 kbar basınca (Şekil 4.3) doğru lösit alanının daraldığı görülmektedir.

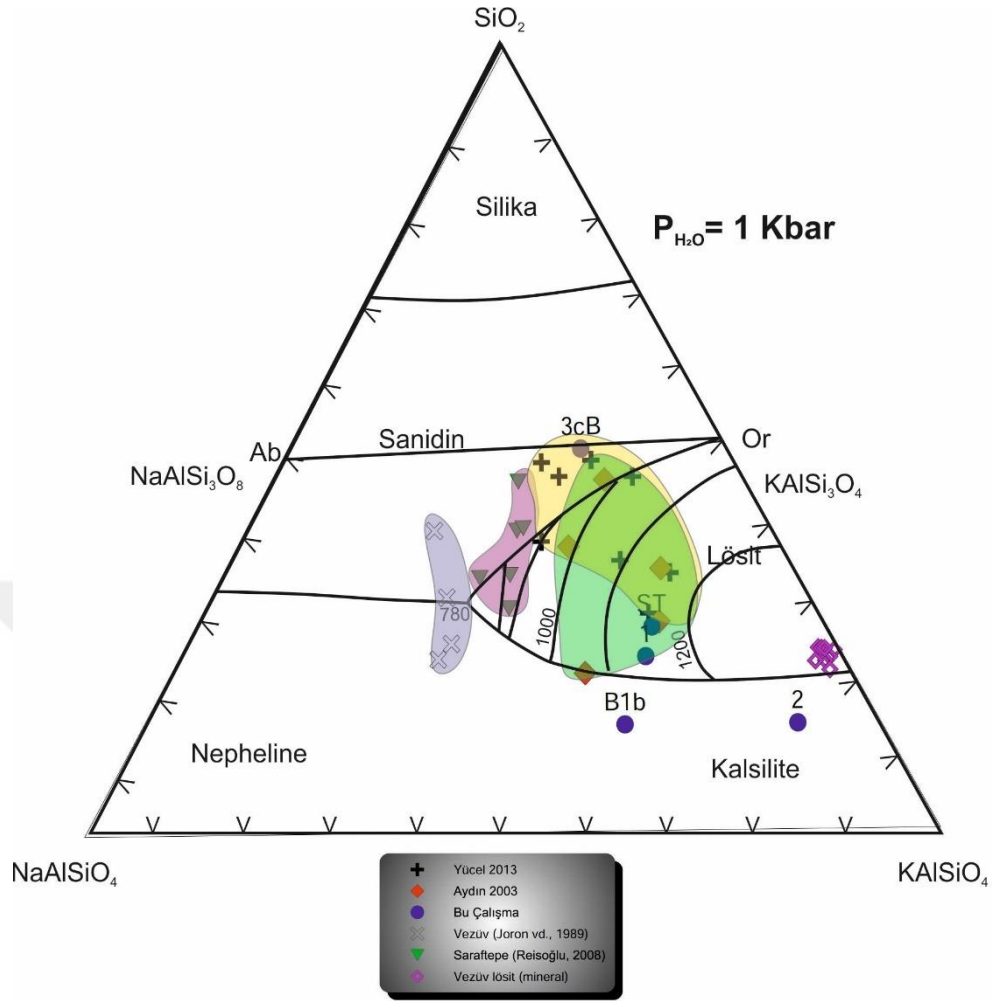
1 atm basınç için oluşturulan $\text{SiO}_2 - \text{NaAlSiO}_4 - \text{KAlSiO}_4$ diagramında geniş bir lösit duraylılık alanı bulunur ve bu alanda sıcaklık konturları 1020°C ile 1686°C aralığında değişir (Şekil 4.1). Ab – Or bileşim hattının silika uç üyesine doğru olan alan silikaya doymuş, nefelin – kalsilit hattına doğru olan alan ise silikaya doymuş olmayan kısımdır. Bu faz diagramında lösit duraylılık alanının küçük bir kısmının silika doymuş alanda büyük bir kısmında silikaya doymuş olmayan alanda kaldığı görülmektedir.

Bu çalışma için derlenen örnekler (örnek numaraları ile gösterilmiştir) ve buna ilaveten, Aydın (2003, yeşil alandaki örnekler) , Reisoğlu (2008, mor alandaki örnekler), Yücel (2013, sarı alandaki örnekler) ve Vezüv (lacivert alandaki örnekler) volkanına ait kayaç örnekleri diagrama düşürülmüştür. Örneklerin büyük bir kısmının lösit alanında yer aldığı görülmektedir. Tridimit feldspat sıcaklık kontur ayrımına denk gelen örneklerin alterasyon etkisiyle bu kısımda yer aldıkları düşünülmektedir.



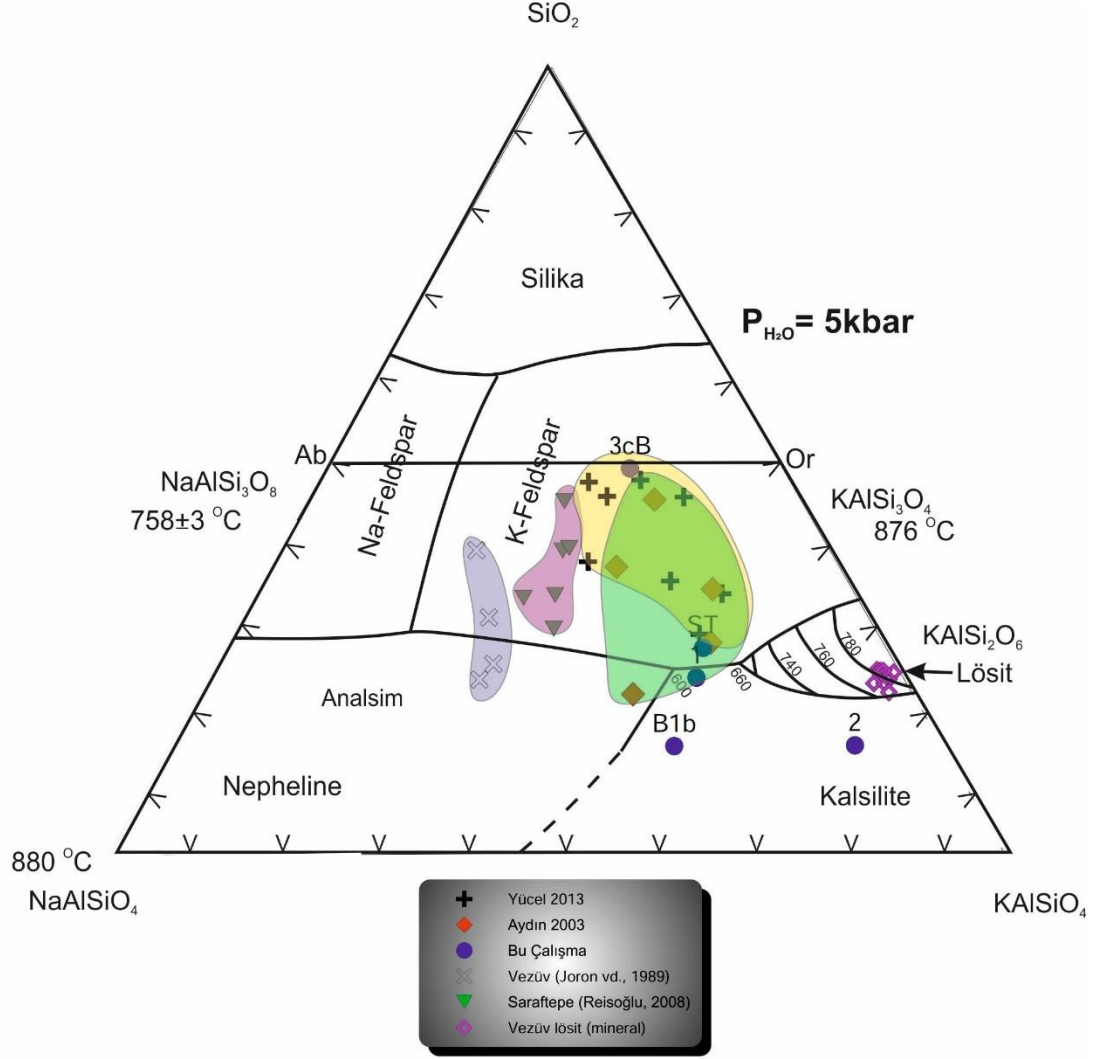
Şekil 4.1. 1 atm basınç altında Nefelin-Kalsilit-Kuvars mineral faz ilişkileri (Henderson, 1984).

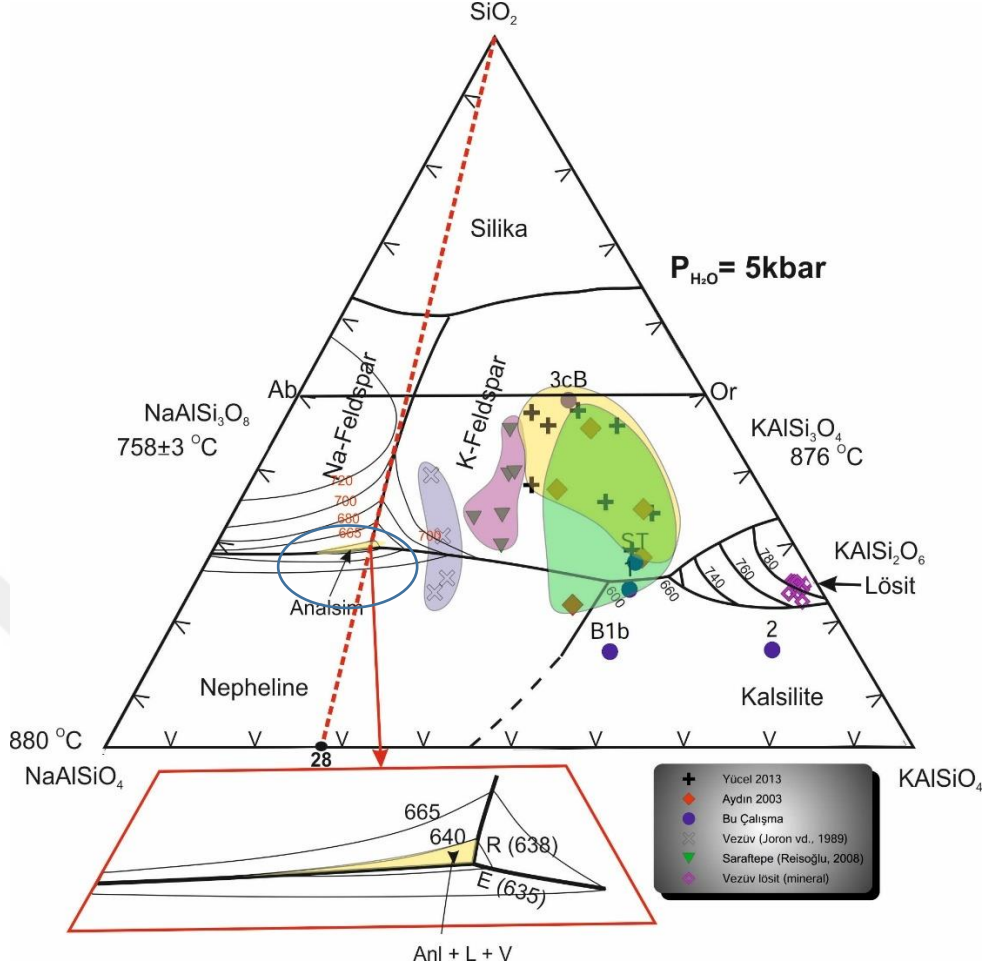
$P_{H_2O}=1$ kbar basınç koşulu için oluşturulan SiO₂ – NaAlSiO₄ – KAlSiO₄ üçgen diagramında lösit duraylılık alanının 1 atm'ye göre küçüldüğü, sanidin, nefelin ve kalsilit duraylılık alanlarının genişlediği görülmektedir (Şekil 4.2). Bu diagramdaki lösit alanında sıcaklık konturları 780°C – 1250°C aralığında değişmektedir. Bu diagramın 1 atm basınç diagramından en önemli farkı hem duraylılık alanının küçülmesi hem de sıcaklık değerlerinin azalması olmuştur. Ab – Or hattına göre lösit duraylılık alanının tamamen silikaya doymun olmayan alana kaymıştır. Yukarıda açıklanan örneklerin bir kısmı lösit alanında yer alır, bir kısmı da lösit alanının silika ucuna doğru olan alana taşmıştır.



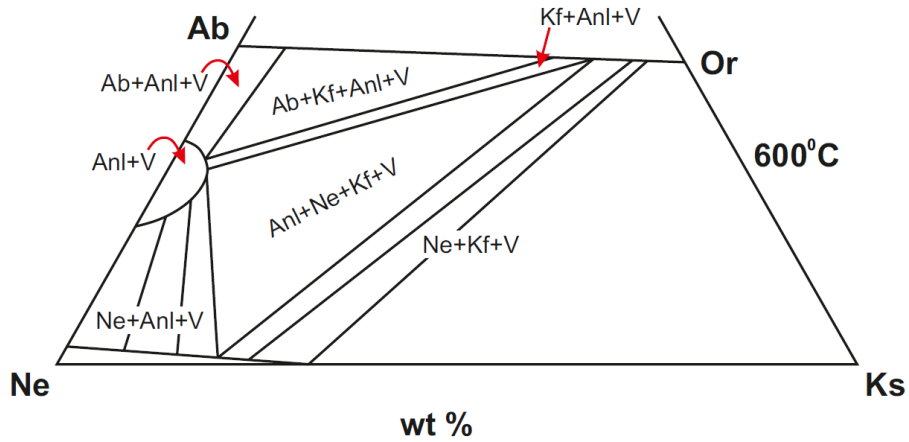
Şekil 4.2. Nefelin-Kalsilit-Kuvars-H₂O sisteminde kristal faz ilişkileri (Henderson, 1984).

$P_{H_2O}=5$ kbar basınç için oluşturulan $SiO_2 - NaAlSi_3O_8 - KAlSi_3O_4$ üçgen diagramında lösit duraylılık alanı yukarıdaki diagramlara göre daha da küçülmüştür. Lössit alanı içindeki sıcaklık konturları 660 ila yaklaşık 800°C aralığındadır (Şekil 4.3). Bu diagramda silika alanı, nefelin ve kalsilit alanları ile Na, K-feldspat duraylılık alanları lösite göre genişlemiştir. Na,K-Feldspat duraylılık alanı kendi içerisinde Na-Feldspat ve K-Feldspat duraylılık alanı olarak ayrılmıştır. Çalışılan örneklerin tamamına yakını bu diagramda K-Feldspat alanında yer almaktadır.





Şekil 4.4. Nefelin-Kalsilit-Kuvars-H₂O sisteminin 5 kbar P_{H₂O} şartı altında sodyumca zengin bölgesinin sıcaklık faz geçişi. Sarı taralı alan analsimin olduğu bölgedir. Anl:Analsim, L:silikat ergiyiği, V: Uçucu (Schair, 1957; Morse, 1969; Henderson, 1984).



Şekil 4.5. Nefelin-Kalsilit-Kuvars-H₂O sisteminin sodyumca zengin bölgesinin 5 kbar basınç altında ve 600 °C sıcaklık koşulundaki Analsim (Anl), Nefelin (Ne), K-Feldspat (Kf), Albit (Ab), Uçucu (V) birliktelikleri (Morse, 1969; Henderson, 1984).

Bölgemizde alkaliyen volkanik kayalar içerisinde (boşluk, kırık, çatlaklar haricinde) hamur içerisinde öz ve yarı öz şekilli kristaller hâlinde birincil oluştuğu düşünülen ve lösit olarak değerlendirilen, ancak mikrokimyasal analizlerle analsim bileşiminde olduğu tespit edilen kristaller magmadan lösit olarak kristallenmiş olmalıdır. Bunun en baştaki nedeni, kayanın kimyasının lösit duraylılık alanına düşmüş olmasıdır. Kayanın oluşumunu izleyen zamanlarda, asidik veya bazik karakterli ergiyiklerin etkisiyle lösit kristalleri analsime dönüşmüştür. Literatürde analsim oluşumu yalnızca lösitlerden itibaren değil, sodik plajyoklaslardan itibaren de olduğu belirtilmektedir (Tschermerich, 1992; Özen ve Göncüoğlu, 2011).

Nefelin-Kalsilit-Kuvars-H₂O sistemi, silisyuma doymayan magmalardaki nefelin, kalsilit ve lösit reaksiyonlarının duraylılık alanlarını belirlemek için 1 atm ve artan P_{H₂O} sisteminde irdelenmiştir (Şekil 4.1). Bu sistemde birincil analsimin silikaca fakir magmada denge hâlinde kalabilmesi için P_{H₂O}'nun 5 kbar'dan daha büyük olduğu sodyumca zengin koşullarda mümkün olabilmektedir. Feldspat grup mineraller genelde, alkalilerce zengin ve silikaya doymayan kayalar tiplerinde sınırlı olarak oluşurlar.

• Analsimlerin Lösitten İtibaren Oluşturuna İlişkin Deliller

1) Everekhanlarındaki volkanitler ile Trabzon yöresindeki alkaliyen volkanitler K⁺ca zengin kayalardır (Şekil 3.10). Bu kayaların kimyasal bileşimleri Şekil 4.1, 4.2, 4.3'deki faz diagramlarına düşürüldüğünde belli sıcaklık ve basınç koşullarında lösit duraylılık alanında yer almaktadır. Diagramlar ayrıntılı olarak incelendiğinde bu kayalarda kimyasal denge hâlinde oluşacak lösitlerin P_{H₂O}=1 kbar civarı ve biraz daha düşük basınç ve 780°C – 1250°C sıcaklık koşullarında oluşabileceği görülmektedir.

Birincil analsim kristalleri Na⁺ca zengin magmalardan itibaren çok özel koşullarda kristallenebilmektedir (Schair, 1957; Morse, 1969; Henderson, 1984). Deneysel çalışmalar birincil analsimlerin ancak P_{H₂O}=5 kbar'dan daha yüksek basınç altında 635°C'de oluşabileceğini deneysel olarak gösterilmiştir (Şekil 4.4; Şekil 4.5). Bu koşullarda kayada molar olarak kalsilit/nefelin oranının 0,28'den daha düşük olması gerekmektedir (Şekil 4.4). Tüm kayalar kimyasından molar olarak hesaplanan kalsilit/nefelin oranı 0,28'den daha yüksek olan kayalarda lösit kristallenme potansiyeli mevcuttur. Şekil 4.5'teki duraylılık alanlarının birçoğunda birincil analsimlerin nefelin ve K-Feldspatlarla birlikte kristallendikleri

görülmektedir. Şekil 4.1, 4.2, 4.3’de analsim kristalizasyonunun olduğu alanlar çalışılan örneklerin düştüğü alanlar lösit duraylılık alanında olup çalışılan örnekler içerisinde birincil analsimin kimyasal olarak dengede olamayacağı açıkça görülmektedir.

Şekil 4.1, 4.2, 4.3’de verilen faz diagramları çalışılan örneklerin kimyasal denge içerisinde lösit kristallenebileceğini göstermiştir.

2) Çalışma alanlarından elde edilen kayaçlardaki analsim kristalleri için Bayburt Everekhanları bölgesi analsim kristallerinin dönüşüm tür ürünler olduğu SEM-EDS incelemeleri neticesi üzerlerindeki düzensiz boşluklu yapılar ve çatlak yapıları ile belirlidir. Ayrıca çatlak oluşumundan sonraki süreçte çatlaklar kil ve karbonat tür malzemelerce doldurulmuştur. Bu durum minerallerin rekristalizasyon neticesi oluştuğuna delil olarak gösterilebilmektedir. Bayburt bölgesi örnekleri üzerindeki incelemelerde farklı türde bir zeolit oluşumuna hem arazi hem ince kesit hem de SEM-EDS incelemelerinde rastlanılmamıştır.

Trabzon bölgesinden elde edilen örneklerin SEM-EDS incelemelerinde bazı örnekler üzerinde çatlak görülmekle birlikte bu çatlakların içerisinde kil ve/veya karbonat tür ikincil mineral olmaması sonradan oluştuklarını düşündürmektedir. Öyle ki çoğu analsim kristalinin üzerinde çatlak bulunmamaktadır. Ayrıca kayacın daha önceki ince kesit incelemelerinde lifi zeolit kristallerine rastlanılmıştır.

Analsim kristallerinin çatlaklarının kil ve karbonat minerallerince doldurulmuş olması ve kayacın genelinde ayrıca analsimlerin etrafında zeolitleşmenin görülmemesi, analsim dönüşüm sürecinin alterasyon sürecinden bağımsız ve öncesinde tamamlanmış olduğuna işaretir.

3) Asidik ve bazik hidrotermal ortamların oluşum sonuçları baz alındığında dönüşüm tür analsimlerin bazik, çatlak dolguşu şeklinde hidrotermal kökenli analsimlerin asidik ortamlarda oluştuğuna dair bir sonuca gidilebilir. Hidrotermal analsimlerin yakın plan incelemelerinde nispeten düzgün büyüme yüzeyleri gösterdiği görülmektedir. Yüzeylerindeki boşluklu yapılar daha çok düzenli kristal büyümesi sonucu oluşmuş büyüme hatlarından kaynaklanmaktadır. Dönüşüm ürünlerinde bu tür özellikler görülmemektedir.

Bu görsel sonuçlara dayanarak Bayburt Everekhanlarında bulunan analsimler ile Trabzon Yöresinde bulunan analsimlerin lösit dönüşüm ürünleri olduğu sonucuna varılmaktadır.

4) Kayaç oluşumu ve soğuması sürecini takiben, kayaç içerisinde korunarak kalabilecek lösit kristallerinin dönüşmesi için magmatizmanın son evresinde gerçekleşen

hidrotermal faaliyetler haricinde, atmosferik şartlardan itibaren gerçekleşen su döngüsünün jeotermal evrede kayaca nüfuzu ile K^+ - Na^+ dönüşüm sürecinin gerçekleşebilmesi olasıdır. Jeotermal akışkanların yer kabuğunda hidrotermal çözelti gibi davranışı ayrıca kayaç alterasyonu ve zeolitizasyon sürecinin de ilerlemesine yardımcı olur. Buradan hareketle, çalışma alanındaki kayaçların kırık ve çatlak hatlarında zeolit kristallerinin görülmesi ancak kayaç hamurunda yerleşik lösit kristallerinin yerinde analsim haricinde başka bir zeolit türünün bulunmaması, lösit – analsim dönüşümünün difüzyon yolu ile gerçekleşmiş olduğunu gösterir.

4.2.1. Çalışılan Volkanitlerdeki Diğer Foid Minerallerinin Kökeni

Trabzon yöresindeki volkanik kayaçlarda analsime dönüşmüş lösitlerin haricinde höyn, kankrinit ve vişnevit gibi foid mineralleri de bulunmaktadır (Aydın, 2003). Mineralleri oluşturan alkaleen magma içerisinde bu minerallerin dengede olduğu ve oluştuğu magmanın bileşiminde Cl^- , SO_4^{2-} , CO_3^{2-} gibi uçucular bulunmaktadır. Bu minerallerin incelenen kayaçlarda yaygın olarak bulunmaması magmanın yersel olarak söz konusu uçucularca zenginleştiğini göstermektedir.

Vişnevit $((Na,K)_8(Al_6Si_6O_{24})(SO_4,CO_3) \cdot 2H_2O)$, kankrinit $(Na_6Ca_2[(CO_3)_2Al_6Si_6O_{24}] \cdot 2H_2O)$, höyn $((Na,Ca)_8(Al_6Si_6O_{24})SO_4)$, nosean $(Na_8(Al_6Si_6O_{24})SO_4)$ gibi foid minerallerinin magmatik ortamda oluşabilmesi için indikatör görevi görecektir CO_3^{2-} , SO_4^{2-} ve Cl^- uçucuların bulunması gereklidir. Rutin tüm kayaç ve iz element kimyası analizlerinde Cl^- , SO_4^{2-} , CO_3^{2-} gibi uçucular analiz edilmediği için bu minerallerin içinde bulunduğu kayaçlardaki uçucu türevi ve miktarı sağlıklı olarak bilinmemektedir. Ayrıca söz konusu minerallerin faz ilişkileri de çok iyi bilinmemektedir. Bu konu gelecek araştırmalar için çalışma konusu olabilecek potansiyeldedir.

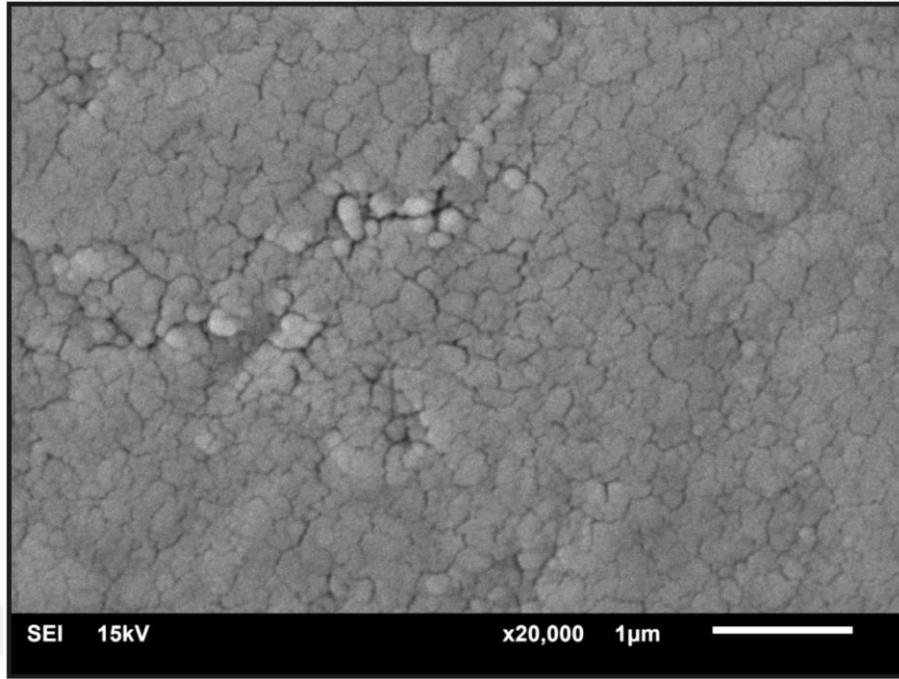
4.2.2. Doğal Lösit-Analsim Dönüşüm Deneyleri

Lösit analsim dönüşümü en basit şekliyle $KAlSi_2O_6 + Na^+_{aq} + H_2O \leftrightarrow NaAlSi_2O_6 \cdot H_2O + K^+_{aq}$ basit formülündeki sodyum – potasyum sübsitüsyonu ile oluşmaktadır (Putnis vd., 1994; Putnis vd., 2007).

Doğal lösit kristallerinden itibaren analsime dönüşüm süreci için asidik ve bazik deney ortamları oluşturulmuştur.

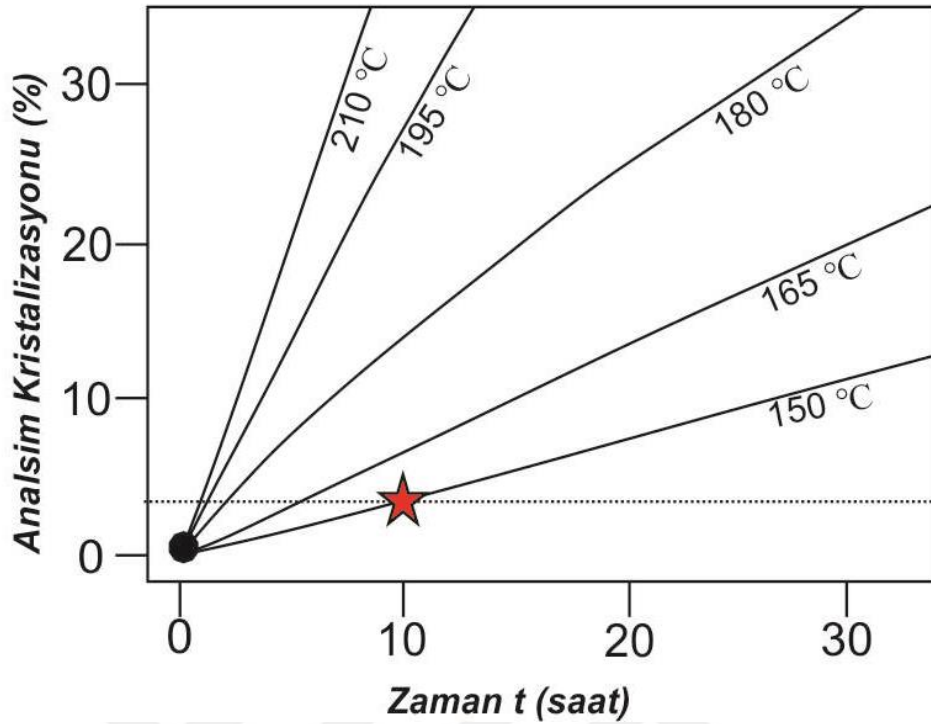
HCl ile oluşturulan asidik ortamda lösitte itibaren analsim sentezlenmeye çalışılmış ancak deneylerin sonucunda asidik ortamda herhangi bir kristal oluşumu görülmediği gibi var olan lösit bozunarak silisli ve alüminyumlu fazlar olarak çökelmiştir.

Elde edilen dönüşüm ürünü analsim minerallerinin tamamı bazik ortamda oluşmuştur. Bu çalışmadaki deneylerden doğal lösit minerallerinin hidrotermal ortamda alterasyonu ile elde edilen analsim kristalleri, Putnis vd. (1994, 2007)'nin çalışmalarında bahsedilen, kristalin düzgün yüzeylerinin dönüşüm sonrası yok olup, boşluğu dolduran yeni mineralin psödomorf olduğu ve mısır patlağı gibi biçimsiz ve poroziteli yapılarda oldukları tarifıyla uygun düşmektedir (Şekil 4.6). Poroziteli analsim yapısı tipik olarak lösit – analsim dönüşümünü işaret eden morfolojik emarelerin başında gelmektedir (Putnis vd., 2007). Ayrıca bu poroziteli yapı kristal hacminde artışa sebep olmakta ve bununla birlikte çoğunlukla mineralde bazen de kayada çatlaklara neden olabilmektedir (Karlsson ve Clayton, 1991). SEM-EDS incelemelerinde, kayda üzerinde lösitlerin bulunduğu konumlarda, lösitin yerine analsim oluşması ve örneklerin saf su ile yıkanıp arındırıldıktan sonra kayda üzerinde başka boşluklarda uyumlu şekilde analsim gözlemlenmemesi, lösit – analsim dönüşümlerinde Eda vd. (2006) ve Putnis vd. (2005)'in bahsettiği katı hal difüzyonu durumunu kanıtlamaktadır.



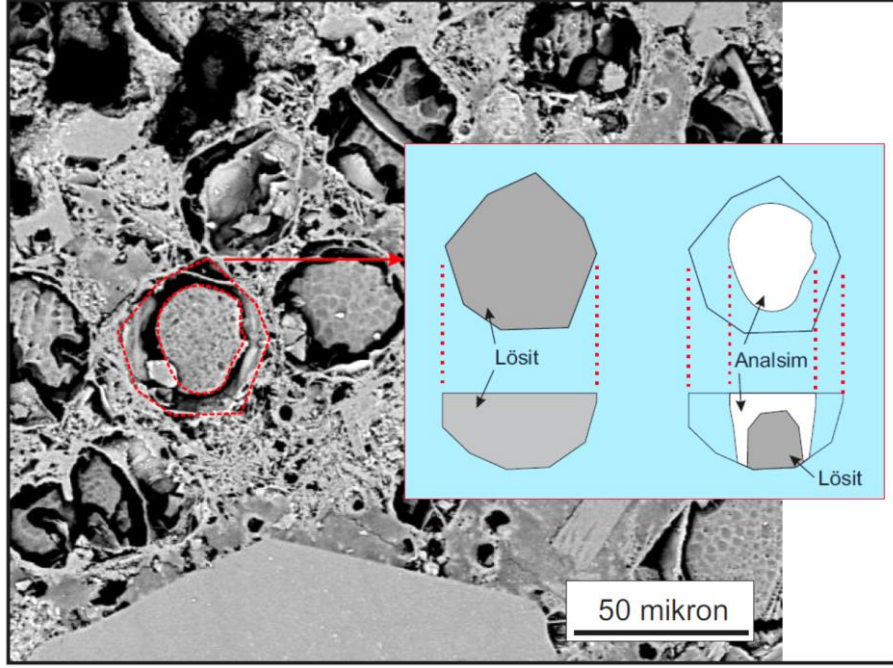
Şekil 4.6. 150°C’de 10 saat sürede NaOH ile oluşturulan bazik ortamda lösitten itibaren dönüşen analsim kristalinin poröz ve mısır patlağı şeklinde görülen kristal yüzeyi.

Putnis (2007) zamana karşı lösitin analsime dönüşümünü farklı sıcaklıklarda modellemiştir (Şekil 4.7). Bu modele göre teorik olarak 150°C’de 10 saat boyunca vezüvden alınan lösitli volkanik kayacın hidrotermal ortamda Na^+ ile mumamelesi neticesinde lösit kristallerinin her birinin yaklaşık % 5 kadar kütlesi $\text{K}^+ - \text{Na}^+$ substitüsyon sürecini tamamlayıp analsime dönüşebilmesi öngörülmüştür (Şekil 4.7). Ancak bu çalışmada, Putnis vd. (2007)’nin deneylerinde kullandığı NaCl yerine NaOH kullanılmıştır. NaOH ile oluşturulan deneysel kurgu, ortamın pH değerini yükselterek reaksiyon süresini hızlandırmaktadır. Bu nedenle kayacın içindeki lösit kristallerinin büyük bir kısmı 10 saatlik deney sonucunda analsime dönüştüğü gözlenmiştir.



Şekil 4.7. Zamana karşı analsim kristalizasyon (%) oranı. Rietvelt metoduyla, oluşan analsim miktarının veri noktalarının birleştirilmesiyle hesaplanan eğri değerleri için hata oranı %±2'dir (Putnis, 2007). Yıldız rumuzlu nokta bu çalışmada elde edilen 150°C ve 10 saat sürede ortalama %4,5 toplam reaksiyona giren ürünlerin gösterimidir.

Kayaç hamurundaki örnekleri üç boyutlu düşündüğümüzde, reaksiyon hızına ve ortamın Na^+ katyon konsantrasyonuna bağlı süreçte mineralin kayaç hamuruna tutunan kısmından itibaren iç tarafı lōsit olarak kalmış, dış çeper analsime dönüşmüş olması muhtemeldir (Şekil 4.8.). Toz örneklerde gerçekleştirilen reaksiyonlarda hem kristal kütlesi ve hacminin küçüklüğünden hem de kristali çevreleyen hamur malzemesi gibi bir koruyucu olmamasından ötürü dönüşüm süreci kısa zamanda tamamlanabilmektedir.



Şekil 4.8. Kayaç hamuru üzerinde analsime dönüşen lösit kristalinin üç boyutlu muhtemel görünümü.

4.2.3. Doğal Plajyoklas – Analsim Oluşum Deneyleri

Sodyumca zengin plajyoklaslardan itibaren analsim dönüşümünün mümkün olabileceği ve dönüşümde kristal çökeliminin gerçekleşip ilk nüvelenmenin başlayabilmesi için ortamın pH değeri sıcaklığı ve basıncı gibi koşulların belirleyici olduğu ortaya konulmuştur (Gasirowska ve Slaby, 2001). Bu çalışmaya göre plajyoklaslardan itibaren dönüşüm sonucu analsimler 2 kbar basınç ve 250 - 350 °C sıcaklık, pH değerinin 7,3 – 9,6 aralığında oluşmuştur.

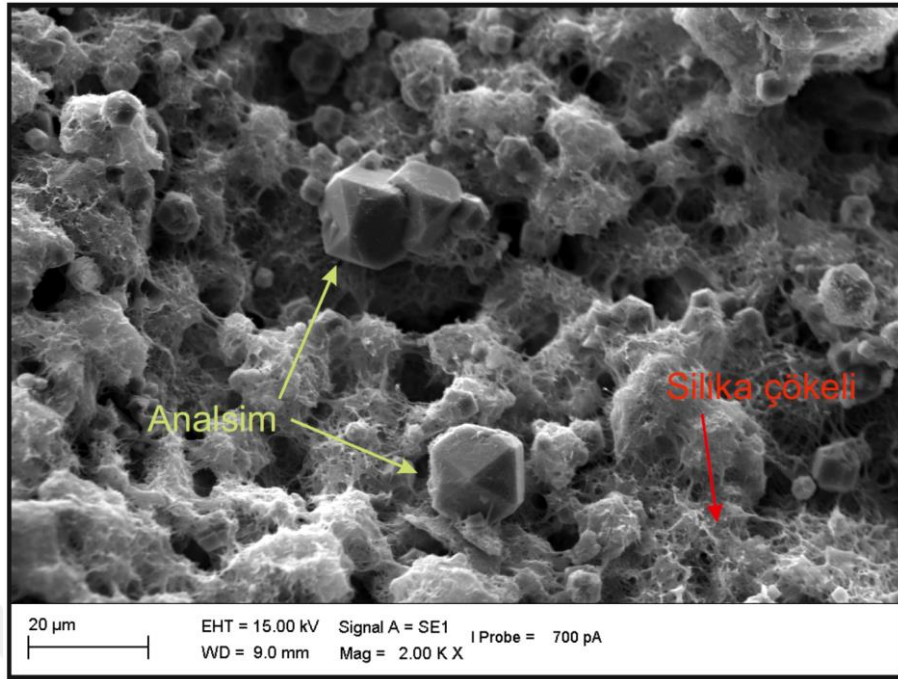
Plajyoklaslardan itibaren analsim kristallenme deneyleri laboratuvar ortamında asidik ve bazik şartlarda izole hidrotermal ortamlarda yapılmıştır. Bazik ortamdaki deneylerde 2 molar NaOH çözeltisi kullanılarak çözeltilerin pH değeri 12 – 14 olacak şekilde ayarlanmıştır. Bazik olarak kurgulanan deneysel ortamlardaki reaksiyon sonuçlarında bileşimsel olarak analsim gözlenmektedir. Bununla birlikte bir miktar kalsitin varlığı kayacın spilitleşmesine bağlı olarak plajyoklasların sodyum-kalsiyum süstitüsüyonu sürecinde bir miktar kalsik plajyoklasın kalsitleşmesi neticesinde oluşan kalsit olması muhtemeldir. Deneyin sonucunda, sodyumlu fazların görülmesi ve analsim kristallerinin SEM-EDS sonuçlarında tespit edilmesi, bazik ortamda plajyoklastan itibaren analsim

sentezini 4 bar civarı düşük basınç ve 150°C sıcaklıklarda süreye bağlı olarak mümkün kılmaktadır.

Mafik volkanitlerde bulunan plajyoklas minerallerinin Na^+ - Ca^{+2} süstitüsünu neticesinde metasomatik faaliyetle, kalsik plajyoklasların sodik plajyoklaslara dönüşümüyle oluşmuş spilitik kayaçlardan elde edilen plajyoklas kristallerinin bazik hidrotermal ortamda NaOH ile muamelesiyle, plajyoklaslardan itibaren analsim kristali sentezlenmiştir. Başlangıçta kullanılan ortalama 5-6 mm boyutlarındaki plajyoklas kristalleri XRD çözümlemelerinde bitovnit kristal yapısındadır (Şekil 3.27). Spilitleşmiş kayaçlardan bitovnit yapısındaki plajyoklas seçilmesi hem hidrotermal ortamda Ca^{+} - Na^{+} yer değıştirme reaksiyonunun başlangıcını kolaylaştıracığı hem de bu plajyoklasların alterasyona yatkın olmasından ötürü önemlidir. Nitekim çözeltide Na^{+} aktivitesi yüksek olacaktır. Gasirowska ve Slaby (2001)'nin yaptığı deneysel çalışmalara göre Na^{+} aktivitesi, plajyoklastan itibaren analsim nüvelenmesinde en önemli etkindir. Buradan hareketle bu çalışmada oluşturulan hiperbazik ortam plajyoklasın çözünmesinde, yüksek sodyum konsantrasyonu ise analsim nüvelenmesinde kolaylık sağlamaktadır (Şekil 4.9).

Plajyoklaslardan itibaren analsim dönüşümü yapan deneysel çalışmaların hemen hemen tamamı bu çalışma da dâhil olmak üzere bazik koşullarda başarılı olmuştur (Gasirowska ve Slaby, 2001; Putnis vd., 2007).

Asidik olarak kurgulanan deneysel ortamlarda, mevcut aletsel imkânlarla plajyoklastan itibaren herhangi bir kristal nüvelenmesi tespit edilememiştir. Çözünen plajyoklas kristalleri amorf silis olarak çökelmiştir.



Şekil 4.9. Hidrotermal ortamda NaOH çözeltisi ile muamele edilen plajyoklas kristalinden itibaren analsim ve silika çökeli oluşumu.

4.2.4. Düşük Sıcaklıklarda Analsim Sentezi

Hidrotermal kökenli analsimlerin düşük sıcaklık ve basınç koşullarında bazik çözeltilerden itibaren çökelmeye başladığı bilinmektedir (Tschernerich, 1992). Kayaçların kırık, çatlak ve boşluklarında ikincil süreçler neticesinde oluşmuş analsimlerin varlığı da söz konusudur. Bu tür hidrotermal analsimlerin oluşum koşulları lösitten itibaren potasyum – sodyum süstitüsüyonu neticesindeki dönüşümle oluşan analsimler ile benzerlik arzetmemektedir. Kökenleri farklı olan bu iki çeşit analsim kristallerinin morfolojik olarak farkı doğrudan hidrotermal çözeltiden itibaren oluşmuş kristallerin öz şekilli, süstitüsyon neticesinde oluşmuş kristallerin ise psödomorf olmasıdır.

Şekil 4.10.'da $\text{AlO}_{3/2}\text{-SiO}_2\text{-NaO}_{1/2}\text{-H}_2\text{O}$ sisteminde oluşabilecek fazların konumları kemografik gösterim olarak verilmiştir. Bu kemografik gösterimdeki bileşenlere göre teorik olarak 200°C'nin üzerine kadar hidrotermal ortamlarda analsim kristallenebilmektedir. Bu çalışmada; 100°C, 150°C, 175°C ve 200°C sıcaklıklarında ve 25°C için atmosferik koşullar ile 250 - 300°C'ler için hidrotermal magmatik evre için sıcaklık koşulları göz önünde bulundurularak analsim, kuvars, natrolit ve albit minerallerinin oluşum enerjileri hesaplanmıştır (Tablo 4.2.).

Analsim + Kuvars – Albit + H₂O reaksiyonu için gibbs free enerjisi aşağıdaki tabloda 25°C'den 300°C'ye kadar $\Delta G_{\min} = \Delta H_{\min} - T \times \Delta S_{\min}$ formülü ile hesaplanmıştır (Tablo 4.2.). Formülde ΔG Gibbs free enerjisi, ΔH entropi, ΔS ise entalpi değişim değerlerini göstermektedir.

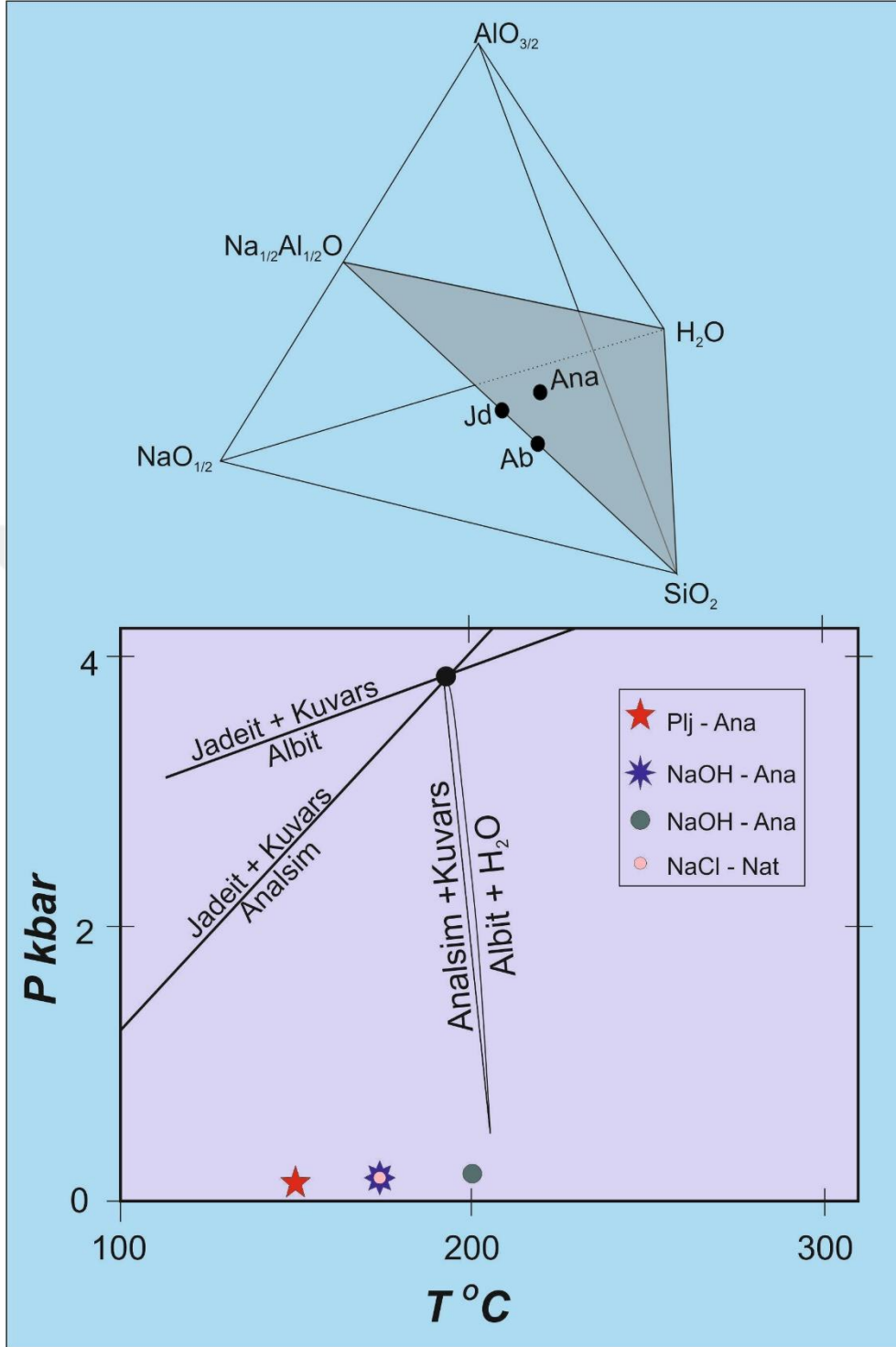
Kayaçların kırık, boşluk ve çatlaklarında hidrotermal çözeltilerden itibaren veya ikincil faaliyetler neticesinde analsim – natrolit parajenezi sıklıkla karşılaşılan birlikteliktir. Bu tür ortamlar göz önünde bulundurularak yapılan teorik deney hesaplamalarına göre analsim ve natrolitin atmosferik koşullar dâhil her sıcaklık ve basınçta oluşması mümkündür. Hal böyleyken doğal ortamlardaki mineral oluşumları için katyon konsantrasyonu ve zaman faktörü en önemli etkindir. Jeolojik zaman sürecinin uzunluğu ve denizel ortamın yüksek sodyum konsantrasyonu göz önünde bulundurulduğunda mineral dönüşüm ve/veya oluşum süreçleri kolaylıkla gerçekleşebilmektedir.

Tablo 4.2. 25 °C – 300 °C arası sıcaklıklarda gerçekleştirilen teorik deneylerde amorf silis, su, analsim ve natrolit için geçerli Gibbs free enerji (G), Entropi (H) ve Entalpi (S) değerleri (Robie ve Waldbaum, 1968).

	ΔH	ΔS	$\Delta G_{25^\circ C}$	$\Delta G_{100^\circ C}$	$\Delta G_{150^\circ C}$	$\Delta G_{200^\circ C}$	$\Delta G_{250^\circ C}$	$\Delta G_{300^\circ C}$
Albit	-937,1	50,2	-15904,2	-19669,2	-22179,2	-24689,2	-27199,2	-29709,2
SiO₂	-215,9	11,33	-3593,94	-4443,69	-5010,19	-5576,69	-6143,19	-6709,69
Analsim	-2970,2	171,71	-54165,5	-67043,8	-75629,3	-84214,8	-92800,3	-101386
Natrolit	-5718,6	363	-113947	-141172	-159322	-177472	-195622	-213772
H₂O	-68,32	16,71	-5050,41	-6303,66	-7139,16	-7974,66	-8810,16	-9645,66

Tablo 4.3. 25 °C – 300 °C arası sıcaklıklarda gerçekleştirilen teorik deneylerde analsim ve natrolit için hesaplanan joule cinsinden gibbs free enerji değerleri. Ana: Analsim, Nat: Natrolit, Ab: Albit.

Sıcaklık (°C)	25°C	100°C	150°C	200°C	250°C	300°C
Ana+SiO₂-Ab+H₂O	-36804,84	-45514,6	-51321,1	-57127,6	-62934,1	-68740,6
Nat+SiO₂-2XAna	-9209,92	-11528,2	-13073,7	-14619,2	-16164,7	-17710,2



Şekil 4.10. Analsim, jadeit, albit, kuvars ve H_2O 'ya ait sabit faz geçiş noktalarına ait sıcaklık ve basınç diagramı ile bu çalışmadaki bazı deneylere ait faz geçişleri (Liou, 1971, Spear, 1992).

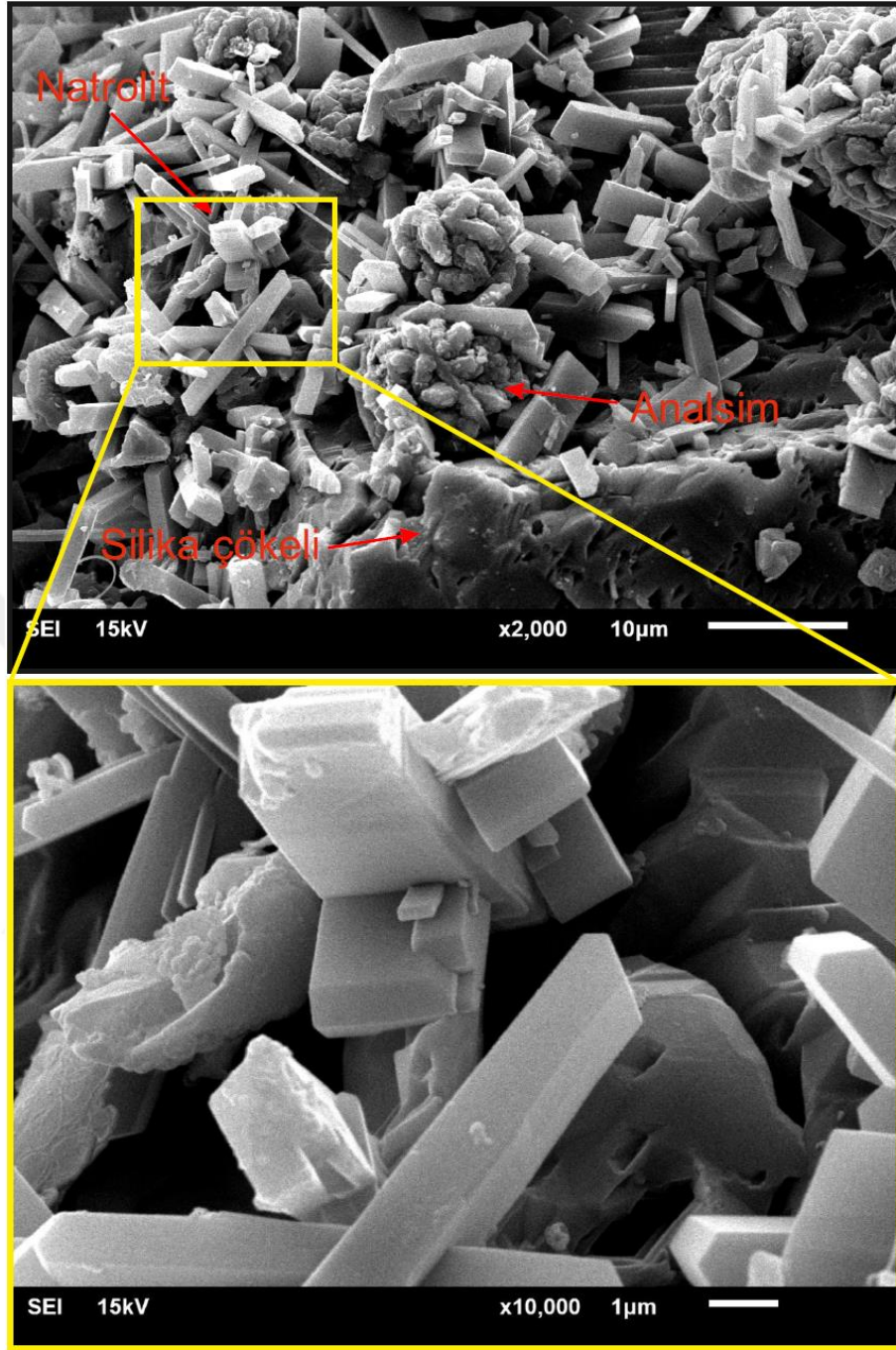
4.2.5. Asidik Hidrotermal Ortamda Analsim Sentezi

Zeolit mineralleri hemen her jeolojik ortamda kristallenebilmektedirler. Doğada sıkça rastlanılan analsim ve natrolit tür zeolit minerallerinin deneysel olarak oluşumu birçok araştırmacı tarafından çalışılmıştır (Kumar ve Chattopadhyaya, 2006; Mamedova, 2014; Li vd., 2017; Khalaque, 2020). Bazı araştırmacılar, natrolit kristallenmesi için oluşturdukları deneysel ortamları genellikle bazik şartlara uyarlamışlarsa da (Kumar ve Chattopadhyaya, 2006; Mamedova, 2014; Zhou vd., 2017) Palcic ve Valtchev (2020) gibi zeolit oluşum koşullarının asiditesini inceleyen araştırmacılar ile Khalaque vd. (2020) gibi hem asidik hem bazik koşullarda farklı tür çözücüler kullanılarak oluşum ortamlarını irdeleyen araştırmacılar da vardır. Khalaque vd. (2020)'ye göre tek başına su (H_2O) zeolit sentezi için yeterli çözelti ortamını oluşturmaktan uzaktır. Geneli itibarıyla solvotermal (ısı ile çözücü etkinliğinin artırılması) olarak adlandırılan deney ortamları içinde zeolit kristalizasyonu için doğal ortamı taklit edebilecek en uygun çözücü hidrotermal olarak adlandırılan ısı ile etkinliği artırılan su (H_2O)'dur. Ancak pH değeri nötr (7) olan su tek başına zeolit kristalizasyonu için yeterli etkinliği sağlayamamaktadır (Khalaque, 2020). NaOH gibi çözeltinin pOH^- değerini arttıran bileşikler, iyon taşınımını çözelti içerisinde kolaylaştırdıklarından dolayı, tohumlama olmadan kristal çökelişi için gerekli reaksiyonun başlamasında gerekli görülmektedir (Khalaque, 2020).

HCl ile oluşturulan asidik ortamda, analsim sentezi için yapılan deneysel çalışmalarda yalnızca analsim yapısını oluşturacak olan katyonlar için sodyum klorür ($NaCl$) ve alüminyum oksit (Al_2O_3) ilave edildiğinde ortalama 5 saat sürede, $175^\circ C$ sıcaklık ve 22 bar basınç altında yalnızca natrolit kristallenmiştir. Aynı deneyde Na^+ kaynağı olarak ($NaHCO_3$) sodyum bikarbonat kullanıldığında analsim ve natrolit birlikte oluşmuştur (Şekil 4.11). Her iki deneyin ürünlerinin farklılığının sebebi $NaCl$ ve $NaHCO_3$ çözeltileri için pH değerlerinin değişiminden ileri gelmektedir. % 99,9 saflıkta $NaCl$ tek başına H_2O çözeltisinde pH değeri her konsantrasyonda 7 iken, % 99,9 saflıkta $NaHCO_3$ için yalnızca % 1'lik H_2O çözeltisi $25^\circ C$ 'de 8,5 pH değerine ulaşabilmektedir. Mevcut deney ortamları için bu durumlar göz önünde bulundurulduğunda $NaCl$ ile hazırlanan deney ortamında HCl çözeltisi için hesaplanan teorik pH değeri 0,301'e kadar düşmektedir. $NaHCO_3$ ilave edilen çözeltide ise pH seviyesi 7'nin üzerinde kalmaktadır. Bu durumda pH seviyesinin analsim çökelişinde önemli bir faktör olduğu ortaya çıkmaktadır.

Doğal ortam düşünüldüğünde alkalen kayalardaki lösitten itibaren analsim dönüşümlerinde denizel ortamın (ortalama pH=8.1) bazik oluşu ve sınırsız Na⁺ konsantrasyonuna sahip olması ortamda yalnızca analsim kristallenmesine olanak sağlamaktadır. Yine alkalen kayaların kırık, çatlak ve boşluklarında analsim, natrolit birliktelikleri ise son evre magmatik koşulları karakterize etmektedir. Magmatik çözeltilerin asidik karakteri sadece natrolit kristallenmesine olanak sağlamaktadır. Ortamın denizel oluşu ve/veya atmosferik karbonatın yıkanarak magmatik hidrotermal sisteme dâhil edilmesi ile yükselen pH değeri sonucunda oluşan bazik ortam ile de analsim kristallenmesi olası görülmektedir.



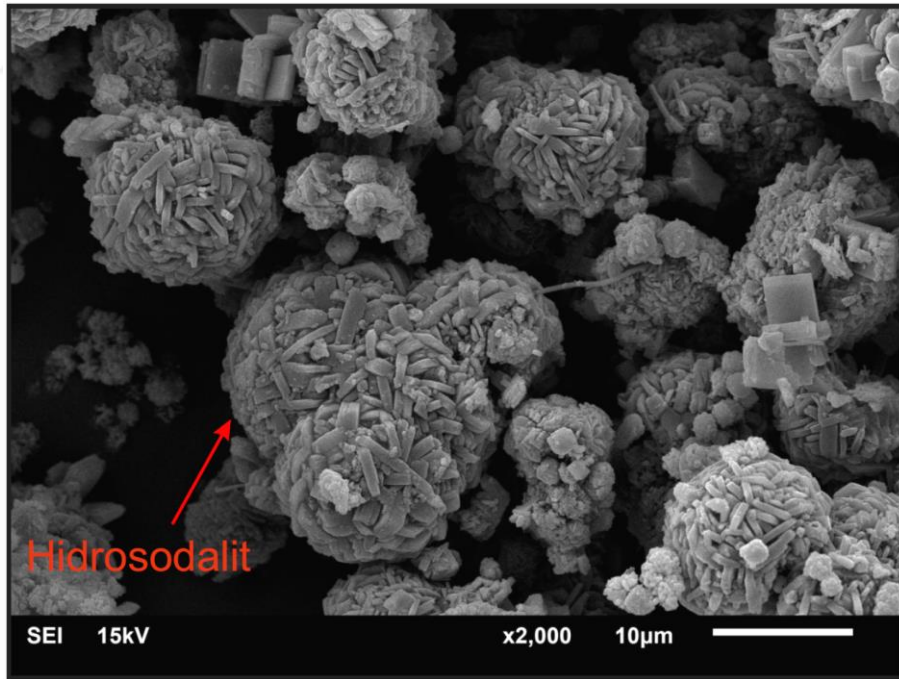


Şekil 4.11. Na^+ kaynağı olarak sodyum bikarbonat kullanılan HCl ile oluşturulmuş asidik ortamda oluşan artık amorf silikanın çökelişi, iğnemsî natrolit kristali ve sodalitten itibaren dönüşmüş analsim kristali.

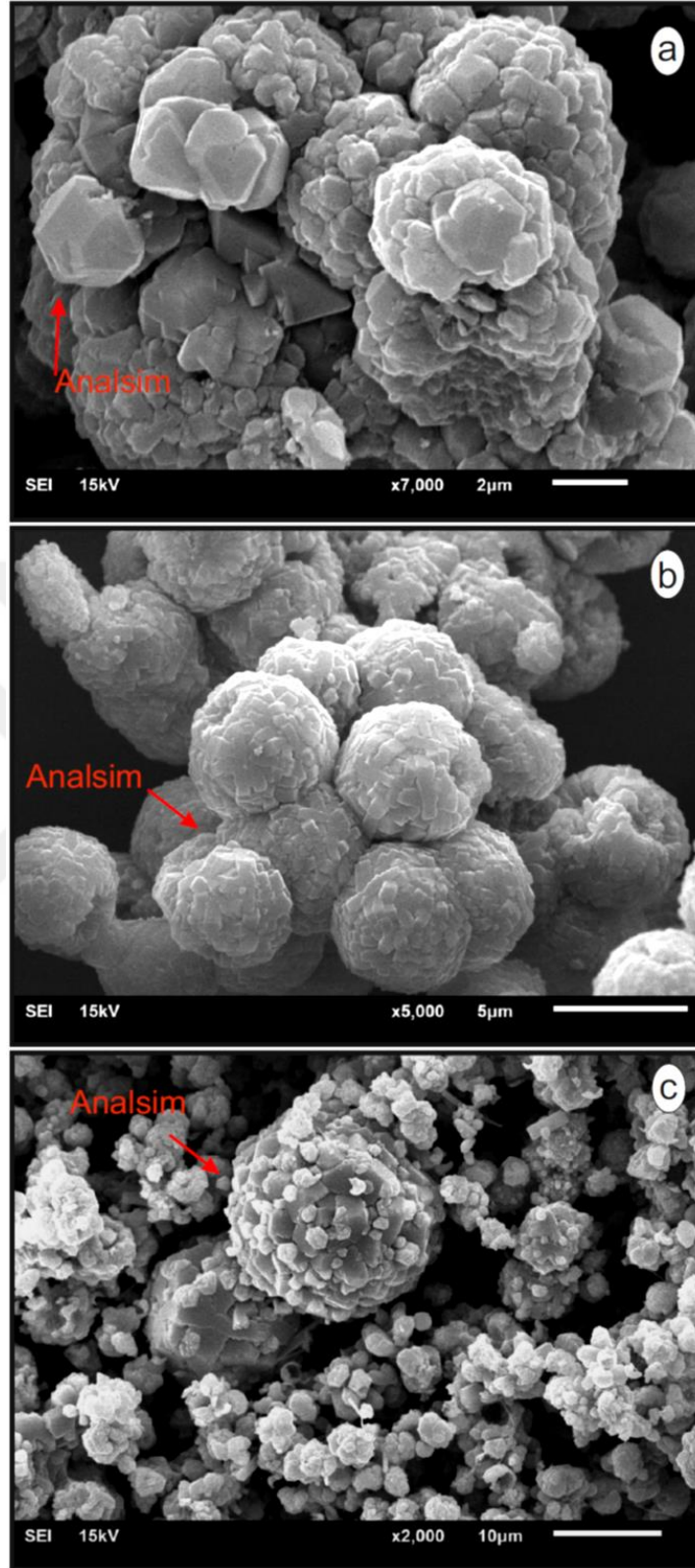
4.2.6. Bazik Hidrotermal Ortamda Analsim Sentezi

Zeolit kristalizasyon süreçleri üzerine çalışan araştırmacıların birçoğu, kristalizasyon deneylerini bazik ortamlarda gerçekleştirmişler (Li vd., 2017; Khalaque, 2020). Bunun sebebi, yüksek pH değeri ve yüksek sıcaklığın OH^- iyon aktivitesini arttırması ile Si-Al-O bağının daha kolay oluşturulup ilk kristal nüvelerinin hızlı biçimde oluşabilmesidir (Francisco ve Sato, 2013). Ayrıca düşük pH değerinde oluşan fazların çözünmeye karşı daha duraylı olması nedeniyle, öncü olarak oluşan amorf fazlar için dahi çökelme olması zor bir ihtimaldir. Dolayısıyla zeolit kristalizasyonu için yüksek pH değeri özellikle öncü fazlar için bir kontrol mekanizmasıdır (Francisco ve Sato, 2013).

Bu çalışmada bazik ortamda sentetik zeolit kristalizasyonu için yapılan deneylerde 2 molar NaOH çözeltisi kullanılmıştır. 2 molar NaOH için teorik pH değeri 11'dir. 5 saatte 150°C, 4,8 bar, 175 °C, 7 bar ve 200°C, 22 bar sıcaklık ve basınç değerleri için kristal sentezi gerçekleştirilmiştir. Deney sonuçlarında analsime eşlik eder şekilde hidrosodalit kristalleri de gözlemlenmiştir (Şekil 4.12).



Şekil 4.12. 150°C sıcaklıkta kristallenen hidrosodalit kristali. İç içe geçmiş plakaların oktaeder yapı oluşturmaya çalıştığı kristal formu.



Şekil 4.13. 200°C’de gelişimini tamamlamış analsim kristali (a), 175°C de oktaeder formunu nispeten tamamlamış analsim kristali (b) ile 150°C’de hidrosodalit nüveleri ile büyümeye devam eden analsim kristali (c).

Hidrosodalit kristalleri daha çok 150°C sıcaklıkta yoğun şekilde kristallenmektedir. Sıcaklık artışına bağlı olarak toplam çökeltideki payı azalmakta analsim miktarı ise artmaktadır. Deney ortamının hacmi, pH değeri ve sodyum konsantrasyonu sabittir. Dolayısıyla sıcaklık artışına bağlı olarak basıncın artması, 200°C'ye kadar olan ve alterasyon süreçlerini temsil edebilecek nitelikteki düşük sıcaklıklarda analsim kristalizasyonu için basıncın etkisinin belirleyici bir faktör olduğuna işaret etmektedir. Hidrosodalitten itibaren analsim fazına geçişin önemli kriteri basınç artışıdır. Bu durumu, basınç artışıyla birlikte hidrosodalit olarak nüvelenmiş kristaller analsime dönüşmüştür şeklinde yorumlamak mümkündür (Şekil 4.13).

Analsim kristallerinin yerine hidrosodalit gelişimi sürecini etkileyen faktörler tek başına sıcaklık artışı değildir. Sathupunya vd. (2002) tarafından yapılan deneysel çalışmalarda sodyum (Na^+) konsantrasyonu ve sürenin de sodalit oluşumu üzerinde etkin olduğu görülmektedir. Nitekim, bu durumda sıcaklığın reaksiyonu hızlandırıcı bir etki gösterdiği söylenebilir.

4.2.7. Lössit Kristalizasyon Deneyleri

Doğada potasyumca zengin alkali volkanik kayalar içerisinde hidrotermal çözeltilerden itibaren ikincil lössitlerin oluşumuna dair veri bulunmamaktadır. Ancak düşük sıcaklıklarda yapılan deneylerde bazik koşullarda düşük sıcaklık lössitleri kristallendirilmiştir (Kohoutkova vd., 2008; Rios vd., 2009; Francisco ve Sato, 2013). Yapılan deneyler bu ekstrem koşulları simüle etmek için K^+ kaynağı olarak kullanılan KOH çözeltisinin teorik pH değeri 2 molar için yaklaşık 13.5 olacak şekilde tasarlanmıştır.

Geneli itibarıyla zeolitik yapıya benzer tektosilikat oluşumları için, süstitüsyon kapasitesi ve çözünme hızı alkali katyon içeriğinin yanı sıra alüminyum içeriğinin artmasıyla birlikte artar (Tschernich, 1992). Bu yapılar düşük pH değerlerinde (≤ 7) hidrolize olabilmektedirler. Bu nedenle sodyum (Na^+), tetrahedronların oluşturduğu yapının arasındaki boşluklardan ayrılarak kristal yapısının bozunumuna sebep olmaktadır. Dolayısıyla zeolitik yapıların ideal kristalizasyon koşulları için deneysel veriler pH değerini ortalama 10 olarak göstermektedir (Khalaque, 2020). Bu sebepten ötürü laboratuvar şartlarında asidik ortamda teorik olarak, zeolitler ile benzer yapısal koşullara sahip lössit minerallerinin sentezi yapılamamaktadır.

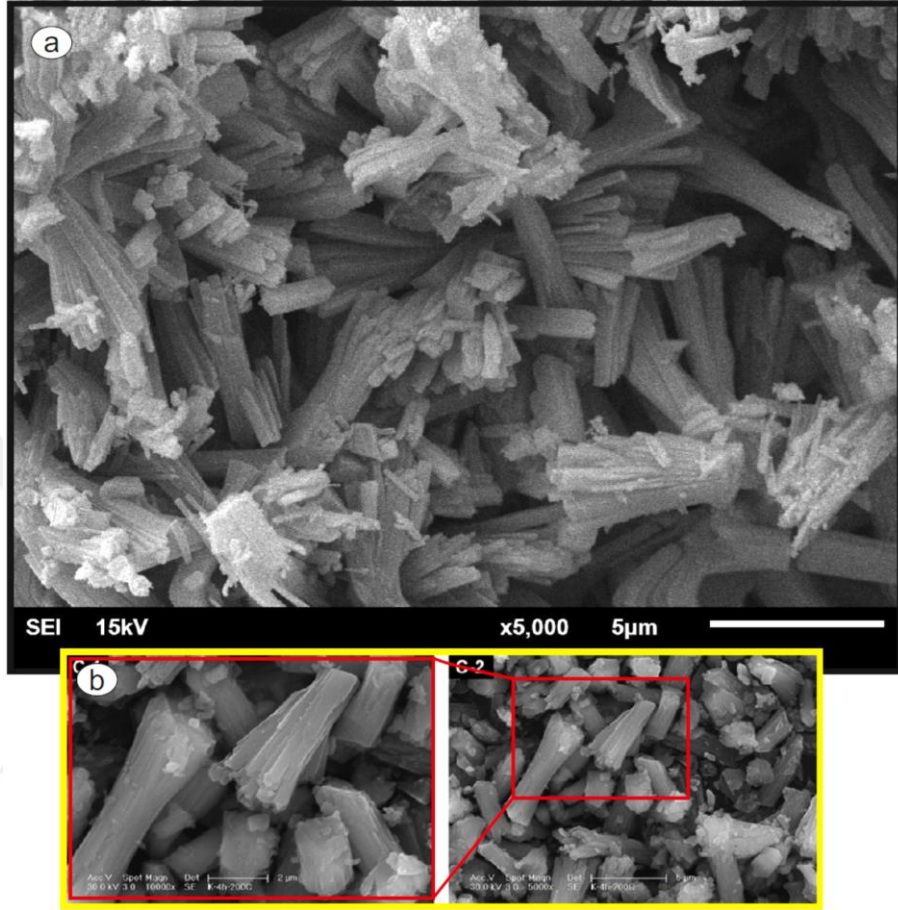
Daha önceki araştırmacıların belirttiği gibi hidroksil (OH^-) iyon konsantrasyonunun dolayısıyla pH değerinin yüksek olması, öncü kristal çökelişini kolaylaştırmaktadır yani bazik ortamda lösit kristalizasyonu kolaylıkla gerçekleşmektedir (Rios vd., 2009; Francisco ve Sato, 2013). Lössit kristalizasyonu için deney modellemeleri, bu mineralin magmada yüksek sıcaklık koşullarında oluşumu sebebiyle bilinen zeolit kristalizasyonu süreçlerinden farklılık arz etmektedir. Bu sebepten ötürü farklı araştırmacılar tarafından, endüstriyel alanda kullanımı olabilen bu mineralin ideal kristalografisini oluşturabilmek için 1000°C 'yi aşan çok yüksek sıcaklıklarda kristalizasyon deneyleri gerçekleştirilmiştir (Novotna, vd., 2004; Novembre vd., 2019).

Bu çalışmada teflon krözeler ile oluşturulan izole hidrotermal ortamda kontrol edilemeyen basınç faktörü nedeniyle bu kadar yüksek sıcaklık şartları oluşmadığından ötürü lösit oluşturmak için tasarlanan deneyler alterasyon koşullarını simüle eden analsim deneyleri ile benzerdir. 150°C ve 175°C sıcaklıklarda tekrarlanan deneylerden yalnızca 175°C 'de lösit kristalizasyonu gözlemlenmiştir (Şekil 4.15). X ışınları difraksiyon incelemeleri neticesinde hesaplanan birim hücre parametrelerine göre deneylerde oluşturulan lösitler tetragonal sistemde ($a=13.05 \text{ \AA}$, $c=13.73 \text{ \AA}$) kristallenmiştir. Bazı araştırmacıların deneylerinde elde edilen lösitler için birim hücre parametreleri ile karşılaştırıldığında; Mazzi vd., (1976) için $a=13,09 \text{ \AA}$, $b=13,75 \text{ \AA}$, Dove vd., (1993) için $a=12,98 \text{ \AA}$, $b=13,8 \text{ \AA}$, Palmer vd., (1997) için $a=13,29 \text{ \AA}$, $b=13,74 \text{ \AA}$ ile benzerlik göstermektedir. Wyart (1940)'ye göre 625°C altında kristallenen lösitlerin ideal kübik şeklinin dışında tetragonal oluşu düşük sıcaklık şartları ile ilişkilendirilmektedir.

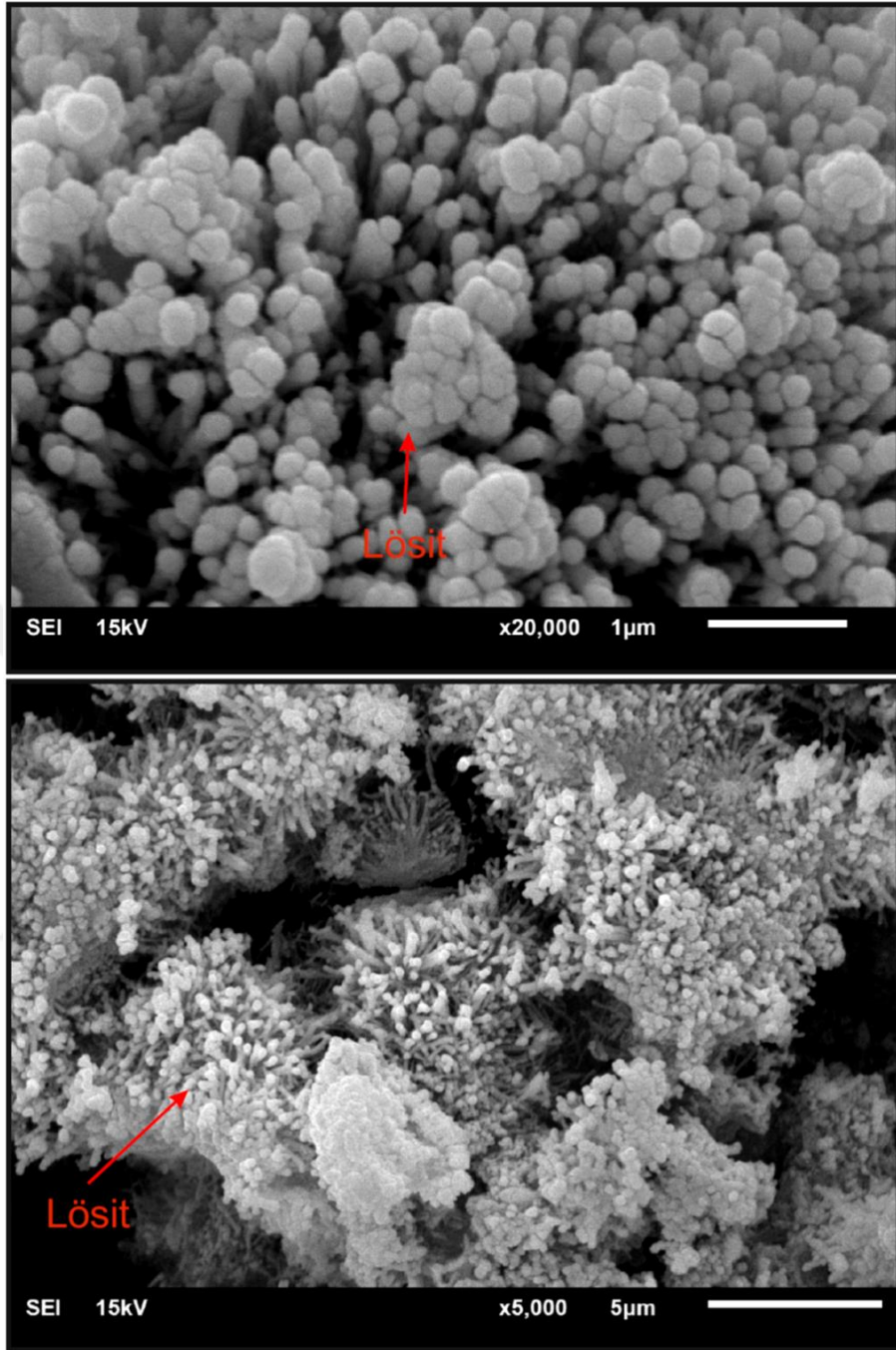
Sentetik lösit minerali oluşturabilmek, K^+ , SiO_2 , Al_2O_3 bileşikleriyle gerçekleştirilen kristalizasyonun düşük sıcaklık ve basınçta oluşturulan kristalinin yine düşük sıcaklık ve basınçta kolaylıkla Na^+ difüzyonuna uğrayabileceği teorisi sebebiyle gerçekleştirilmiştir. K'ca zengin alkali sistemlerde hidrotermal çözeltiler lösit oluşturabilme kabiliyetindedir.

Kohoutkova vd. (2008) hidrotermal ortamda lösit sentezlemek için yaptığı deneyleri 100°C , 150°C ve 200°C olarak üç sıcaklık aralığında kurgulamıştır. Bu üç sıcaklık değerinde 150°C için 8 saatte ve 200°C için 3 saatte lösit kristalizasyonunun gerçekleşebildiğini gözlemlemiştir. Sıcaklık artışına bağlı olarak zaman faktörünü sabit tuttuğu deneylerde XRD verileri 150°C altı sıcaklık için amorf bileşime işaret etmektedir. Araştırmacı sentezlediği lösit türlerinin 4 saat süreyle 1000°C 'ye kadar olan DTA-TG analizlerini irdeleyerek 150°C sıcaklıkta sentezlediği lösit kristalinin XRD verisi sonucunda duraylı kalabildiğini belirlemiştir (Şekil 4.14b). Sentezlenen kristaller Kohoutkova vd.'nin (2008) laboratuvar

ortamında elde ettiği tetragonal lösit kristalleri ile morfolojik olarak benzerlik göstermektedir.



Şekil 4.14. Sentetik lösit üretiminde oluşan öncül kristaller. a: bu çalışmada sentezlenen kristaller, b: Kohoutkova vd., 2008 tarafından sentezlenen tetragonal öncül lösit kristalleri.



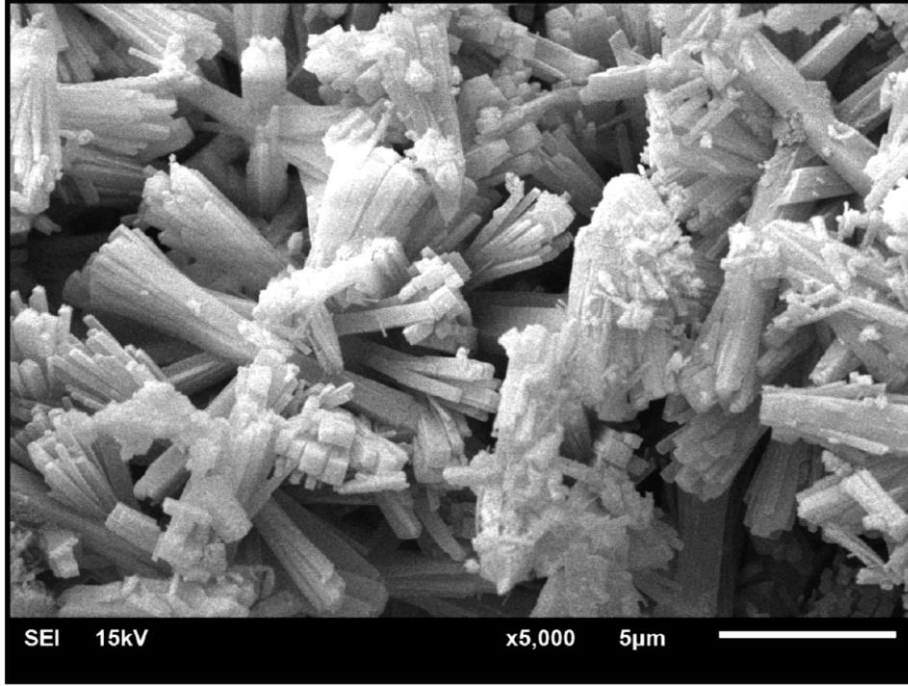
Şekil 4.15. 5 saatte 175 °C ve 22 bar basınç altında nüvelenmiş öncül lösit kristalleri.

4.2.8. Sentetik Lösit – Analsim Dönüşümü Deneyleri

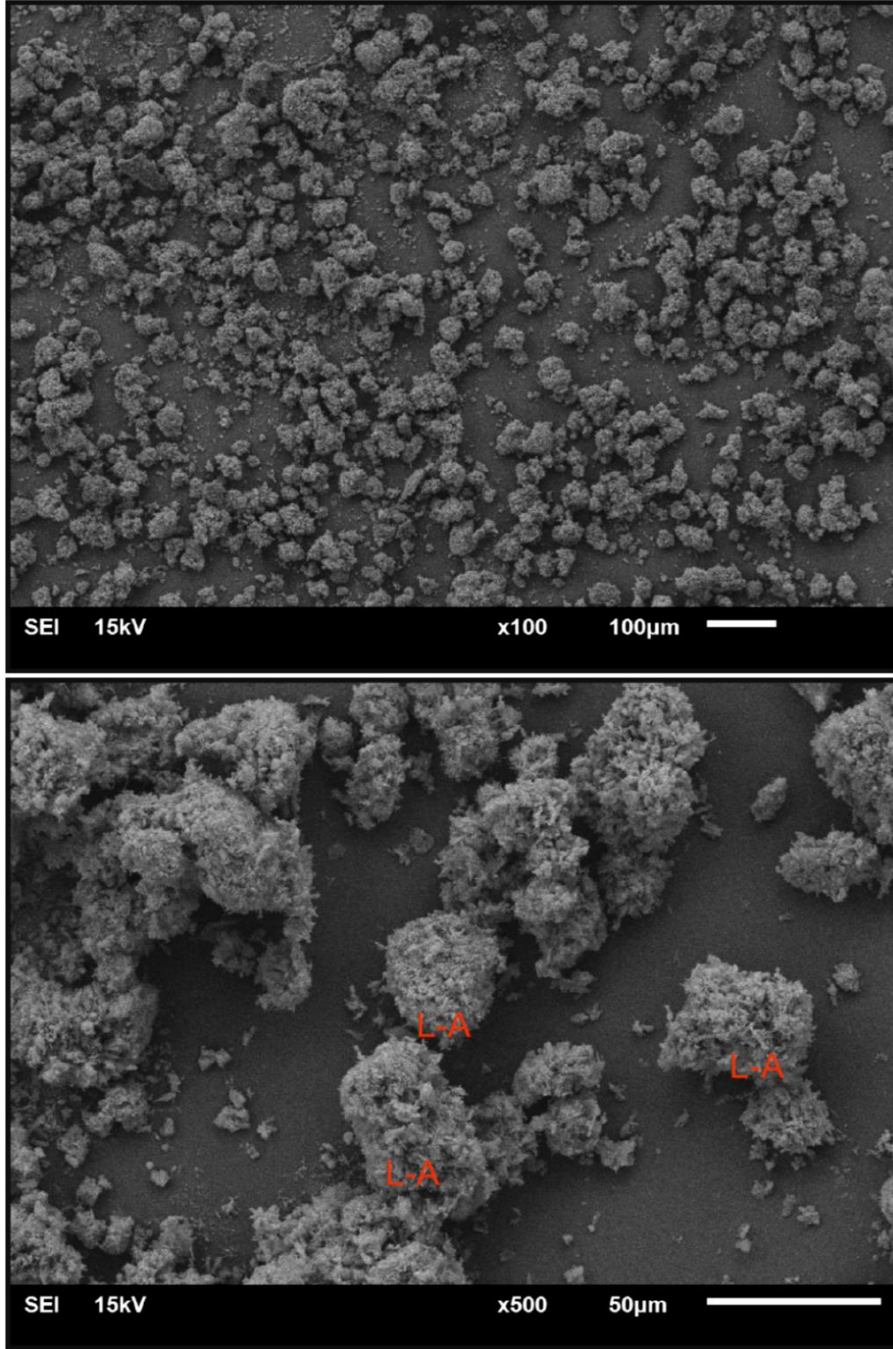
Potasyumca zengin alkali magmaların hidrotermal çözeltilerden itibaren ikincil lösit oluşma potansiyeli olmasına rağmen doğada ikincil lösit görülememektedir. Bunun sebebi özellikle düşük sıcaklıklarda oluşan lösit kristalinin çok kısa sürede analsime dönüşmesidir. Nitekim; laboratuvar şartları için tasarlanan Lösit + NaOH – Analsim + KOH teorik reaksiyonuna göre $\Delta G_{\min} = \Delta H_{\min} - T \times \Delta S_{\min}$ formülü ile hesaplanan 25°C için gibbs free enerjisi $\Delta G_{25^\circ\text{C}} = -674447$ kJ/mol'dür. Bu değere göre Lösit + NaOH – Analsim + KOH teorik reaksiyonu atmosferik koşullarda dahi kolaylıkla ve hızlıca gerçekleşebilmektedir.

Sentetik lösitten analsim oluşturmak için tasarlanan deneyde, KOH kullanılarak oluşturulan bazik ortamda sentezlenen lösit minerallerinin NaOH kullanılarak oluşturulan bazik ortamda difüzyon etkisiyle $\text{K}^+ - \text{Na}^+$ süstitüsyonu amaçlanmıştır. 150°C, 7 bar basınç altında oluşturulan hidrotermal ortam için hazırlanan 2 molar derişimdeki NaOH çözeltisi için teorik pH değeri 11'dir. SEM-EDS verisinde belirlenen sodyum miktarı 10 saatlik sürede dönüşümün tamamlanmadığını göstermektedir.

Çökelen malzemenin bazı bölgelerinde kalıntı lösit için öncül kristal oluşumları görülmüştür (Şekil 4.16). Öz şekilli olan öncül lösit-analsim dönüşümlerinin ideal tetragonal formda olduğu görülmektedir. Ancak geneli itibarıyla yarı öz şekilli taneler hâlinde lösit kristalleri analsime dönüşmeye başlamıştır (Şekil 4.17).



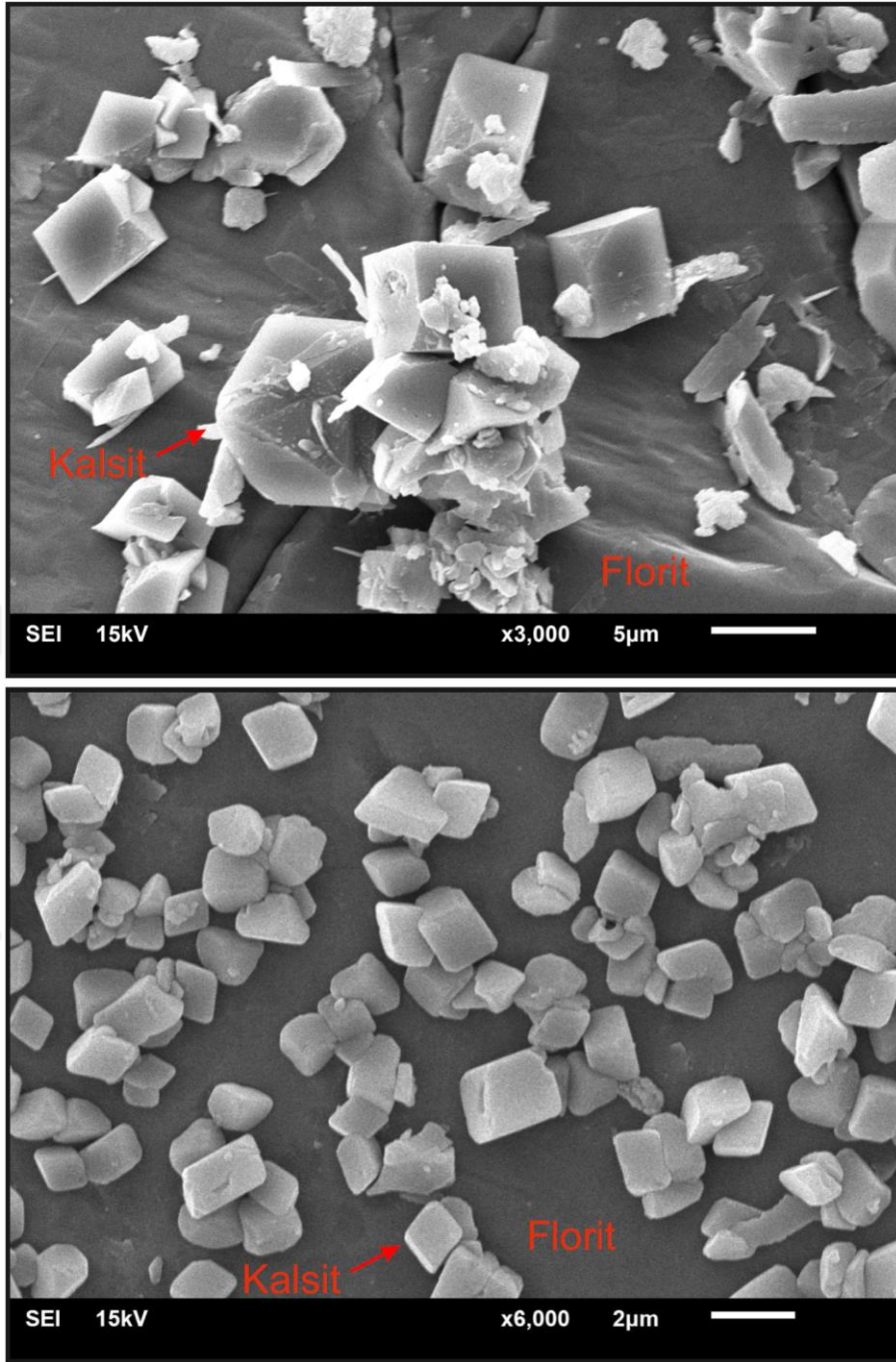
Şekil 4.16. Sentetik lösit-analsim dönüşüm ürünlerinin tetragonal öncül kristal oluşumları.



Şekil 4.17. KOH ile oluşturulan bazik ortamda sentezlenen lösit kristallerinin 150°C’de 10 saatte 7 bar basınç altında analsime dönüşümleri (L-A: lösit – analsim).

4.2.9. Kalsit Kristalizasyon Deneyi

Bu çalışmada doğal malzeme kullanılarak yapılan analsim kristalizasyon deneylerinde analsimlerin yanı sıra karbonat mineralizasyonuna da rastlanılmıştır. Düşük sıcaklıklarda gerçekleşen hidrotermal süreçlerde analsime ve birlikte olduğu zeolitlere eşlik eden en yaygın mineral kalsitlerdir. Bu çalışmada, gerek arazi gözlemlerinde gerek petrografik incelemelerde gerekse de SEM-EDS, XRD gibi aletsel yöntemler ile hem hidrotermal olarak oluşan doğal analsimlerin beraberinde hem de lösitten itibaren dönüşen doğal analsimlerle birlikte sıkça gözlemlenmiştir. Bu sebep ile kalsit kristalizasyonunun bir Ca^+ kaynağı bileşik kullanılarak alterasyon koşullarının analogu olarak, analsim oluşum koşullarındaki deney şartları ile kristalizasyon süreci modellenmiştir. NaHCO_3 ile oluşturulan yaklaşık 150 °C ve teorik olarak yaklaşık 9 pH değerine sahip çözelti için Ca^+ kaynağı olarak saf florit kristalleri kullanılmıştır. 5 saat sonunda floritlerin üzerinde öz şekilli kalsit kristal gelişmiştir (Şekil 4.18). Bu deney sonucunda kalsit kristalizasyonu gerçekleştiğinden, magmatizmanın son evresine bağlı hidrotermal uçucu olarak karbonat kristalizasyonuna katılan karbondioksit ile alterasyon sürecinde arazi suları ile yıkanıp gelen karbonik asit kaynaklı karbonat oluşumları için zeolitizasyon ile eş zamanlı çökelim şartlarını karşılamaktadır.



Şekil 4.18. 150°C’de 5 saatte ortalama 7 bar basınç altında oluşturulan florit üzerinde büyütülmüş rombusal kristal formu belirgin sentetik kalsit kristalleri

4.3. L s t Analsim D n    m n n Karakterizasyonu

Hidrotermal ortamlarda uygun sıcaklık, basınca ve katyon konsantrasyonu şartlarında analsim oluşumu olağan olarak gözlenir. Magmatik kayalar içerisindeki analsim oluşumu için esas sorun teşkil eden süreç analsimin kaynağıdır. Nitekim araştırmacılar tarafından sıklıkla çalışılan analsim oluşum süreci l s t d n    m nden itibaren kristalizasyondur.

Bazı araştırmacılar tarafından bu sürecin tanımlaması bazı morfolojik emareler ile  oneriliyor olsa da (Putnis vd., 1994, 2008) kayacın maruz kaldığı fiziko-kimyasal süreçler yeni oluşan minerali de etkileyebileceğinden, morfolojik tespitler her zaman d n    m sürecini işaret edecek güvenilir deliller sunmamaktadır.

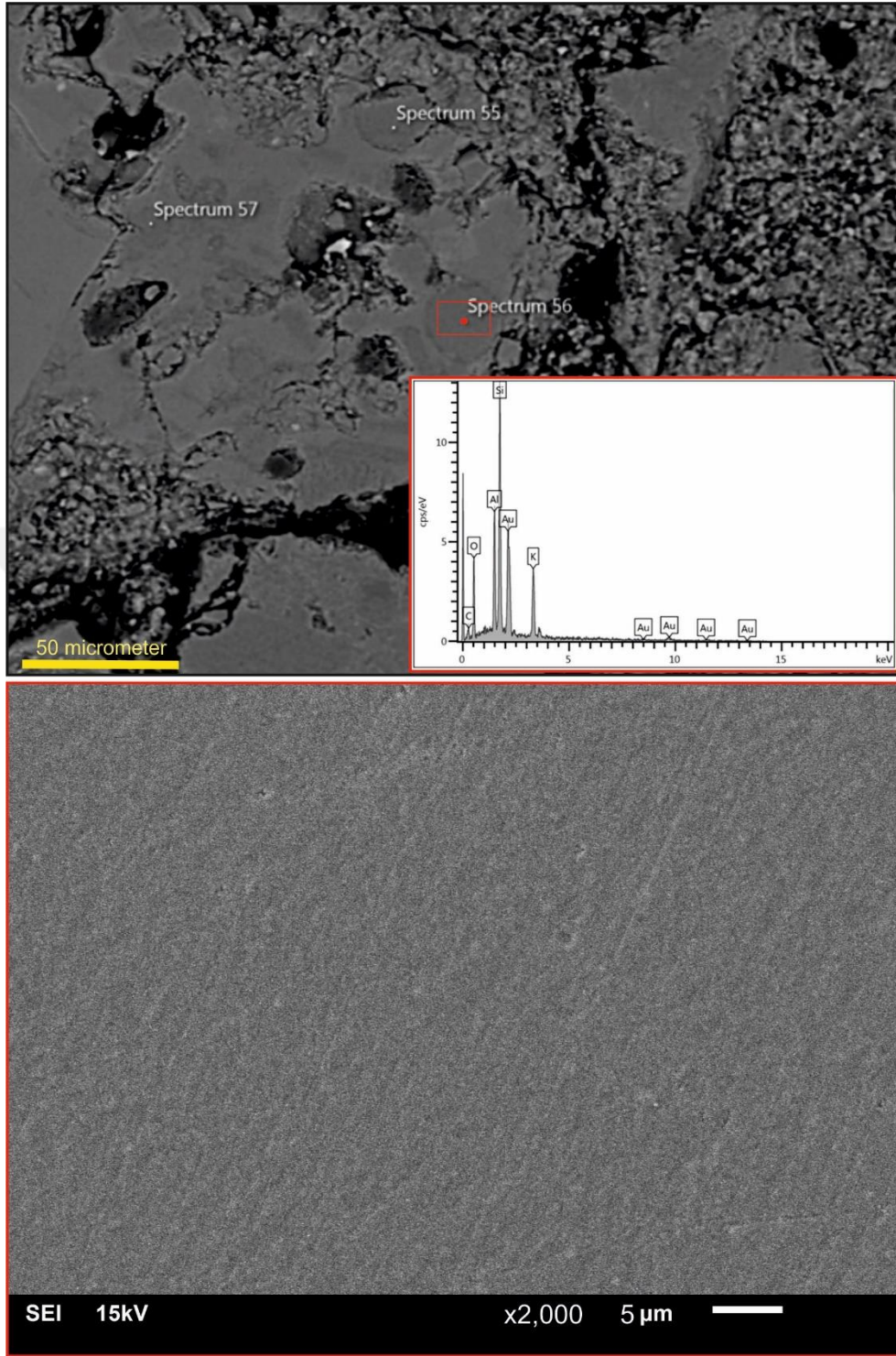
Putnis (1994) X tipi olarak adlandırdığı l s t d n    m ürünü olan analsimin uygun sıcaklık şartlarında $L s t + Na^+ + H_2O = analsim + K^+$ formülasyonu şeklinde $Na^+ - K^+$ iyon takası yöntemi ile oluştuğunu belirtmektedir. Ayrıca analsim yapısına katılan H_2O molekülleri, Na^+ katyon hacminin küçük olu undan   t r  evvelce l s t yapısında K^+ katyonunun işgal ettiğı yapısal kanallarda konumlanır. Gupta ve Feyfe (1975) bu d n    m sürecini sonlandıran bu reaksiyonun volkanik kayacın soğuması evresinde 150 C sıcaklık civarında gerçekleştiğini belirtmiştir. Palmer vd. (1989) yaptığı çalışmada tetragonal l s t kristalinin a eksen uzunluğunda oda sıcaklığı ile 400 C aralığında belirgin bir farklılaşma olduğunu ortaya koymuştur. Bu durum yüksek sıcaklıklarda hidrotermal ortamda katyon değı im hızını arttıracacağı gibi buna paralel d n    m sürecini de arttıracaktır. Bununla birlikte yeni oluşan mineral bu hacimsel artıştan etkilenecek kafes yapısındaki kanallara Na^+ ve H_2O girişiyle yaklaşık % 10'luk bir genişleme gösterecektir.

Bu çalışmada, yüzeyi d zle tirilmi  ve kısmen parlatılmış tefritik kayacın içerisindeki doğıal l s t kristallerinin SEM-EDS görüntülerinde ( ekil 4.19) düzgün ve boşluksuz bir yüzey görünümü elde edilmiştir. L s t kristalinin oluşumu esnasında herhangi bir duraksama ya da engele maruz kalmadan ideal kristalografik yapısında geli tiğı görülmektedir. Ayrıca kayacın genelinde yapılan incelemelerde herhangi bir kırık, boşluk ve çatlak içerisinde analsim emaresine rastlanılmamıştır.

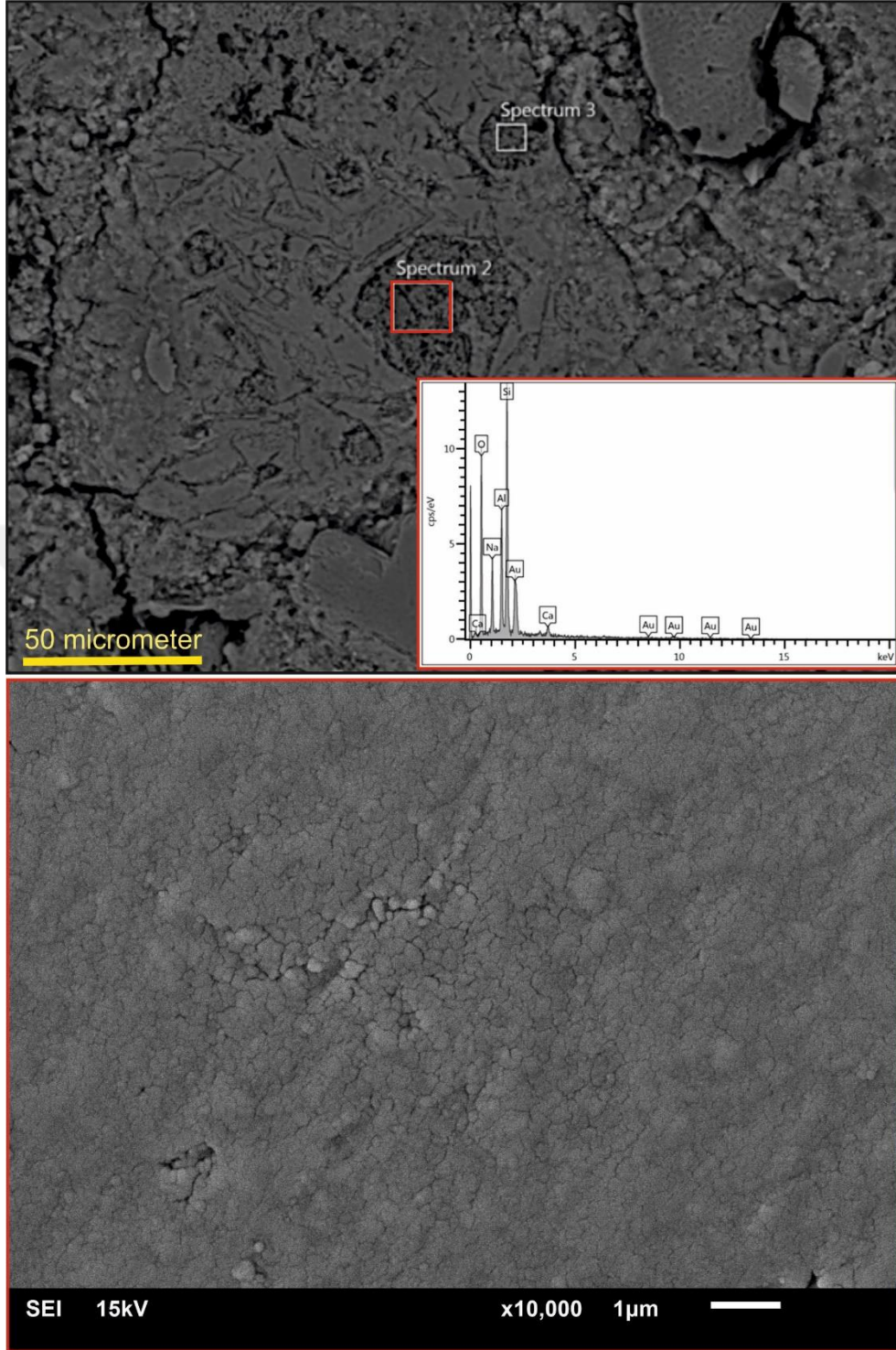
Kayacın içerisindeki doğıal l s t kristalleri NaOH   zeltisi ile oluşturulan teorik pH değıeri 11 olan hidrotermal ortama bırakılmıştır. Bu   zelti analsim oluşturabilecek uygun katyon konsantrasyonu ve çeşitliliğine sahip değıildir. Ancak, 10 saatlik deney sonucunda daha önce yüksek potasyum değıeri neticesinde l s t olarak tespit edilen kayacın içerisindeki

mineral alanlarında analsim kristalizasyonu gözlemlenmiştir (Şekil 4.20). Kayacın evvelce lösit yerleşik olan hazneleri haricinde başka herhangi bir kırık, çatlak ve boşluğunda analsim görülmemektedir. Bu delile dayanarak doğal lösit kristali içeren kayaçların, yeterli sodyum konsantrasyonuna sahip yeterli hidrotermal katyon taşınımı yeteneğindeki ortamlarda difüzyon yoluyla K^+ - Na^+ takasının gerçekleştiği söylenebilir (Şekil 4.22). Nitekim, eğer lösit kristalleri çözünmüş olsaydı, kayacın farklı alanlarında da analsim kristalizasyonuna rastlamak olası idi.

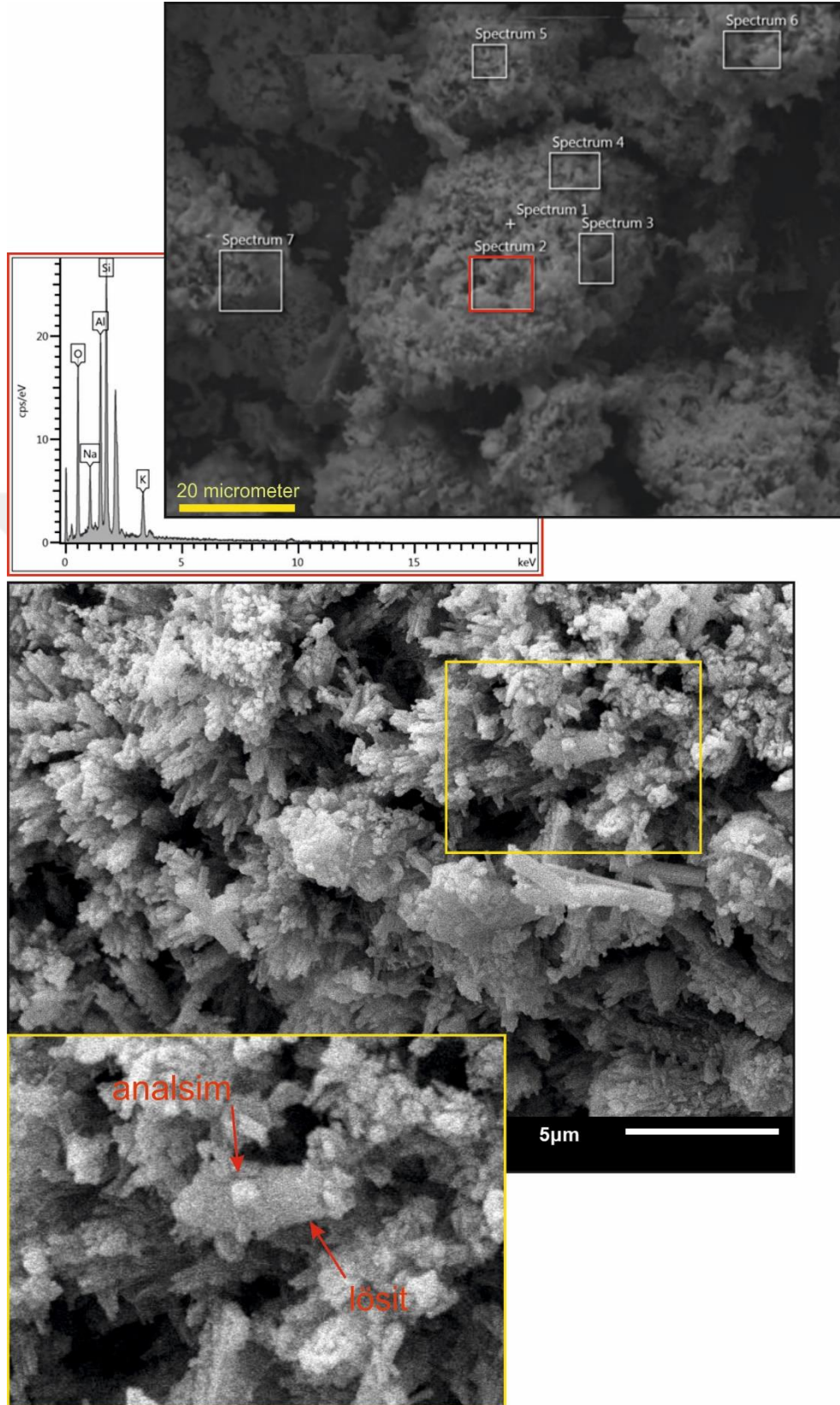
KOH'dan itibaren sentetik olarak üretilen lösit kristalleri, teorik pH değeri 11 olan bazik hidrotermal ortamda analsime dönüştürülmüştür (Şekil 4.21). SEM-EDS incelemelerinde lösit kristallerinin düşük sıcaklıkta oluşmuş tetragonal formları korunurken bu yapıların üzerinde analsim nüvelenmeleri görülmektedir. Analsim kristalizasyonu sürecinde lösit kristalinin de kısmen morfolojik olarak duraylı kalabilmesi, deney sonucunda dönüşüm sürecinin difüzyon yolu ile gerçekleştiğine işaret etmektedir. İncelenen numunenin herhangi bir yerinde amorf ya da silika çökeli şeklinde kristalografik yapı göstermeyen oluşuklara rastlanılmamıştır.



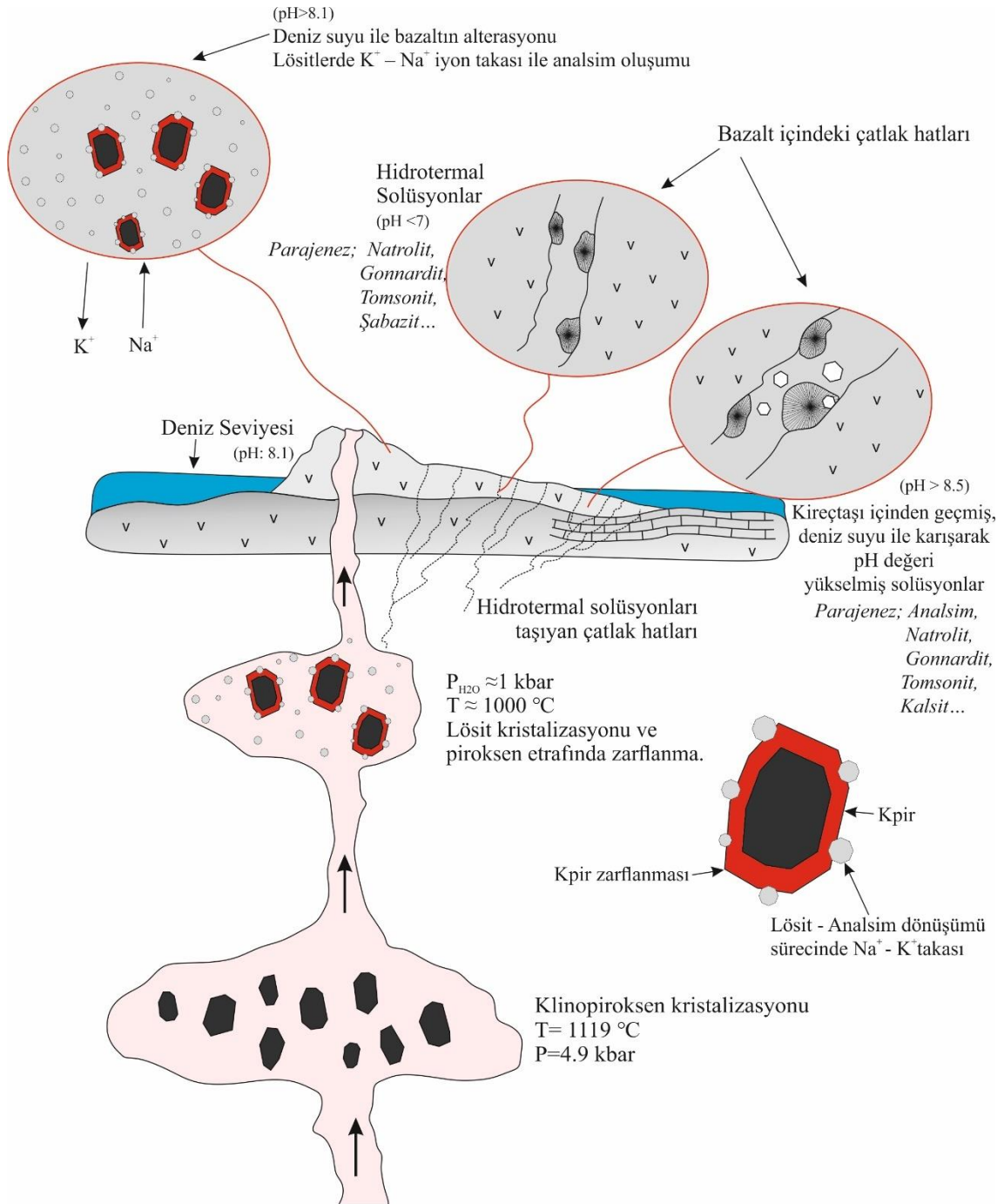
Şekil 4.19. Doğal lösit kristallerine ait yüzey görünümü.



Şekil 4.20. Teorik pH değeri 11 olan NaOH ile oluşturulan hidrotermal ortamda lösitten itibaren anlsime dönüşüm.



Şekil 4.21. Tetragonal sistemde kristallenen sentetik lüsit kristallerinin üzerinde gelişmiş analsim nüveleri.



Şekil 4.22. Lösitten itibaren dönüşüm sürecinde ve hidrotermal süreçte oluşan analsim kristallerinin oluşum modeli.

5. SONUÇLAR

1) Geç Kretase yaşlı Bayburt Everekhanları yöresinde cm ölçeğinde, Eosen (?) - Miyosen yaşlı Trabzon yöresinde ise 500 mikrometre boyutlarına varan analsim kristalleri bulunur. Bayburt Everekhanları yöresinden derlenen kayaçlardaki analsimler hamur malzemesi aşırı altere olduğu için kolaylıkla kayaçtan ayrışabilmektedir ancak Trabzon bölgesinden derlenen kayaç örneklerinin nispeten daha taze olması sebebiyle analsim kristalleri kayaçtan nispeten daha zor ayrılmaktadır. Her iki bölgenin kayaçlarındaki analsim kristallerinin tipik trapezohedron morfolojileri belirgindir fakat Bayburt Everekhanları örnekleri, evvelce maruz kaldığı atmosferik şartlar ve alterasyon etkisi ile morfolojik olarak daha biçimsizdir.

2) 1 atm, $P_{H_2O}=1$ kbar ve $P_{H_2O}=5$ kbar basınç şartları için oluşturulan $NaAlSiO_4 - KAlSiO_4 - SiO_2$ diagramlarının önerdiği kimyasal denge şartları içerisinde, çalışma alanlarındaki kayaçlarda lösit kristallenmektedir. Oluşturulan bu teorik diagramlardaki konumlarına göre çalışılan kayaçlardaki lösit kristalizasyonunun oluşum basınç ve sıcaklık koşullarının kabaca 1 kbar altında ve 1000°C civarında olduğu öngörülmektedir.

$SiO_2 - NaAlSiO_4 - KAlSiO_4$ için hazırlanan 1 atm, $P_{H_2O}=1$ kbar ve $P_{H_2O}=5$ kbar faz diagramları karşılaştırıldığında, çalışılan kayaçlardaki lösit kristalizasyonu için en uygun koşullar $P_{H_2O}=1$ kbar için oluşturulan diagramda görülmektedir. Bu diagramda örnekler 780°C – 1250°C sıcaklık konturları aralığında konumlanmıştır. En tutarlı sıcaklık ve basınç aralığının bu diagrama ait olduğu görülmekle birlikte bu sonucu destekleyen bir başka veri de aynı kayaçlar içerisindeki klinopiroksen mineralleri için hesaplanan jeotermobarometre değerlerinin, lösit kristalizasyonunun bu diagramın işaret ettiği aralıklarda gerçekleşebileceğidir. Buradan hareketle; çalışılan kayaçlardaki lösit kristalleri $P_{H_2O}=1$ kbar altı basınç, 780°C – 1250°C sıcaklık aralığında oluşmuş olduğu teorik olarak tahmin edilmiştir. Ancak çalışılan kayaçlar içerisinde lösit kristallerine rastlanılmamaktadır. Bu kristaller analsime dönüşmüştür.

3) Birincil analsim kristalleri Na^+ 'ca zengin magmalardan itibaren çok özel koşullarda kristallenebilmektedir (Schair, 1957; Morse, 1969; Henderson, 1984). Deneysel çalışmalar birincil analsimlerin ancak $P_{H_2O}=5$ kbar'dan daha yüksek basınç altında 635°C'de oluşabileceğini deneysel olarak gösterilmiştir (Şekil 4.4; Şekil 4.5). Bu koşullarda kayaçta molar olarak kalsit/nefelin oranının 0,28'den daha düşük olması gerekmektedir (Şekil 4.4).

Tüm kayaç kimyasından molar olarak hesaplanan kalsilit/nefelin oranı 0,28'den daha yüksek olan kayaçlarda lösit kristallenme potansiyeli mevcuttur. Şekil 4.5'de ki duraylılık alanlarının birçoğunda birincil analsimlerin nefelin ve K-Feldspatlarla birlikte kristallendikleri görülmektedir. Şekil 4.1, 4.2, 4.3'de analsim kristalizasyonunun olduğu alanlar çalışılan örneklerin düştüğü alanlar lösit duraylılık alanında olup çalışılan örnekler içerisinde birincil analsimin kimyasal olarak dengede olamayacağı açıkça görülmektedir.

Şekil 4.1, 4.2, 4.3'de verilen faz diagramları çalışılan örneklerin kimyasal denge içerisinde lösit kristallenebileceğini göstermiştir.

4) Doğal kayaçlardaki lösitlerin analsime dönüşümü için laboratuvar ortamında farklı kimyasal koşullarda deneyler kurgulanarak lösit – analsim dönüşümü irdelenmiştir. Bazik ortamda doğal lösitlerden itibaren analsim dönüşümü gerçekleşirken, asidik ortamlarda bu dönüşüm gerçekleşmemektedir.

Bazik ortamda doğal plajyoklaslardan itibaren analsim dönüşümü deneyleri sonucunda silika çökelimi içerisinde analsim kristalleri nüvelenmiştir. Benzer şekilde asidik ortamda plajyoklastan itibaren analsim kristalizasyonu gerçekleşmemiştir.

5) Hidrotermal asidik ve bazik koşullar altında analsim kristalizasyon deneyleri yapılmış asidik koşullarda analsim kristalizasyonu gerçekleşmemiştir. Kurgulanan deneysel koşullar içerisinde analsim kristalizasyonu bazik koşullarda minimum 175°C'de hidrosodalitle birlikte tespit edilmişken, 200°C'de tatbik edilen deneylerde ise analsim tek başına kristal fazı olarak görülmüştür.

6) Laboratuvar ortamında KOH ile oluşturulan bazik hidrotermal ortamda 175°C, 7 bar basınç altında tetragonal lösit kristalleri sentezlenmiştir.

7) Laboratuvar ortamında bazik hidrotermal ortamda sentezlenmiş lösit kristallerinden itibaren analsim kristallendirilmiştir. Laboratuvar ortamında KOH ile hazırlanan bazik ortamda sentezlenen tetragonal lösit kristallerinden itibaren teorik pH değeri 11 olan NaOH ile oluşturulan bazik ortamda analsim dönüşüm deneyi gerçekleştirilmiş ve öncül tetragonal lösit kristallerinin üzerinde analsim nüvelenmeleri gözlenmiştir.

8) Kayaç içerisindeki doğal lösit kristallerinden itibaren bazik ortamda gerçekleştirilen deneyler sonucunda lösitlerin analsime dönüştüğü gözlemlenmiştir. Dönüşüm süreci sonunda kayacın herhangi bir yerinde analsim kristalizasyonu olmaması ve oluşan analsimlerin lösitlerin bulunduğu haznelere konumlanması, yeni kristal oluşumunun difüzyon yolu ile gerçekleştiği sonucuna varmaktadır. Ayrıca düşük sıcaklıkta sentetik olarak elde edilmiş tetragonal kristal yapıları lösitlerin bazik hidrotermal ortamda NaOH ile

muamelesi sonucunda üzerlerinde analsim nüveleri görülmesi ve kristal çözülmesinin gerçekleşmemesi de ayrıca difüzyon yoluyla dönüşüm için delil sayılmaktadır.

9) Literatürde doğal süreçte ilerlemiş reaksiyonlar sonucu oluşan analsimlerin bulunduğu kayaçların tamamına yakını denizel ortamdadır. Denizel ortamın pH değerinin ortalama 8.1 olduğundan hareketle lösit analsim dönüşümleri için, bazik hidrotermal ortamların daha uygun olduğu görülmektedir. Özellikle silikaya doygun magmatik kökenli hidrotermal çözeltilerin asidik karakterli olduğu bilinmektedir (Smith vd., 2017). Buradan hareketle analsimler bazik ortamda oluşmuştur, nitekim; silis yönünden fakir kayaçlar içerisinde bulunan lösitlerin analsime dönüşümü sürecinde magmatik kökenli hidrotermal faaliyetlerden ziyade denizel ortamın etkinliği söz konusudur (Tschernich, 1992). Kuzeydoğu Anadolu Dağ silsilesindeki Bayburt yöresindeki foid içeren kayaçlar Geç Kretase yaşlıdır ve Bayburt Everekhanları mevkiindeki yüzeyleme veren iri analsimli volkanitler Eosen yaşlı flişler tarafından örtülmüştür (Bektaş ve Gedik, 1988; Topuz vd. 2008). Trabzon ve çevresindeki kayaçlar Eosen ve daha genç yaşlıdır. Trabzon yöresinde ise Softa vd. (2018) tarafından yapılan çalışmalarda belirtilen taraçaların varlığı ayrıca Kabaköy formasyonunu üzerleyen Beşirli Formasyonu, çalışma alanındaki foidli kayaçların denizel ortamda bulunduğu işaretler. Bu veriler ile çalışılan kayaçların bir dönem denizaltı ortamda konumlandığı delillendirilerek analsimleşme için gereken ideal ortam mevcuttur.

6. KAYNAKÇA

- Akın, H., 1978. Geologie, Magmatismus und Lagerstaettenbildung im ostpontischen Gebirge-Türkei aus der Sicht der Plattentektonik: Geologische Rundschau, 68, 253-283.
- Altherr R., Topuz G., Siebel W., Şen C., Meyer H.P., Satır M. ve Lahaye, Y., 2008. Geochemical and Sr-Nd-Pb isotopic characteristics of paleocene plagioclites from the Eastern Pontides (NE Turkey), Lithos, 105, 149-161.
- Aydın, F., 2003. Değirmendere Vadisi (Trabzon-Esiroğlu, KD-Türkiye) Volkanitlerinin Mineral Kimyası, Petrolojisi ve Petrojenezi, Doktora Tezi, KTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Bayer, G., 1973. Thermal expansion of new leucite-type compounds, Naturwiss., 60, pp. 102-103.
- Bargar, K.E. and Beeson, M.H., 1985. Hydrothermal alteration in Research Drill Hole Y-3, Lower Geyser Basin, Yellowstone National Park, Wyoming. U.S. Geol. Surv., Prof. Paper 1054-C, 23 pp.
- Bayraktaroğlu, E., 1988. Çarşamba (Samsun) Yöresi Kretase Oluşuklarının Stratigrafisinin İncelenmesi, Ankara Üniversitesi, Jeoloji Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Ankara.
- Bektaş, O., ve Gedik, İ., 1988. Koplarda Lösitli Şoşonitik Volkanizmalı Yeni Bir Formasyon (Everekhanları Formasyonu) ve Bu Bulgunun Doğu Pontid Arkı (KD Türkiye) Evrimi ile Olan İlişkileri. Türkiye Jeoloji Bülteni. 31, 11-20.
- Boles, J.R. and Coombs, D.S., 1975. Mineral reactions in zeolitic Triassic tuff, Hokonui Hills, New Zealand. Geol. Soc. Amer., Bull. 86, 163-173.
- Burley B. J. and Freeman E. B., 1959. Synthesized silica-rich analcite in their study of the temperature effect on analcite lattice parameters, Canadian Mineralogist Vol 6, pp372-79.
- Bülbüloğlu, B., 2001. Pontidlerin Güneyinde gelişen Üst Kretase Yaşlı Alkalen Karakterli Volkanitlerin Jeokimyasal ve Petrolojik Olarak Karşılaştırılmaları, Yüksek Lisans Tezi, KTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü,
- Blumenthal, M.M., 1940. Gökırmak vadisi ile Karadeniz arasındaki Pontik silsilelerinin jeolojisi hakkında rapor (Boyabat-Sinop). Maden Tetkik ve Arama Enstitüsü, Rapor No. 1067, Ankara (yayımlanmamış).
- Brown, W.L., 1983. Feldspar and Feldspathoids Structures Properties and Occurrences, NATO ASI Series, Springer Media, 551p.

- Demeney, A., Harangi, S., Forizs, I. and Nagy, G., 1997. Primary and secondary features of analcimes formed in carbonate-zeolite ocelli of alkaline basalts (Mecsek Mts., Hungary): textures, chemical and oxygen isotope composition, *Geochemical Journal*, Vol. 31, pp. 37 – 47.
- Dove M. T., Cool T., Palmer D. C., Putnis, A., Salje E. K. H., Winkler B., 1993. On the role of Al-Si ordering in the cubic-tetragonal phase transition of leucite Sample is Disordered, *American Mineralogist* 78, 486-492.
- Eda, K., Uno, Y., Nagai, N. and Sotani, N., 2006. Structure – Inheriting Solid – State Reactions Under Hydrothermal Conditions, *Journl of Solid State Chemistry*, 179, 5.
- Eren, M., ve Taşlı, K., 2001. Kilop Cretaceous hardground (Kale, Gümüşhane, NE Turkey): description and origin. *J Asian Earth Sciences*, Volume 20, Issue 5, pp 443 – 448.
- Erkan, Y., 2006. Magmatik Petrografi, TMMOB Jeoloji Mühendisleri Odası Yayınları, No:93, 176 sayfa.
- Eyuboglu, Y., Bektas, O., Seren, A., Maden, N., Jacoby, W. R., ve Özer, R., 2006. Three axial extensional deformation and formation of the Liassic rift basins in the eastern Pontides (NE Turkey), *Geologica. Carpathica*, 57, 337–346.
- Fang, Xia, 2009. Mechanism and Kinetic of Pseudomorphic Mineral Replacement Reactions and Their Applications in Material Syntheses, Doktora Tezi, University of Adelaide School of Chemical Engineering, Australia.
- Francisco, P.C.M., and Sato, T., 2013. Effect of pH and temperature on zeolite precipitation rates and mechanism from amorphous precursors, 25 – 30 August, Italy, Goldschmidt 2013 Conference Abstract Book, p1104.
- Fudali, R.F., 1963. Experimental studies bearing on the origin of pseudoleucite and associated problems of alkali rock systems. *Geol. Soc. Amer. Bull.* 74, 1101-1126.
- Fujimaki, H., Tatsumoto, M. and Aoki, K., 1984. Partition coefficients of Hf, Zr and REE between phenocrysts and groundmasses, Proc. 4th Lunar Planet Sci Conf. 2., *Journal of Geophysical Research*, 89, B662-672.
- Gall, Q. and Hyde, R., 1989. Analcime in lake and lake-margin sediments of the Carboniferous Rocky Brook Formation, western Newfoundland, Canada. *Sedimentology* 36, 875-887.
- Gasiorowska, L.G. ve Slaby, E., 2001. Experimental investigation of the reaction: An-rich plagioclase + quartz + fluid = analcime-wairakite, *Acta Geologica, Polonica*, Vol 51, No2, 155-162.
- Gedik, A., ve Korkmaz, S., 1984. Sinop Havzasının jeolojisi ve petrol olanakları. *Jeoloji Mühendisliği Dergisi*, 19, 53-79.
- Gill, R.; 2010. *Igneous Rocks and Process: A Practical Guide*, Wiley – Blackwell, 472 sayfa

- Gupta, A.K. and Fyfe, W.S., 1975. Leucite survival: the alteration to analcime. *Canadian Mineral.* 13, 361-363.
- Güven, İ.H., Nalbantoğlu, A.K. ve Takaoğlu, S., 1993. MTA Genel Müdürlüğü 1/100 000 ölçekli açınısıma nitelikli Türkiye Jeolojisi haritaları serisi.
- Hamilton, D. L. and MacKenzie, W.S., 1965. Phase equilibrium in the system NaAlSiO_4 - KAISiO_4 - SiO_2 - H_2O . *Mineralogical Magazine*, 34, 214-231.
- Henderson, C.M.B., 1984. Feldspathoid Stabilities and Phase Inversions – A Review, Feldspars and Feldspathoids; Structures, Properties and Occurrences, NATO ASI series, 551 sayfa.
- Hovis, G.L., Roux, J. and Rodrigues, E., 2002. Thermodynamics and Structural behaviour of Analcime-Leucite analogue systems, *American Mineralogist*, Volume 87, pages 523-532.
- Joron, J.L., Metrich, N., Rosi, M., and Sbrana A., 1987. Chemistry and Petrography of Somma-Vesuvius, *Monografie Finali Somma-Vesuvius*, pp.105-174, Chapter: 3, Consiglio Nazionale Delle Ricerche, Editors: Roberto Santacrose
- Karlsson, H.R. and Clayton, R.N. 1991. Analcime phenocrysts in igneous rocks: primary or secondary? *American Mineralogist*, 76, 189–199.
- Katsuki, H. and Futura, S., 2001. Microwave Versus Conventional-Hydrothermal Synthesis of NaY Zeolite, *Journal of Porous Materials* 8, 5-12, Kluwer Academic Publ.
- Keskin, İ., Yergök, F.A., Kara, H., Dönmez, M. ve Arslan, M., 1998. Ünye – Fatsa – Kumru – Korgan (Ordu) dolayının jeolojisi, MTA Raporu, J.D. 602, 10182, Ankara.
- Keith, T.E.C., Thompson, J.M., and Mays, R.E., 1983. Selective concentration of cesium in analcime during hydrothermal alteration, Yellowstone National Park, Wyoming. *Geochim. Cosmochim. Acta* 47, 795-804.
- Ketin, İ. ve Gümüş, Ö., 1963. Sinop-Ayancık arasında III. Bölgeye Dahil Sahaların Jeolojisi, T.P.A.O. Raporu, 288.
- Kaleque, A., Alam, Md. M., Hoque, M., Mondal, S., Haider, J.B., Xu, B., Johir, M.A.H., Karmakar, A.K. and Zhou, J.L., 2020. Zeolite synthesis from low cost materials and environmental applications: A review. *Environmental Advances*, 100019.
- Kim, K.T. and Burley, B.J., 1971b. Phase Equilibria in the System $\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$ – NaAlSiO_4 – H_2O with Special Emphasis on the Stability of Analcite, *Canadian Journal of Earth Science*, Vol 8, pp 311-337
- Kim, K.T. and Burley, B.J., 1980. A further study of analcime solid solutions in the system $\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$ – NaAlSiO_4 – H_2O , with particular note of an analcime phase transformation, *Mineralogical Magazine*, Volume 43, pp. 1035-1045.

- Kohoutkova, M., Klouzkova, A., Maixner, J. and Mrazova, M., 2006. Preparation and Characterization of Analcime Powders by X-Ray and SEM Analyses, *Ceramic – Silikaty*, 51 (1) 9-14.
- Konak, N., Okay, A.I. ve Hakyemez, Y., 2009. Tectonic and stratigraphy of the Eastern Pontides, *Field Trip Guide Book*, 9th – 14th October.
- Korkmaz, S., 1984. Boyabat (Sinop) Kuzeydoğusunun Petrol Yönünden Jeolojik ve Jeokimyasal İncelemesi, K.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, 193 s, Trabzon.
- Kumar, S. and Chattopadhyaya, M.C., 2006. Synthesis of natrolite using the hydrothermal apparatus, *Journal of Indian Chemical Society*, Vol.83, pp1288-1290.
- Le Maitre, R.W., Bateman, P., Dudek, A., Keller, J., Lameyre Les Bas, M.J., Sabine, P.A., Schmid, R., Sorensen, H., Streckeisen, A., Wooller, A.R. and Zanettin, B., 1989. A Classification of Igneous Rocks and Glossary of Terms, Blackwell, Oxford.
- Le Maitre, R.W., Streckeisen, A. ve Zanettin, B., Le Bas, M.J., Bonin, B., Bateman, P., Bellieni, G., Dudek, A., Efremova, S., Keller, J., Lameyre, J., Sabine, P.A., Schmid, R., Sorensen, H. and Woolley, A.R., 2001. *Igneous Rocks: A Classification and Glossary of Terms*, Cambridge University Press. 236p.
- Li, Y. ve Yang, W., 2008. Microwave Synthesis of Zeolite Membranes: A Review, *Journal of Membrane Science*, 316, 3-17.
- Li, Y., Zhou, X.D., Zhang, J.M.; Wu, X.Y. and Gao, H.B., 2017. The preparation and caharacterization of Natrolite Synthesis by Purified Attapulgit, *Materials Science and Engineering*, 2205, 012030.
- Mammedova, G.A., 2014. Hydrothermal Synthesis of Natrolite Type Zeolite in the Natural Halloysite-Obsidian System, *Glass Physics and Chemistry*, Vol. 40, No.3 pp380-383.
- Martin, R.F. and Lagache, M., 1975. Cell edges and infrared spectra of synthetic leucites and pollucites in the system KAISi_2O_6 - $\text{RbAISi}_2\text{O}_6$ - $\text{CsAISi}_2\text{O}_6$ *Canadian Mineralogist*, 13, pp. 275-281.
- Mazzi F. and Galli E., 1978. Is each analcime different?, *American Mineralogist* Vol63, pp 448 – 460.
- Mazzi F., Galli E. and Gottardi G., 1976. The crystal structure of tetragonal leucite, *American Mineralogist* 61, 108-115.
- Merlino, S., 1983. Feldspathoids: Their Average and Real Structures, *NATO ASI Series*, Springer, 435-471.
- Morse, S.A., 1969. Syenites. *Geophys. Lab. Yrbook* 67, 112-120.
- Novotna, M., Satava, V. and Kostka, P., 2004. Sythesis of Leucite for Application in Dentistry, *Glass Technology*, 45, 2, 105 – 107.

- Okay, A.İ. ve Tüysüz, O., 1999. Tethyan sutures of northern Turkey. Geological Society of London, Special Publications 156, 475–515.
- Özen, S. ve Göncüoğlu, M.C., 2011. Origin of Analcime in the Neogene Arıklı Tuff, Biga Peninsula, NW Turkey, Neues JbJahrbuch für Mineralogie, 189, 21-34.
- Palcic, A. and Valtchev, V., 2020. Analysis of Acids sites in Zeolites, Applied Catalysis A: General, 606, pp117795
- Palmer D. C., Dove M. T., Ibberson R. M. and Powell B. M., 1997. Structural behavior, crystal chemistry and phase transitions in substituted leucites: High-resolution neutron powder diffraction studies Sample: Natural, Expt. no. 3003, T = 298 K, KAlSi_2O_6 , American Mineralogist 82, 16-29.
- Palmer, D.C., Salje, E. and Schmahl, W.W., 1989. Phase transition in leucite: X-ray diffraction studies. Phys. Chem. Minerals, 16, 714-719.
- Papezik, V.S. and Peter, E., 1980. Tetragonal Analcime From Southeastern Newfoundland, Canadian Mineralogist, Vol. 18, 73-75.
- Peacor, D.R. 1968. A high temperature single crystal diffractometer study of leucite, $(\text{K},\text{Na})\text{AlSi}_2\text{O}_6$. Zeitschrift für Kristallographie, 127, 213-224.
- Pearce, T.H., 1970. The analcite-bearing volcanic rocks of the Crowsnest Formation, Alberta. Can. J. Earth Sci., 7, 46-66.
- Pelin S., 1977. Alucra (Giresun) Güneydoğu Yöresinin Petrol Olanakları Bakımından Jeolojik İncelemesi, KTÜ yayını no: 87
- Pelin,S., Özsayar,T., Gedikoğlu,A. ve Tülümen, E., 1982. the origin of the Upper Cretaceous red biomicrites in Eastern Pontides (In Turkish): Karadeniz Teknik Üniversitesi Yer Bilimleri dergisi Jeoloji, 2, 69-80.
- Peters, T., Luth, W.C. and Tuttle, D.F., 1966. The melting of analcime solid solutions in the system $\text{NaAlSi}_3\text{O}_8\text{-NaAlSi}_3\text{O}_8\cdot\text{H}_2\text{O}$; American Mineralogist, Volume 51, p736-753.
- Peterson, T.D., and Currie, K.L., 1993. Analcite-bearing igneous rocks from the Crowsnest Formation, southwestern Alberta., Contribution to Canada-Alberta Agreement on Mineral Development, Paper 93-1B.
- Putnis, A., and Putnis, C., 1994. The Microtexture of Analcime Phenocrysts in Igneous rocks. European Journal of Mineralogist, 6, 627-632.
- Putnis, A., 2005. Mineralogical Replacement reactions: From Macroscopic Observations to Microscopic Mechanism, Mineralogical Magazine, Volume 66(5), pp. 689-708.
- Putnis A, and Putnis CV., 2007. The mechanism of reequilibration of solids in the presence of a fluid phase. J Solid State Chem 180:1783-1786.

- Putnis CV, Austrheim H, Engvik AK, Putnis A, 2008. A mechanism of fluid infiltration through minerals – implications for element mobilisation within the earth. Proc. Ninth International Congress for Applied Mineralogy. pp 625- 629.
- Putnis, A., 2009. Mineral Replacement Reactions, Reviews in Mineralogy and Geochemistry, Volume 70, pp. 87-124.
- Reisoğlu, G., 2009. Trabzon-Vakfikebir-Tonya Üçgeninde Yüzeyleme Veren Eosen Yaşlı Volkanik Kayaçlarla, Bu Kayaçları Keserek Yerleşen Sokulum Kayaçlarının (Daykların) Petrografik, Mineralojik ve Kimyasal Açından İncelenmesi, KTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü,
- Rios, C.A., Williams, C.D. and Roberts, C.L., 2009. Zeolitization of geological and waste materials at low temperature in KOH solutions, Ingenieria y Competitividad, Vol.11, No2, p.117 – 125.
- Robie, R.A. and Waldbaum, D.R., 1968. Thermodynamic Properties of Minerals and Related Substances at 298.15°K (25.0°C) and One Atmosphere (1.013 Bars Pressure and at Higher Temperatures, Geological Survey Bulletin, 1259, 262 sayfa.
- Robinson, A. G., Banks, C. J., Rutherford, M. M. and Hirst, J. J. P., 1995. Stratigraphic and structural development of the eastern Pontides, Turkey. Journal of the Geological Society, London 152, 861-872.
- Roux, J. and Hamilton, D. L., 1976. Primary igneous analcite; an experimental study. Journal Petrology, 17, 244-257.
- Ruiz-Agudo, E., Putnis, C.V. and Putnis, A., 2014. Coupled dissolution and replacement at mineral fluid interfaces, Chemical Geology, 383, pp. 132-146.
- Sathupunya, M., Gulari, E., Wongkasemjit, S., 2002. ANA and GIS Zeolite Synthesis Directly from Alumatrane and Silatrane by Sol-Gel Process and Microwave Techniques, Journal of European Ceramic Society, 22(13):2305-2314.
- Şen, C., Arslan, M., ve Van, A., 1998. Geochemical and Petrological Characteristic of Eastern Pontide Eocene Alkaline Volcanic Province, NE Turkey, Turkish Journal of Earth Sciences, Vol. 7, pp. 231-239.
- Şengör, A.M.C. ve Yılmaz, Y. 1981. Tethyan Evolution of Turkey: A Plate Tectonic Approach, Tectonophysics, 75, 181-241.
- Schairer, J. F., 1950. The alkali feldspar join in the system $\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$ - KAlSi_3O_8 - SiO_2 J. Geol. 58, 512-517.
- Schairer, J. F., 1957. Melting relations of the common rock-forming oxides. Journal American Ceramic Society, 40, 215-235.
- Sheppard, R.A. and Hay, R.L., 2001. Formation of zeolites in open hydrologic systems. In: Bish, D.L. and Ming, D.W. (eds.) Natural Zeolites: Occurrence, Properties, Applications, Reviews in Mineralogy & Geochemistry, Mineralogical Society of America, Vol. 45, Washington, D.C., 261-276.

- Softa, M., Emre, T., Sözbilir, H., Spencer, J. ve Turan., M., 2018. Doğu Pontidlerin (Trabzon-Rize ve Yakın Çevresi) Aktif Tektoniğine Jeomorfolojik Açından Bir Yaklaşım, 71. Türkiye Jeoloji Kurultayı, Ankara Türkiye, 24 – 27 Nisan.
- Tokel, S., 1977. Doğu Karadeniz Bölgesi'nde Eosen Yaşlı Kalkalkalen Andezitler ve Jeotektonizma, TJK Bülteni, 20/1, 49-54.
- Topuz, G., Altherr, R., Satır, M. ve Schwarz, WH., 2004a. Low-grade metamorphic rocks from the Pulur complex, NE Turkey: implications for the pre-Liassic evolution of the Eastern Pontides. *Int J Earth Sci* 93, 72–91.
- Tschernich, R.W., 1992. Zeolites of the World, Geoscience Press inc., 1st Ed., QE391:Z5
- Ulumanu, M. and Anger, I., 2012. Zeolite utilization in solar energy storage and heat Exchange, *Handbook of Natural Zeolites*, pp 369 – 398.
- Welch, M.D., 2005. Feldspathoids, *Encyclopedia of Geology*, Springer, Volume3, Page539.
- Wilkinson, J.F.G., 1968. Analcimes from some Potassic Igneous Rocks and Aspects of Analcime-Rich Igneous Assemblages, *Contribution to Mineralogy Petrology*, 18, 252-269.
- Wilkinson, J.F.G., 1977. Analcime phenocrysts in a vitrophyric analcinite - primary or secondary? *Contribution to Mineralogy Petrology*, 64, 1-10.
- Wyart, M.J. 1940. Étude cristallographique d'une leucite artificielle. Structure atomique et symétrie du minéral. *Bull. Soc. franc. Minéral. Cristallogr.* 63, 5-17.
- Yılmaz, C., 1993. Doğu Pontid Güney zonunun Stratigrafik denetirmesi ve Paleocoğrafik Evrimi, A.Ü., Isparta Müh. Fak. Dergisi, 7, 199-214.
- Yılmaz, Y., 2013. Farklı başlangıç maddeleri kullanılarak sol-jel yöntemiyle monolitik silika aerogel ve silika aerogel sentezi ve karakterizasyonu, Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Yoldaş, R., Keskin, B., Granit, S., Korkmaz, S., Dirik, S., Kalkan, İ., Ağrıdağ S. ve Besbelli, B., 1985. Samsun ve dolayının (Kızılırmak – Yeşilirmak arasındaki bölgenin) jeolojisi ve petrol olanakları. Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü Enerji Hammadde Etüd ve Arama Dairesi, Rapor No: 8130 (yayımlanmamış).
- Yücel, C., 2013. Trabzon – Giresun Arasındaki Tersiyer Volkanitlerinin Petrografisi, ⁴⁰Ar-³⁹Ar Jeokronolojisi, Petrokimyası, Sr-Nd-Pb İzotop Jeokimyası ve Petrolojisi, Doktora Tezi, KTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Yücel, C., Temizel, İ., Abdioğlu, E., Arslan M., Yağcıoğlu, U.C., 2014. Origin of Analcimes in the tertiary volcanic rocks from the Eastern Pontides (NE Turkey): a textural, mineralogical, and geochemical approach, *Neues JbJahrbuch für Mineralogie*, 191/3, pp. 277-299.

Yoder, H.S., ve Weir, C.E., 1960. High pressure form of analcite and free energy change with in pressure of analcime reactions. American Journal of Science 258A:420–433.



7. EKLER



Ek Tablo 1. Kayaç hamurunda gelişen analsim minerallerine ait kimyasal analiz sonuçları (96 O'ya göre hesaplanmıştır).

Kayaç No	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Örnek No	1	2	3	4	5	6	7	1	1	2	3	4	5					
SiO ₂	53,29	54,20	52,32	53,56	53,59	53,06	52,54	52,97	52,10	52,86	53,87	53,24						
TiO ₂	0,04	0,03	0,03	0,04	0,04	0,06	0,04	0,05	0,03	0,03	0,04	0,04						
Al ₂ O ₃	22,86	23,42	23,17	23,28	23,47	23,42	23,38	23,70	23,86	23,55	23,78	23,86						
Fe ₂ O ₃	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00						
FeO	0,33	0,30	0,35	0,37	0,33	0,33	0,35	0,39	0,39	0,34	0,35	0,37						
MnO	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00						
MgO	0,00	0,01	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,01	0,02	0,02	0,01						
CaO	0,02	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,05	0,03	0,18	0,03	0,04	0,03						
BaO	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00						
Na ₂ O	14,15	13,62	13,74	14,00	13,65	13,90	14,04	14,51	14,40	13,77	13,73	13,78						
K ₂ O	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,04	0,15	0,04	0,04	0,05						
SrO	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00						
Toplam	90,75	91,68	89,71	91,35	91,18	90,86	90,46	91,68	91,13	90,63	91,86	91,38						
Si	31,75	31,84	31,52	31,68	31,69	31,55	31,43	31,32	31,06	31,50	31,62	31,46						
Ti	0,02	0,01	0,01	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,01	0,01	0,02	0,02						
Al	16,06	16,22	16,45	16,23	16,36	16,42	16,48	16,51	16,76	16,54	16,45	16,62						
Fe ⁺³	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00						
Fe ⁺²	0,16	0,15	0,18	0,18	0,16	0,16	0,18	0,19	0,20	0,17	0,17	0,18						
Mn	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00						
Mg	0,00	0,01	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,01	0,02	0,01	0,01						
Ca	0,01	0,03	0,03	0,02	0,03	0,02	0,03	0,02	0,11	0,02	0,03	0,02						
Ba	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00						
Na	16,34	15,52	16,05	16,05	15,65	16,02	16,28	16,63	16,65	15,90	15,63	15,79						
K	0,05	0,04	0,04	0,05	0,04	0,05	0,05	0,03	0,11	0,03	0,03	0,04						
Sr	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00						
Toplam	64,39	63,82	64,29	64,24	63,96	64,25	64,47	64,73	64,92	64,19	63,96	64,13						

Ek Tablo 1. devamı.

Kayaç No	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Örnek No	5	1	2	3	1	1	2	1	1	2	1	1	2	3	1	2	3	2	3
SiO ₂	52,67	46,47	49,84	48,81	48,04	48,04	48,04	48,78	47,15	47,72	47,59	52,30	49,03						
TiO ₂	0,05	0,00	0,00	0,01	0,02	0,02	0,05	0,00	0,01	0,01	0,01	0,02	0,01						
Al ₂ O ₃	24,08	23,44	23,62	23,72	23,07	23,07	23,20	23,17	23,32	23,33	23,39	24,09	23,54						
Fe ₂ O ₃	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00						
FeO	0,40	0,06	0,03	0,04	0,13	0,13	0,06	0,13	0,17	0,18	0,03	0,38	0,03						
MnO	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00						
MgO	0,01	0,03	0,02	0,02	0,06	0,06	0,01	0,04	0,03	0,04	0,00	0,00	0,02						
CaO	0,03	0,07	0,02	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,01	0,01	0,02	0,05	0,01						
BaO	0,00	0,00	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01						
Na ₂ O	13,63	20,56	20,81	21,37	20,77	20,77	20,72	20,74	20,70	20,93	20,92	13,75	20,74						
K ₂ O	0,04	0,05	0,03	0,05	0,10	0,10	0,04	0,05	0,04	0,08	0,05	0,06	0,05						
SrO	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00						
Toplam	90,91	90,68	94,38	94,03	92,19	92,19	92,13	92,93	91,44	92,29	92,01	90,64	93,43						
Si	31,29	28,87	29,59	29,22	29,32	29,32	29,31	29,48	29,05	29,13	29,12	31,19	29,44						
Ti	0,02	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01	0,02	0,00	0,00	0,01	0,00	0,01	0,00						
Al	16,86	17,16	16,52	16,73	16,59	16,59	16,68	16,51	16,93	16,78	16,87	16,94	16,66						
Fe ⁺³	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00						
Fe ⁺²	0,20	0,03	0,01	0,02	0,07	0,07	0,03	0,07	0,09	0,09	0,01	0,19	0,01						
Mn	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00						
Mg	0,01	0,03	0,02	0,01	0,05	0,05	0,01	0,03	0,03	0,03	0,00	0,00	0,02						
Ca	0,02	0,04	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,00	0,02	0,03	0,01						
Ba	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00						
Na	15,70	24,77	23,96	24,80	24,58	24,58	24,51	24,31	24,73	24,78	24,82	15,90	24,14						
K	0,03	0,04	0,03	0,04	0,08	0,08	0,03	0,04	0,03	0,06	0,04	0,04	0,04						
Sr	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00						
Toplam	64,13	70,95	70,14	70,83	70,71	70,71	70,60	70,44	70,86	70,89	70,87	64,30	70,32						

Ek Tablo 2. Piroksenler üzerinde gelişen analsim minerallerine ait kimyasal analiz sonuçları (96 O'ya göre hesaplanmıştır).

Kayaç No	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
Örnek No	1	2	3	4	5	6	7	8	9	1	2	3	3	3	3	3	3	3
Tür	Tefrit	Tefrit	Tefrit	Tefrit	Tefrit	Tefrit	Tefrit	Tefrit	Tefrit	Tefrit	Tefrit	Tefrit	Tefrit	Tefrit	Tefrit	Tefrit	Tefrit	Tefrit
SiO ₂	52,93	52,60	51,68	52,33	52,10	52,93	51,23	50,79	51,65	51,38	51,99	51,14	51,38	51,99	51,38	51,99	51,14	51,38
TiO ₂	0,11	0,12	0,14	0,10	0,12	0,13	0,11	0,11	0,14	0,10	0,12	0,11	0,10	0,12	0,10	0,12	0,11	0,10
Al ₂ O ₃	22,72	22,94	23,16	23,37	23,20	23,50	23,59	23,64	23,46	23,73	23,86	23,63	23,73	23,86	23,73	23,86	23,63	23,73
Fe ₂ O ₃	0,68	0,67	0,70	0,72	0,72	0,71	0,66	0,74	0,80	0,69	0,72	0,68	0,69	0,72	0,69	0,72	0,68	0,69
FeO	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
MnO	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
MgO	0,03	0,02	0,03	0,01	0,03	0,06	0,02	0,05	0,10	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
CaO	0,23	0,17	0,16	0,03	0,20	0,34	0,20	0,14	0,36	0,32	0,16	0,10	0,32	0,16	0,32	0,16	0,10	0,32
BaO	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Na ₂ O	16,57	15,94	17,42	16,58	16,15	14,65	16,15	16,38	15,96	16,29	15,97	16,45	16,29	15,97	16,29	15,97	16,45	16,29
K ₂ O	0,51	0,49	0,55	0,51	0,55	0,54	0,51	0,47	0,46	0,78	0,55	0,52	0,78	0,55	0,78	0,55	0,52	0,78
SrO	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Toplam	93,78	92,94	93,83	93,64	93,08	92,85	92,47	92,32	92,92	93,29	93,36	92,63	93,29	93,36	93,29	93,36	92,63	93,29
Si	31,20	31,19	30,63	30,90	30,94	31,25	30,63	30,48	30,74	30,43	30,63	30,46	30,43	30,63	30,43	30,63	30,46	30,43
Ti	0,05	0,05	0,06	0,05	0,06	0,06	0,05	0,05	0,06	0,04	0,05	0,05	0,04	0,05	0,04	0,05	0,05	0,04
Al	15,79	16,03	16,18	16,26	16,24	16,36	16,62	16,72	16,46	16,57	16,57	16,59	16,57	16,57	16,57	16,57	16,59	16,57
Fe ⁺³	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Fe ⁺²	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,34	0,36	0,34	0,34	0,36	0,34	0,36	0,34	0,34
Mn	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Mg	0,02	0,02	0,02	0,01	0,03	0,05	0,02	0,05	0,09	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Ca	0,14	0,10	0,10	0,02	0,13	0,21	0,13	0,09	0,23	0,20	0,10	0,07	0,20	0,10	0,20	0,10	0,07	0,20
Ba	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Na	18,94	18,32	20,02	18,98	18,59	16,78	18,72	19,06	18,42	18,71	18,24	18,99	18,71	18,24	18,71	18,24	18,99	18,71
K	0,39	0,37	0,41	0,39	0,42	0,40	0,39	0,36	0,35	0,59	0,41	0,40	0,59	0,41	0,59	0,41	0,40	0,59
Sr	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Toplam	66,52	66,09	67,43	66,61	66,40	65,10	66,56	66,81	66,35	66,89	66,36	66,89	66,89	66,36	66,89	66,36	66,89	66,89

Ek Tablo 2. devamı.

Kayaç No	3	3	3	3	3	3
Örnek No	7	8	9	10	11	
Tür	Tefrit	Tefrit	Tefrit	Tefrit	Tefrit	Tefrit
SiO ₂	51,18	51,81	51,36	51,65	51,56	
TiO ₂	0,11	0,10	0,12	0,12	0,10	
Al ₂ O ₃	23,35	23,24	23,56	23,59	23,47	
Fe ₂ O ₃	0,73	0,79	0,72	0,77	0,83	
FeO	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
MnO	0	0,00	0,00	0,00	0,00	
MgO	0,08	0,06	0,00	0,05	0,05	
CaO	0,20	0,22	0,17	0,29	0,07	
BaO	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
Na ₂ O	17,91	16,75	16,96	16,41	16,81	
K ₂ O	0,56	0,82	0,88	0,68	0,64	
SrO	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
Toplam	94,11	93,78	93,78	93,56	93,53	
Si	30,24	30,59	30,37	30,50	30,50	
Ti	0,05	0,05	0,06	0,05	0,05	
Al	16,26	16,17	16,42	16,42	16,36	
Fe ⁺³	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
Fe ⁺²	0,36	0,39	0,36	0,38	0,41	
Mn	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
Mg	0,07	0,05	0,00	0,05	0,04	
Ca	0,12	0,14	0,11	0,18	0,04	
Ba	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
Na	20,52	19,18	19,45	18,79	19,27	
K	0,42	0,61	0,67	0,51	0,48	
Sr	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
Toplam	68,04	67,18	67,42	66,88	67,15	

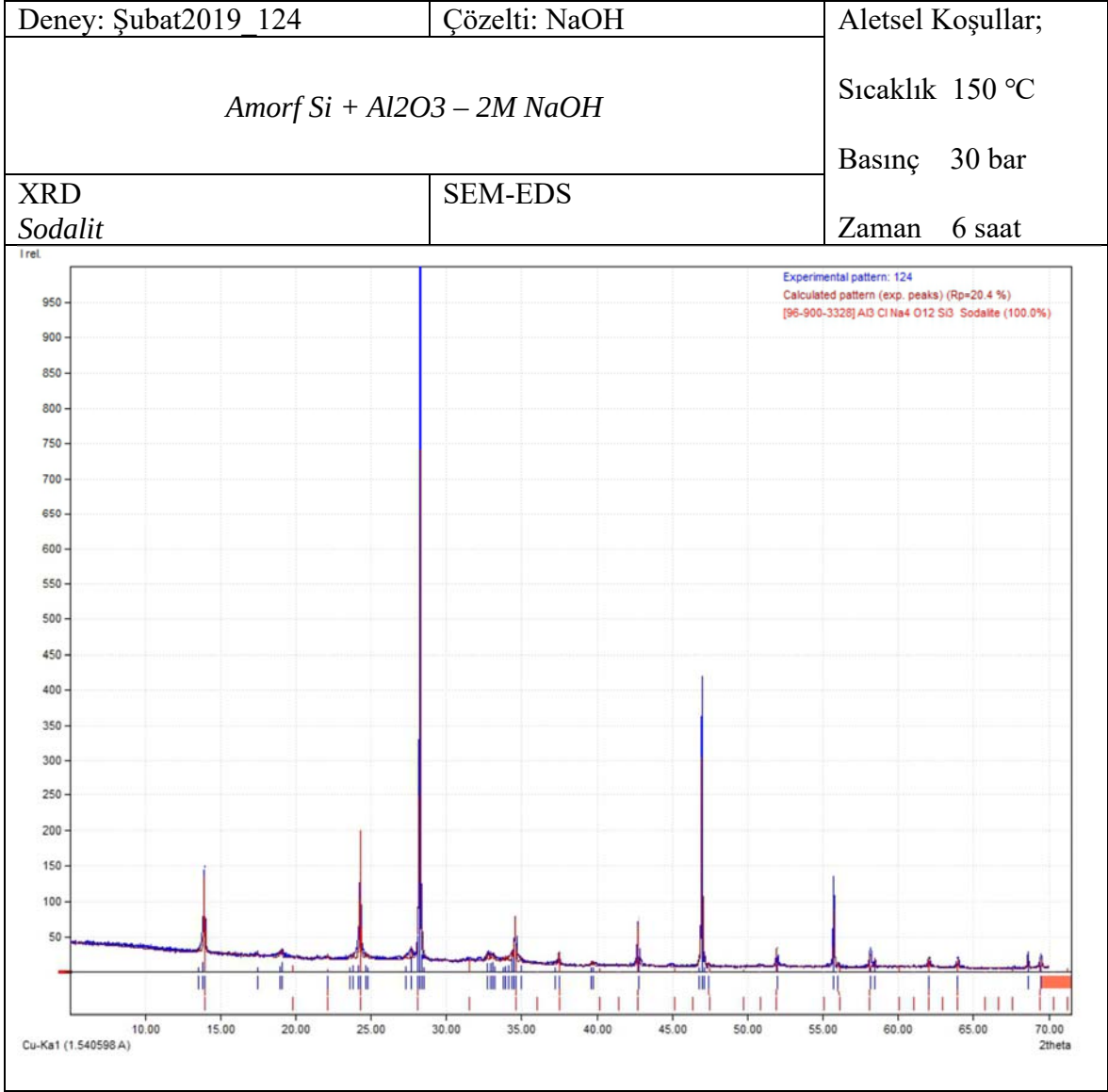
Ek Tablo 3. Devamı.

Kayaç No	2	2	2	2	2	2	2	3	3	3	3	3	3
Örnek No	9	10	11	13	14	1	11	12	13	15	16	17	
SiO ₂	47,75	50,32	49,75	49,75	48,11	48,92	48,84	48,08	48,13	47,11	47,16	46,30	
TiO ₂	1,21	0,91	0,90	0,87	1,23	1,07	1,16	1,32	1,21	1,23	1,36	1,39	
Al ₂ O ₃	5,97	4,08	4,53	4,60	5,77	5,13	5,47	5,85	6,02	7,39	7,22	8,12	
Fe ₂ O ₃	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
FeO	8,84	7,93	8,10	7,95	8,68	8,16	8,17	8,33	8,09	8,59	8,58	9,07	
MnO	0,14	0,14	0,12	0,12	0,13	0,10	0,05	0,18	0,14	0,08	0,09	0,13	
MgO	12,96	13,97	13,77	14,02	13,08	13,37	13,46	12,87	12,90	12,47	12,40	12,20	
CaO	22,41	22,37	22,15	22,38	22,35	22,45	22,61	22,61	22,90	22,66	22,78	22,43	
BaO	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
Na ₂ O	0,62	0,61	0,56	0,54	0,60	0,59	0,52	0,60	0,58	0,61	0,52	0,63	
K ₂ O	0,01	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,01	0,01	0,01	
SrO	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
Toplam	99,91	100,33	99,89	100,26	99,95	99,81	100,32	99,84	99,99	100,16	100,16	100,33	
Si	1,80	1,87	1,86	1,85	1,81	1,83	1,82	1,81	1,81	1,77	1,77	1,74	
Ti	0,03	0,03	0,03	0,02	0,03	0,03	0,03	0,04	0,03	0,03	0,04	0,04	
Al	0,27	0,18	0,20	0,20	0,26	0,23	0,24	0,26	0,27	0,33	0,32	0,36	
Fe ⁺³	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
Fe ⁺²	0,28	0,25	0,25	0,25	0,27	0,26	0,25	0,26	0,25	0,27	0,27	0,28	
Mn	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	
Mg	0,73	0,77	0,77	0,78	0,73	0,75	0,75	0,72	0,72	0,70	0,69	0,68	
Ca	0,90	0,89	0,89	0,89	0,90	0,90	0,90	0,91	0,92	0,91	0,92	0,90	
Ba	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
Na	0,05	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,05	
K	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
Sr	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
Toplam	4,06	4,04	4,04	4,04	4,05	4,04	4,04	4,05	4,05	4,06	4,05	4,06	

Ek Tablo 3. Devamı.

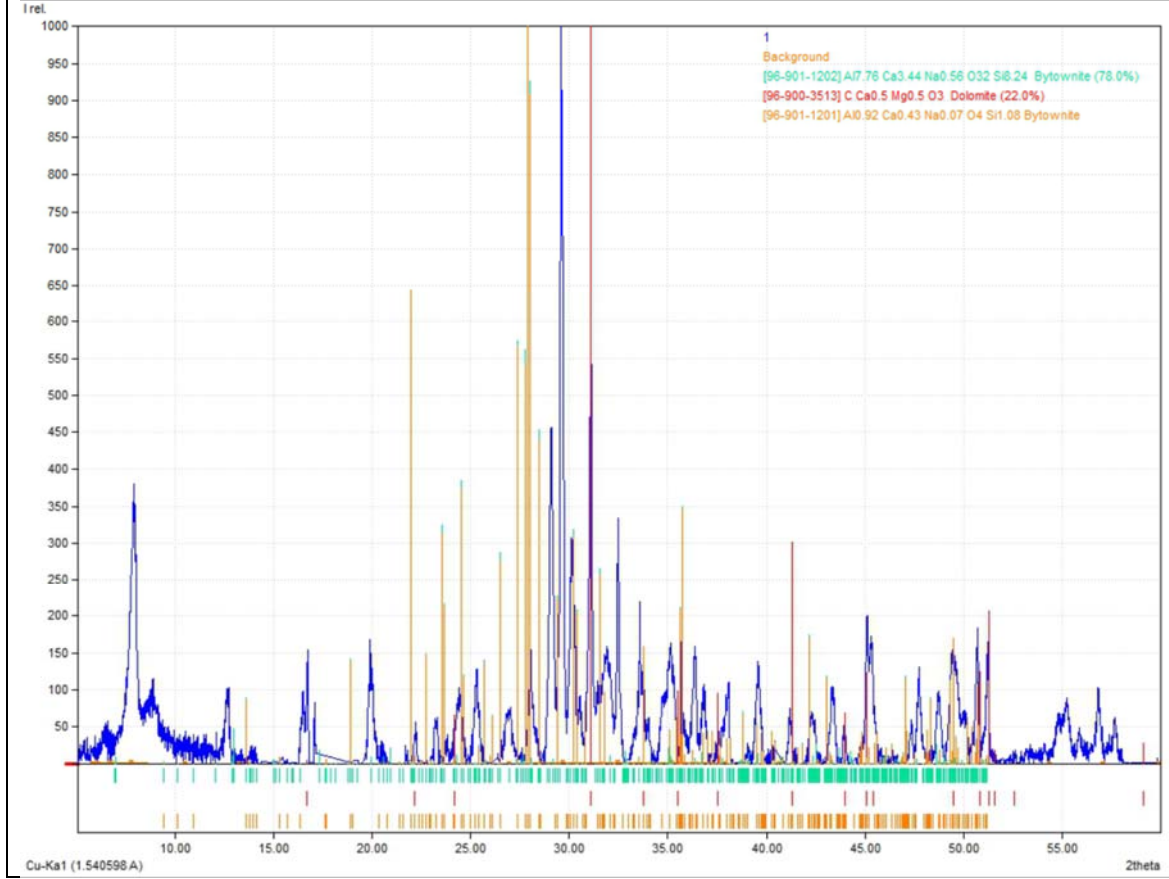
Kayaç No	3	3	3	3	3	3	8	8	8	8	8	8	8	8	8	1
Örnek No	2	3	4	5	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
SiO ₂	64,03	38,07	63,74	64,67	38,91	39,14	39,01	38,91	38,86	39,08	38,94	48,02				
TiO ₂	0,09	3,77	0,10	0,06	2,74	2,75	2,63	2,71	2,68	2,73	2,68	1,15				
Al ₂ O ₃	18,76	16,65	20,74	19,47	13,65	13,64	13,70	13,54	13,43	13,56	13,47	6,03				
Fe ₂ O ₃	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00				
FeO	0,38	14,28	0,56	0,64	11,84	11,85	11,69	11,54	11,90	11,99	12,26	8,66				
MnO	0,00	0,18	0,01	0,01	0,07	0,09	0,05	0,09	0,09	0,11	0,06	0,10				
MgO	0,02	14,73	0,03	0,00	13,46	13,49	13,50	13,51	13,36	13,38	13,23	12,53				
CaO	0,69	0,10	1,41	0,38	11,84	11,84	11,73	11,91	11,78	11,79	11,78	22,18				
BaO	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00				
Na ₂ O	1,82	0,67	3,68	1,23	2,12	2,21	2,22	2,20	2,23	2,25	2,26	0,47				
K ₂ O	13,76	9,37	11,37	15,55	1,98	1,98	1,93	1,96	1,97	1,97	1,94	0,01				
SrO	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00				
Toplam	99,56	97,82	101,63	102,02	96,64	96,99	96,50	96,41	96,35	96,88	96,63	99,16				
Si	2,22	1,50	2,16	2,21	1,53	1,54	1,54	1,54	1,54	1,54	1,54	1,82				
Ti	0,00	0,11	0,00	0,00	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,03				
Al	0,77	0,77	0,83	0,78	0,63	0,63	0,64	0,63	0,63	0,63	0,63	0,27				
Fe ⁺³	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00				
Fe ⁺²	0,01	0,47	0,02	0,02	0,39	0,39	0,39	0,38	0,39	0,39	0,41	0,27				
Mn	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00				
Mg	0,00	0,87	0,00	0,00	0,79	0,79	0,79	0,80	0,79	0,79	0,78	0,71				
Ca	0,03	0,00	0,05	0,01	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,90				
Ba	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00				
Na	0,12	0,05	0,24	0,08	0,16	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,03				
K	0,61	0,47	0,49	0,68	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,00				
Sr	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00				
Toplam	3,76	4,26	3,79	3,78	4,20	4,20	4,20	4,20	4,20	4,20	4,20	4,03				

Ek_04. Laboratuvar ortamında sentezlenen veya dönüştürülen mineraller.



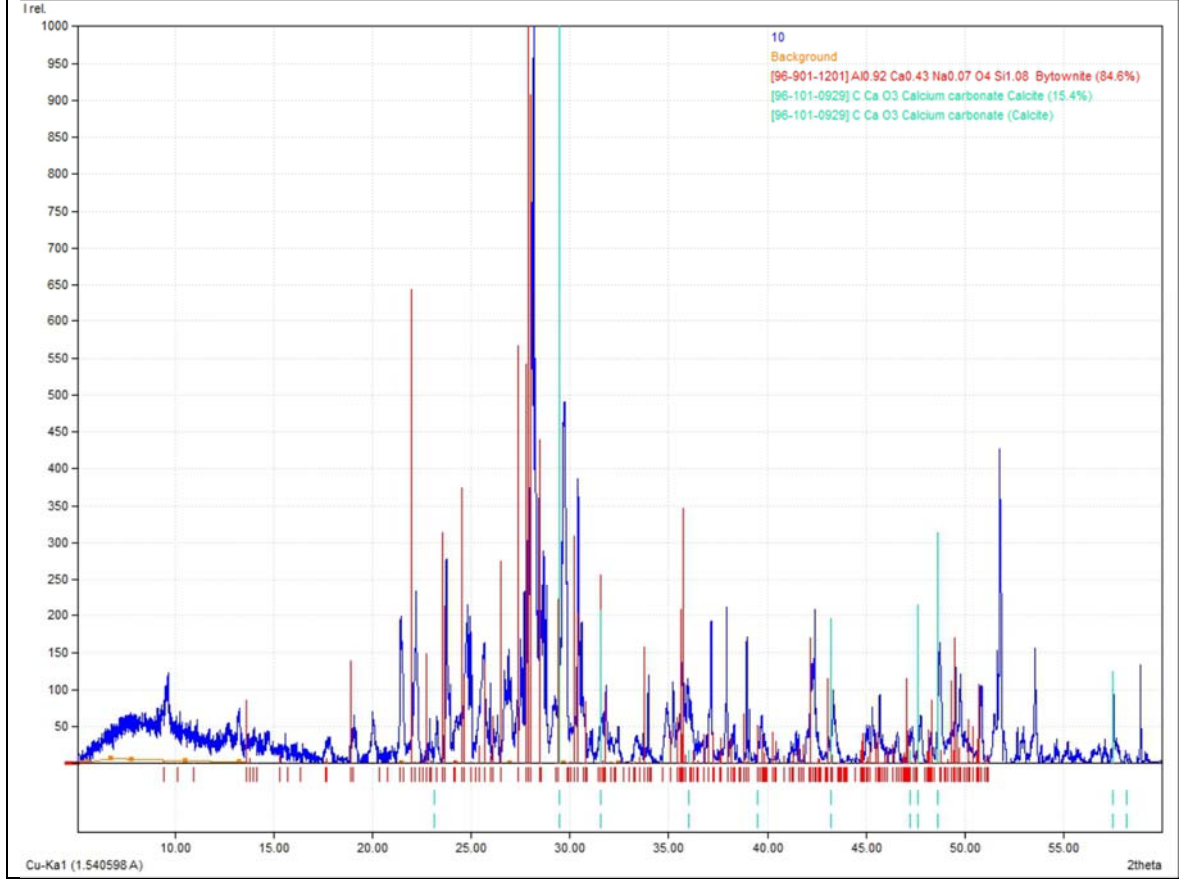
Ek_04 devamı.

Deney: Kasım2022_1	Çözelti: NaOH	Aletsel Koşullar; Sıcaklık 175 °C Basınç 5.5 bar Zaman 10 saat
Bitovnit (Albitleşmiş) – 2M NaOH		
XRD Bitovnit, Dolomit	SEM-EDS	



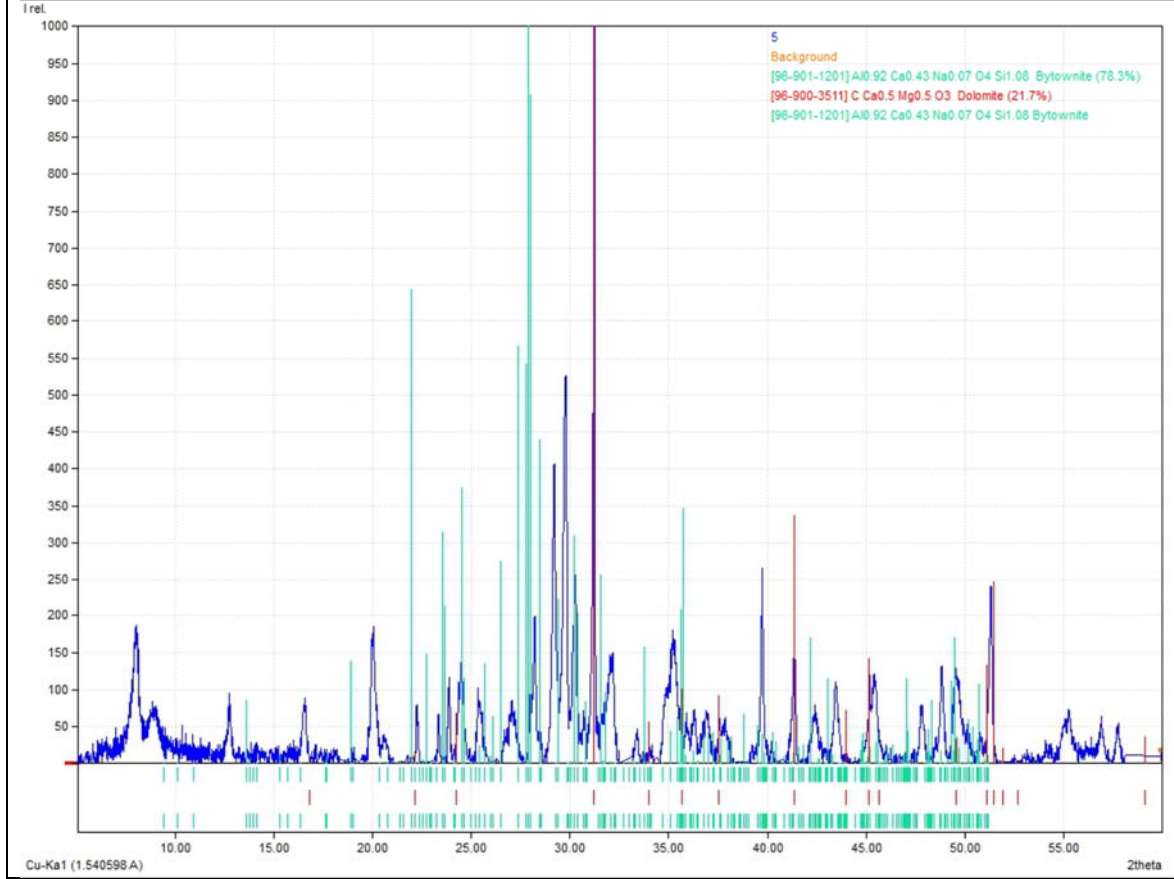
Ek_04 devamı.

Deney: Kasım2022_10	Çözelti: NaOH	Aletsel Koşullar; Sıcaklık 175 °C Basınç 5.5 bar Zaman 10 saat
Bitovnit (Albitleşmiş) – 2M NaOH		
XRD Bitovnit, Kalsit	SEM-EDS	



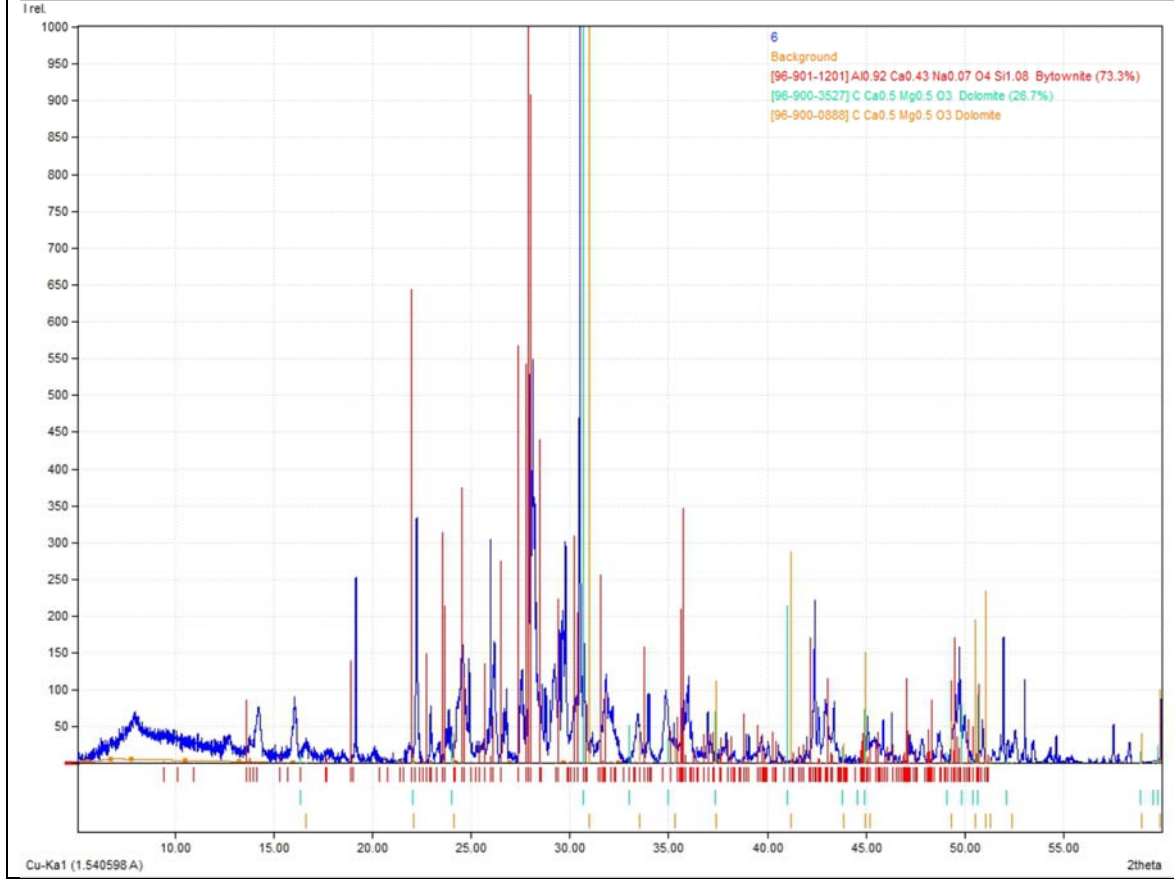
Ek_04 devamı.

Deney: Kasım2022_5	Çözelti: NaOH	Aletsel Koşullar;
<i>Bitovnit (Albitleşmiş) – 2M NaOH</i>		Sıcaklık 175 °C
		Basınç 5.5 bar
XRD <i>Bitovnit, Dolomit</i>	SEM-EDS	Zaman 20 saat



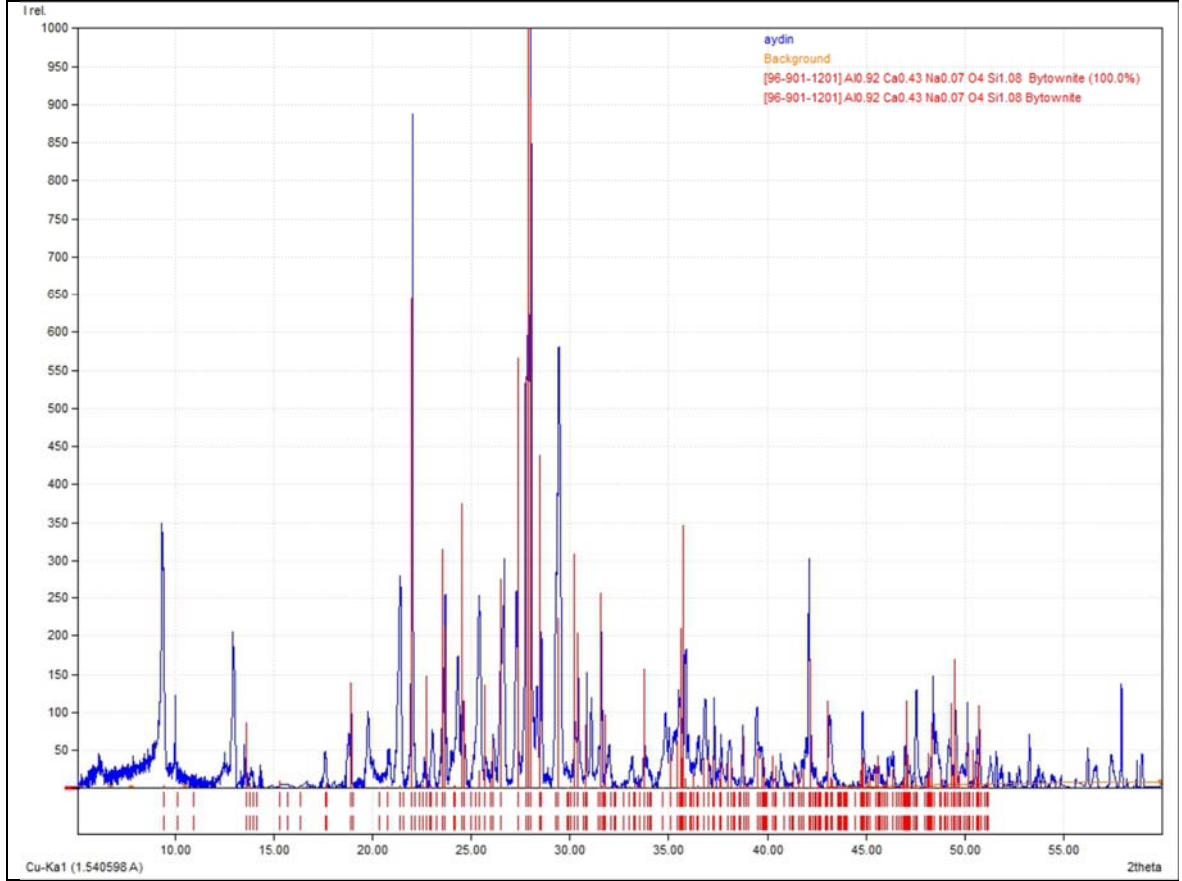
Ek_04 devamı.

Deney: Kasım2022_6	Çözelti: NaOH	Aletsel Koşullar;
<i>Bitovnit (Albitleşmiş) – 2M NaOH</i>		Sıcaklık 175 °C
		Basınç 5.5 bar
XRD <i>Bitovnit, Dolomit</i>	SEM-EDS	Zaman 20 saat



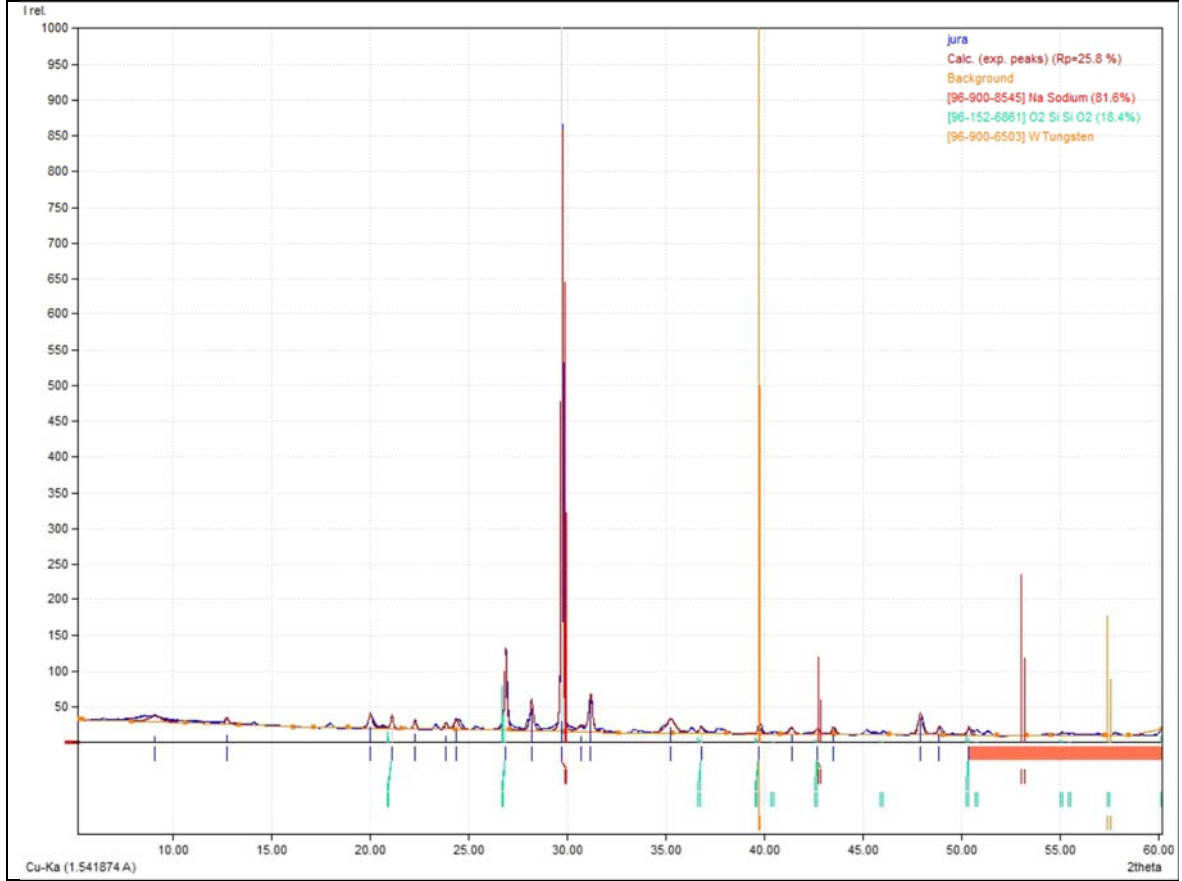
Ek_04 devamı.

Deney:	Çözelti:	Aletsel Koşullar; Sıcaklık Basınç Zaman
XRD	SEM-EDS	

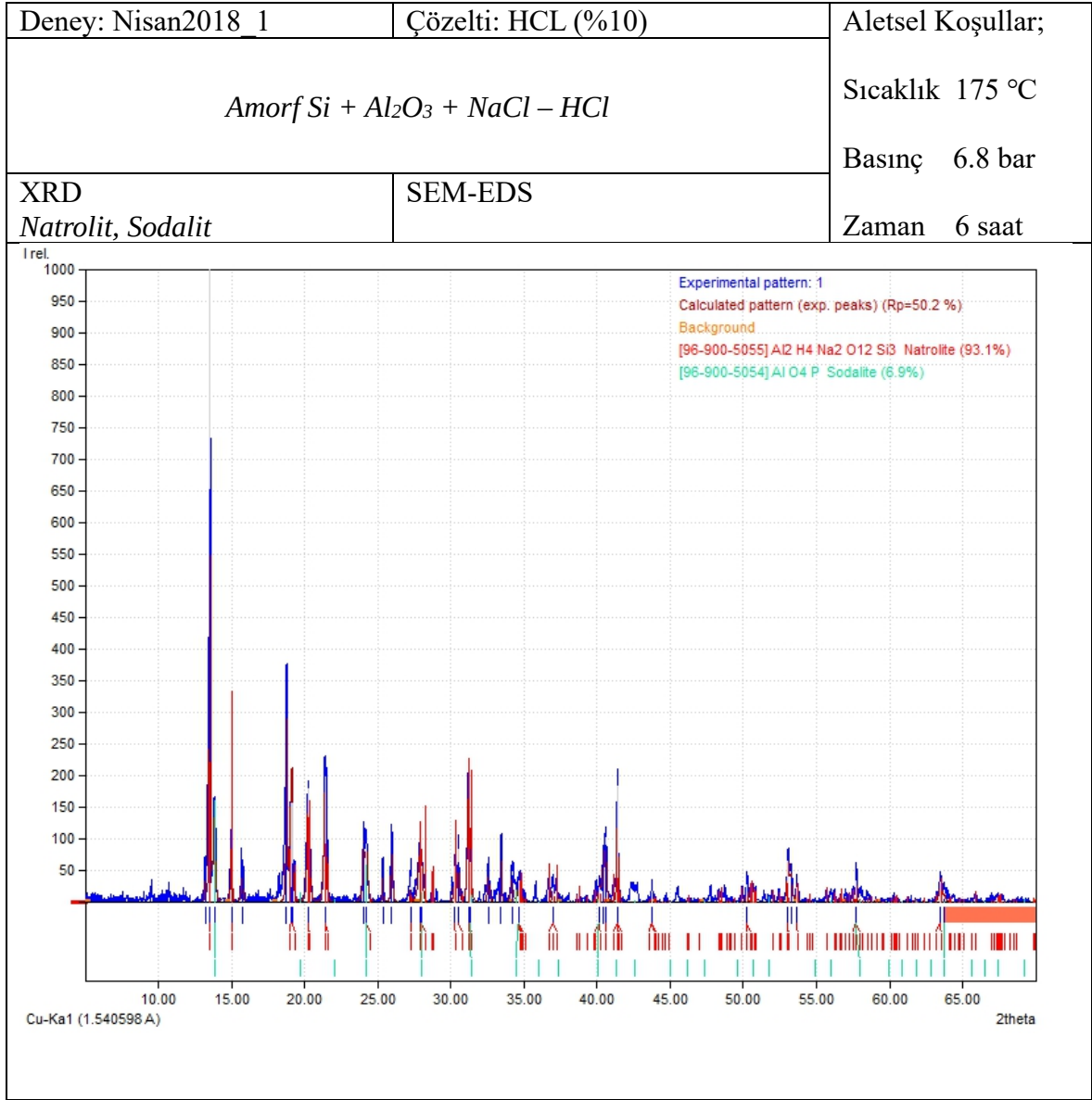


Ek_04 devamı.

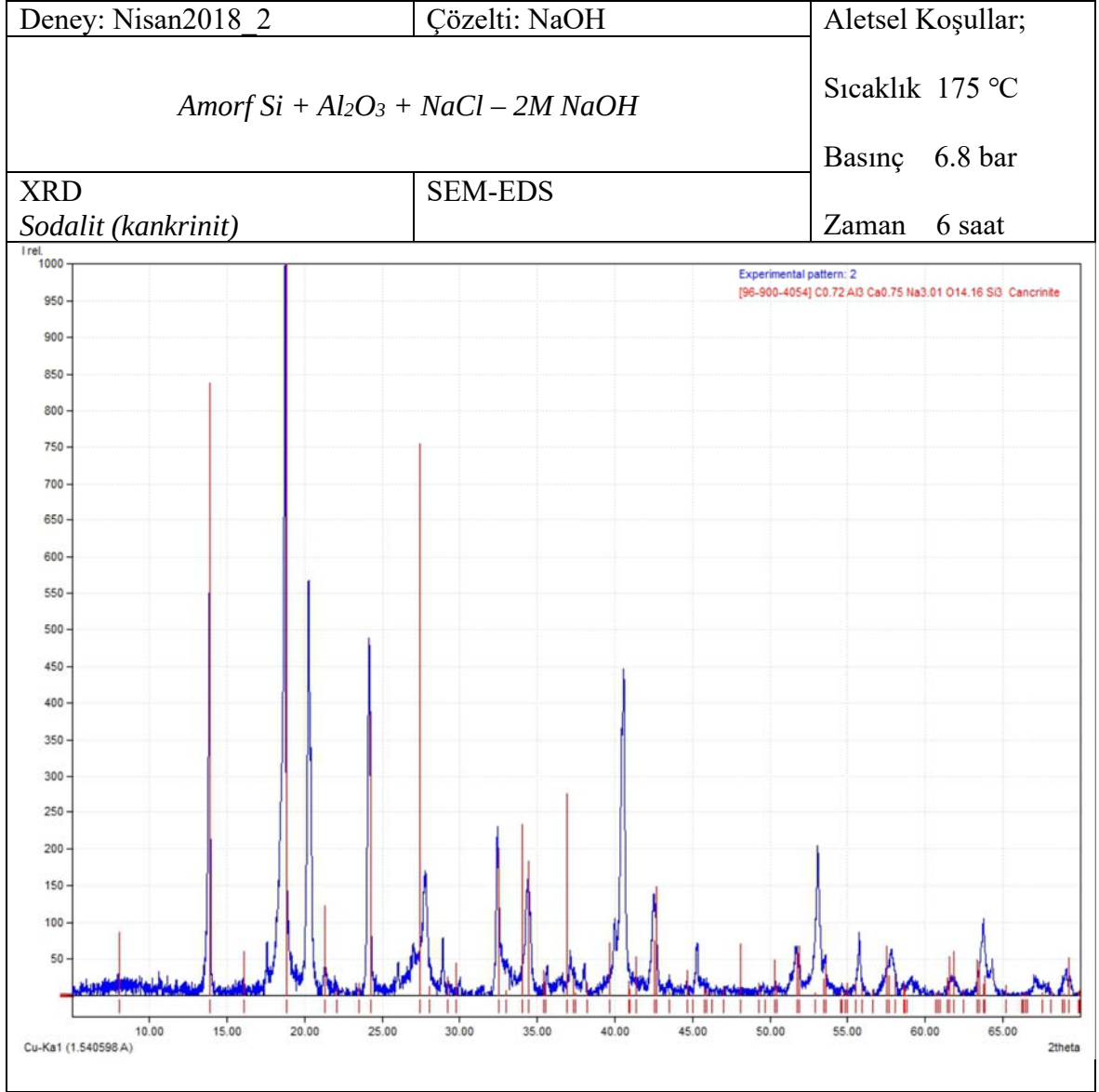
Deney: jura_aydin	Çözelti:	Aletsel Koşullar;
		Sıcaklık
		Basınç
XRD	SEM-EDS	Zaman



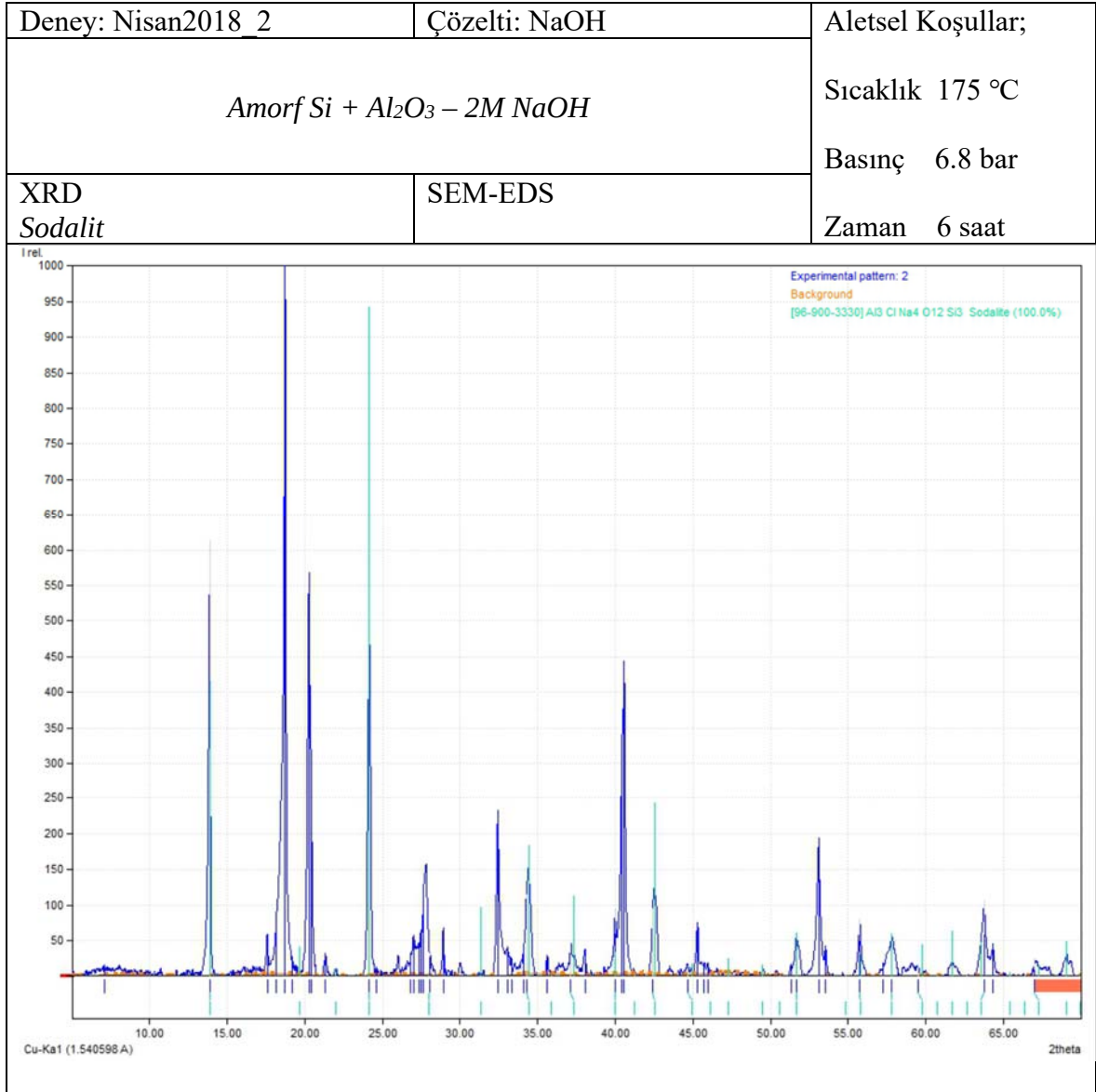
Ek_04 devamı.



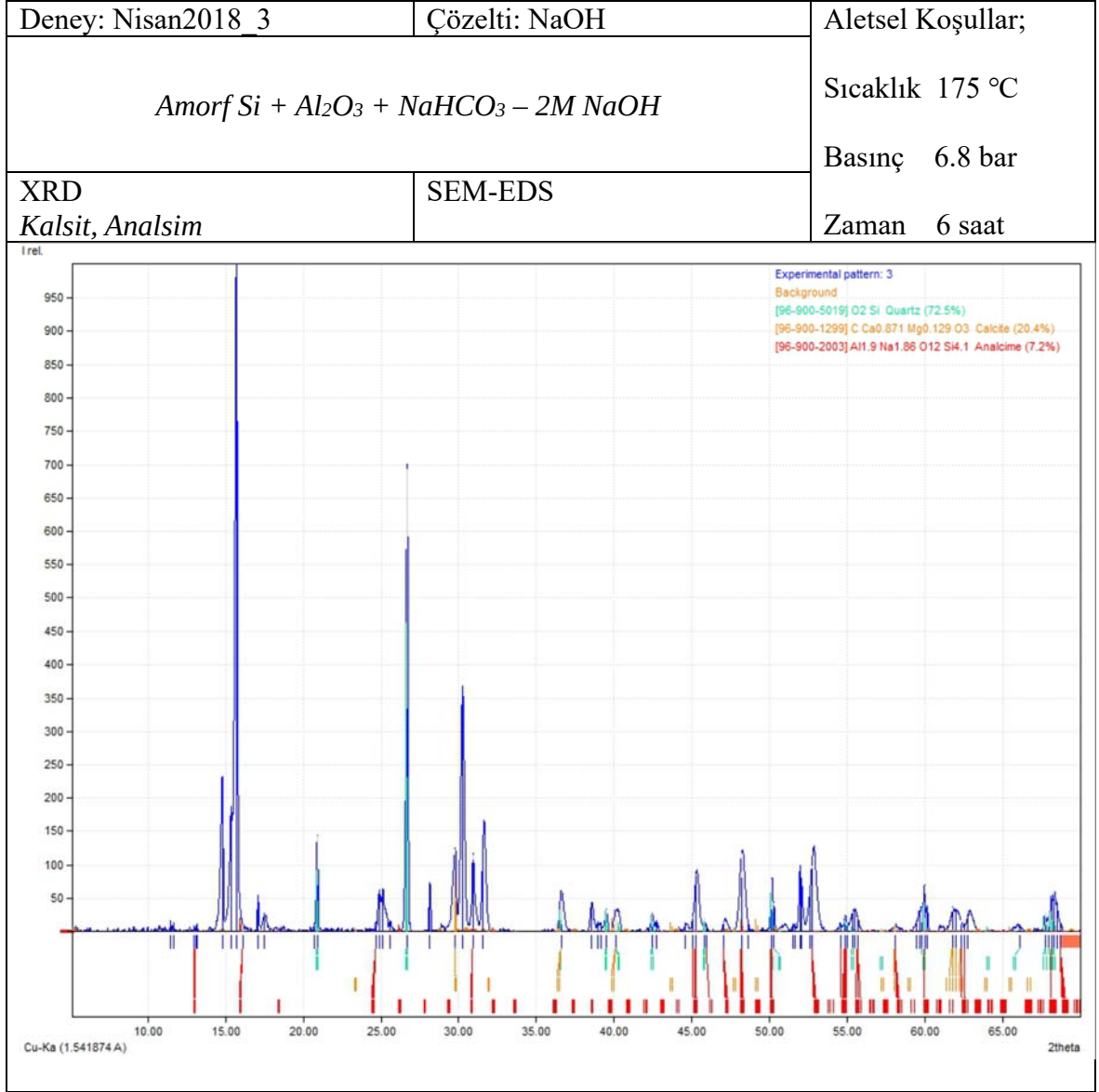
Ek_04 devamı.



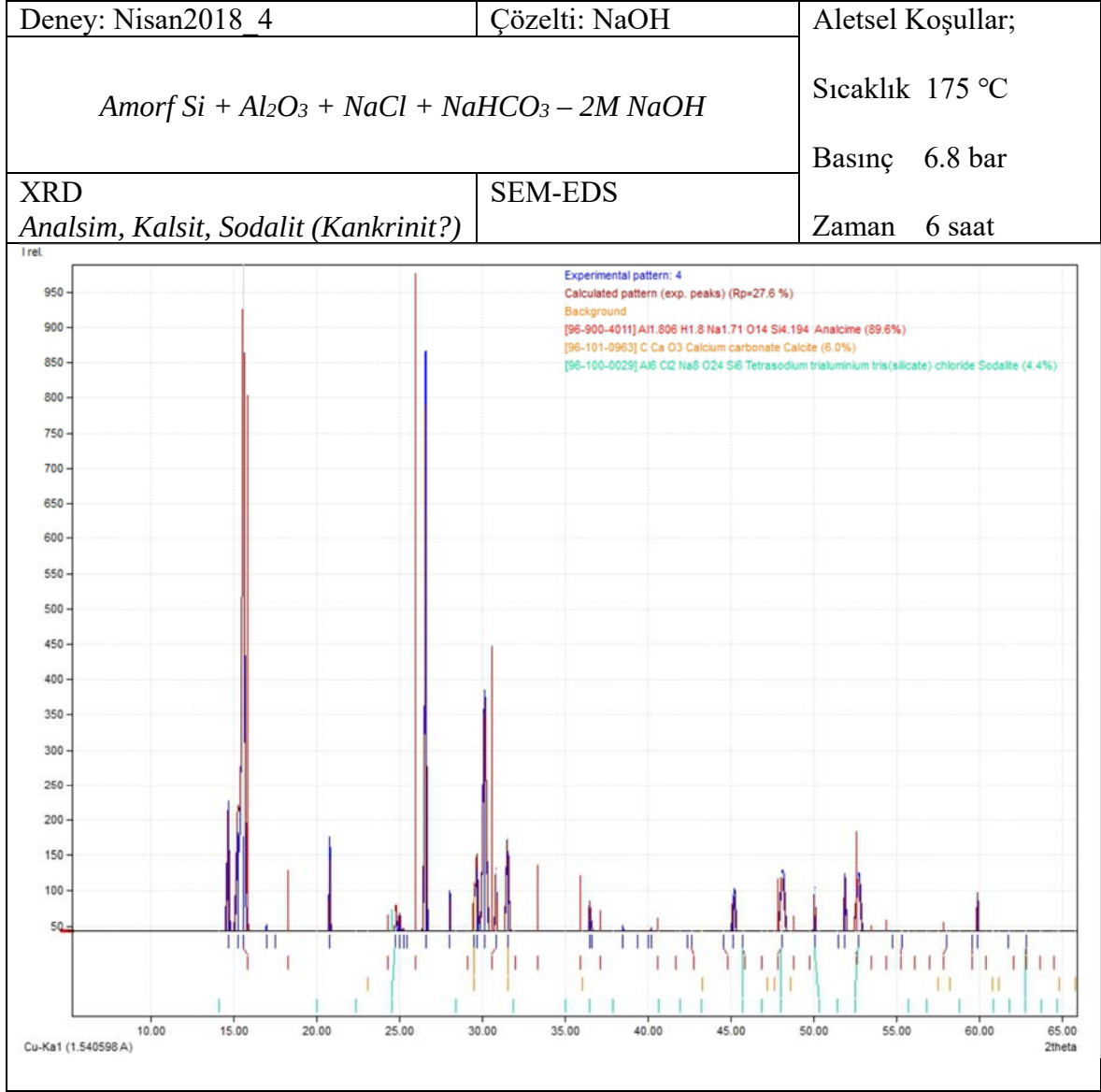
Ek_04 devamı.



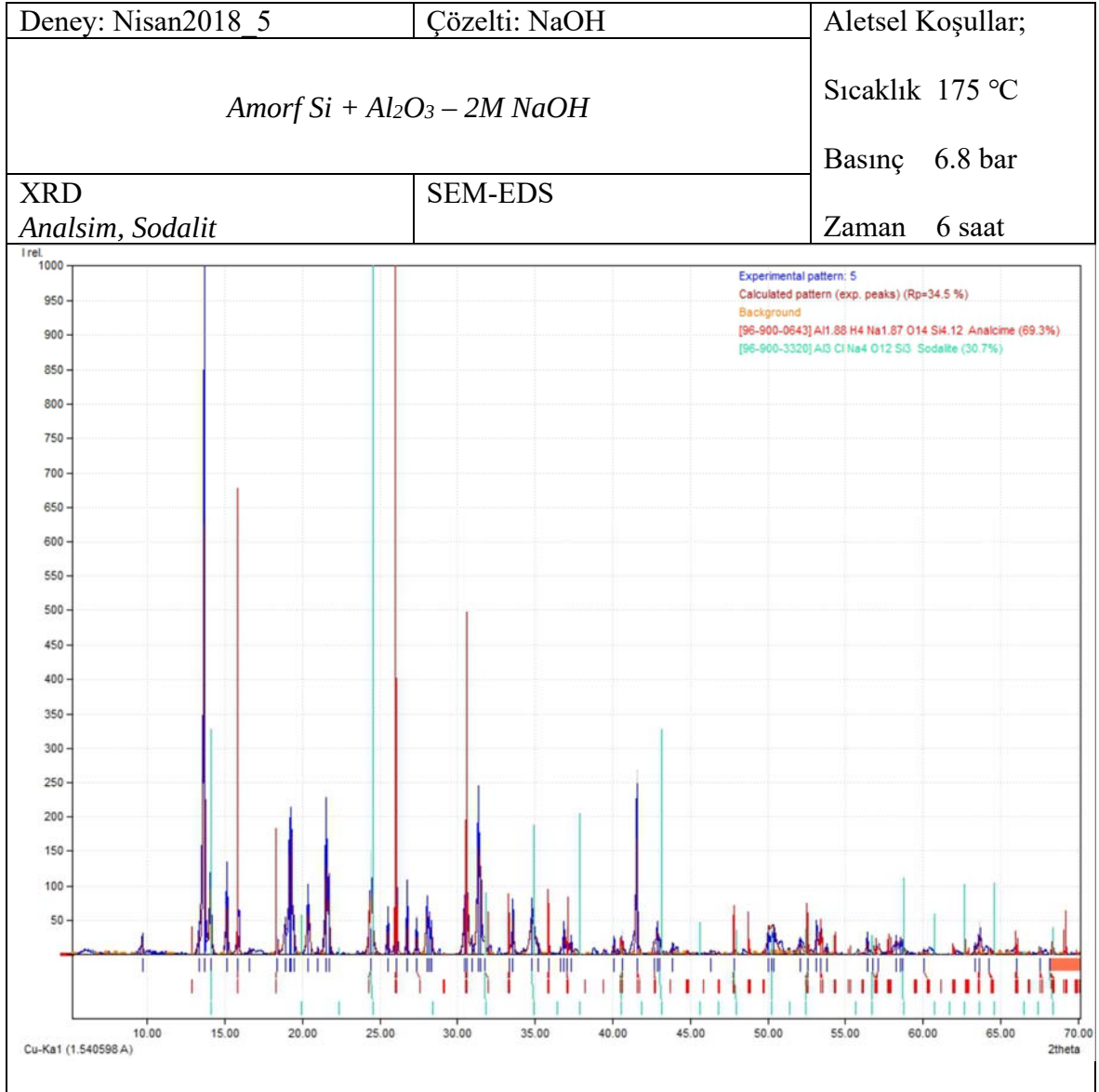
Ek_04 devamı.



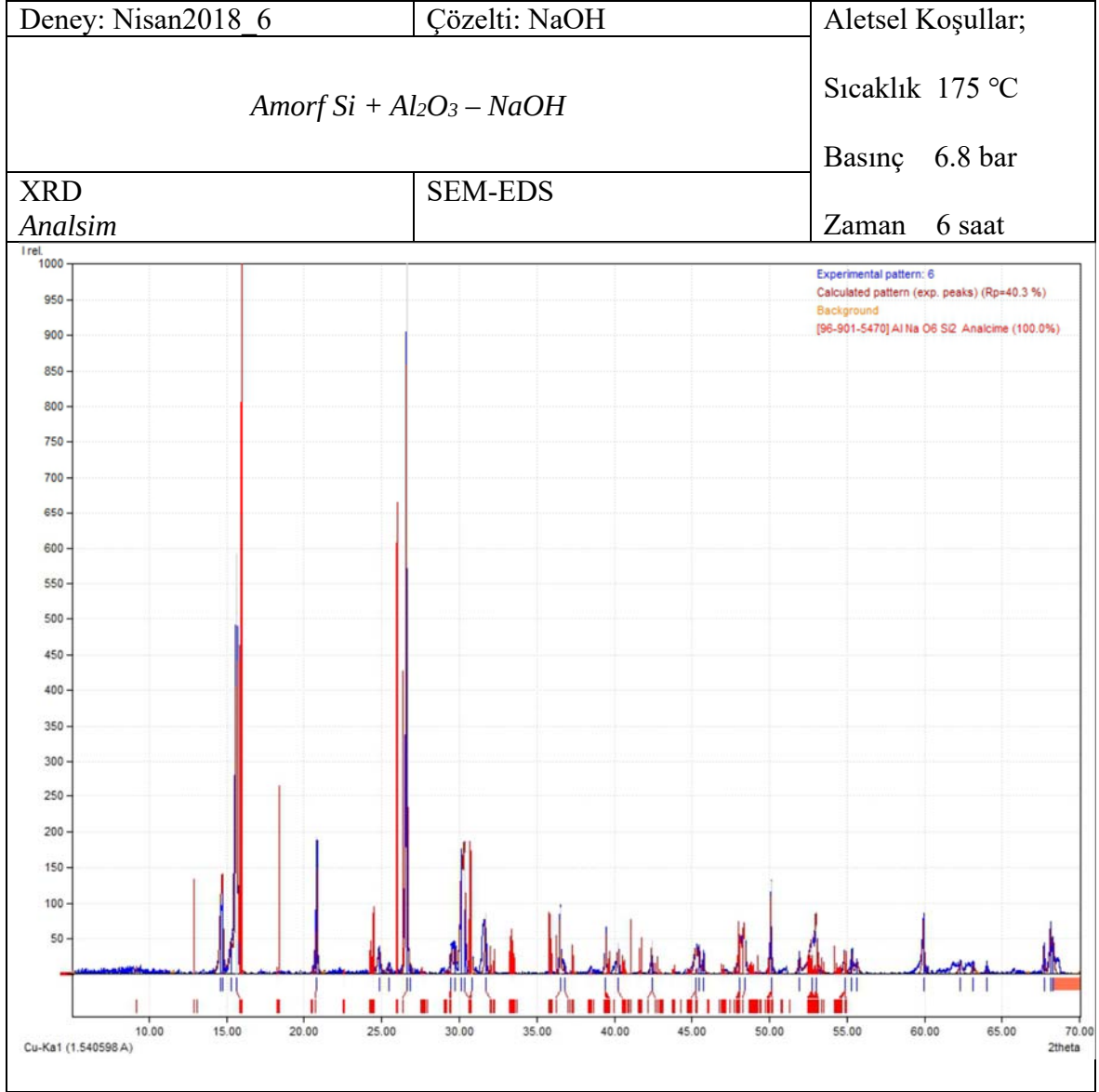
Ek_04 devamı.



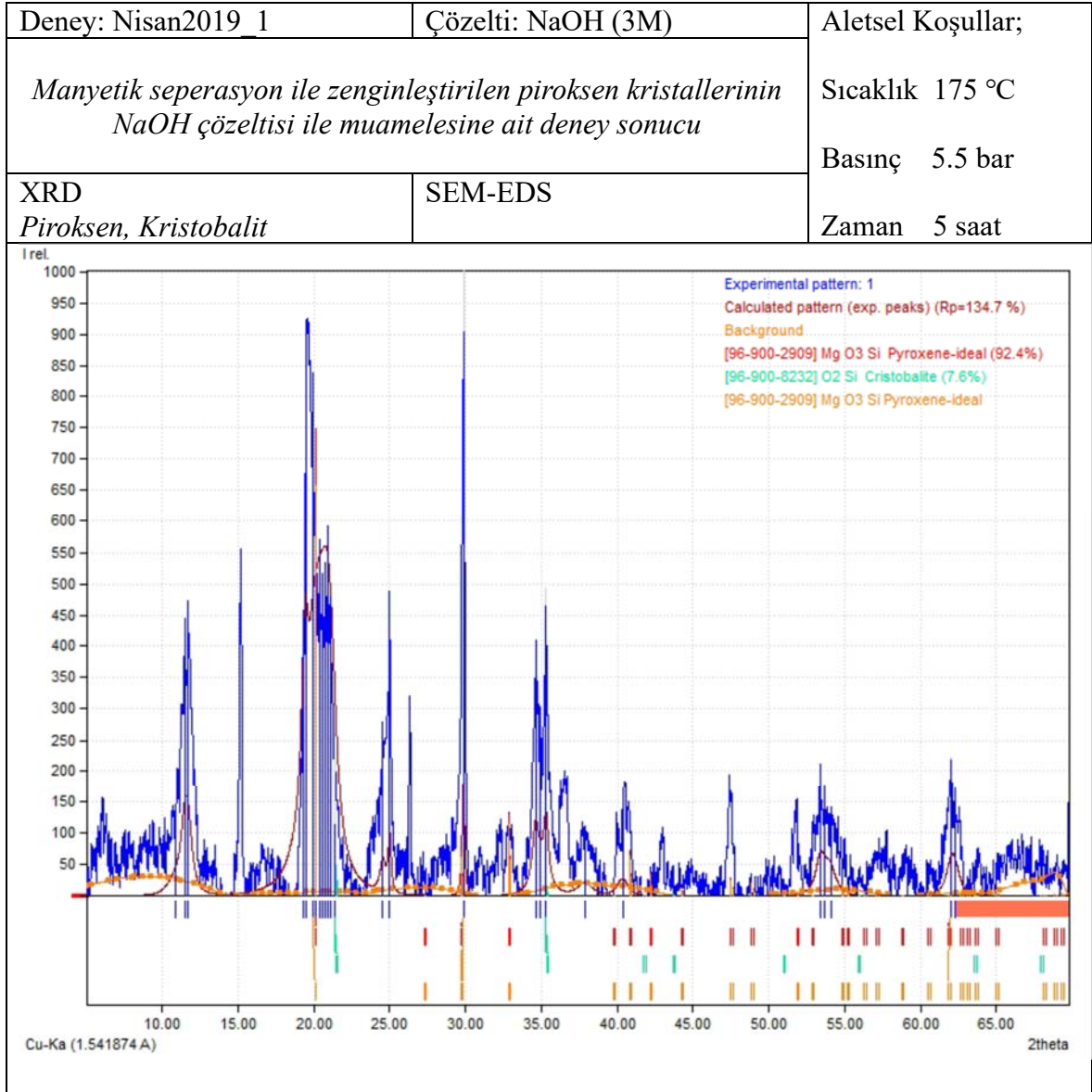
Ek_04 devamı.



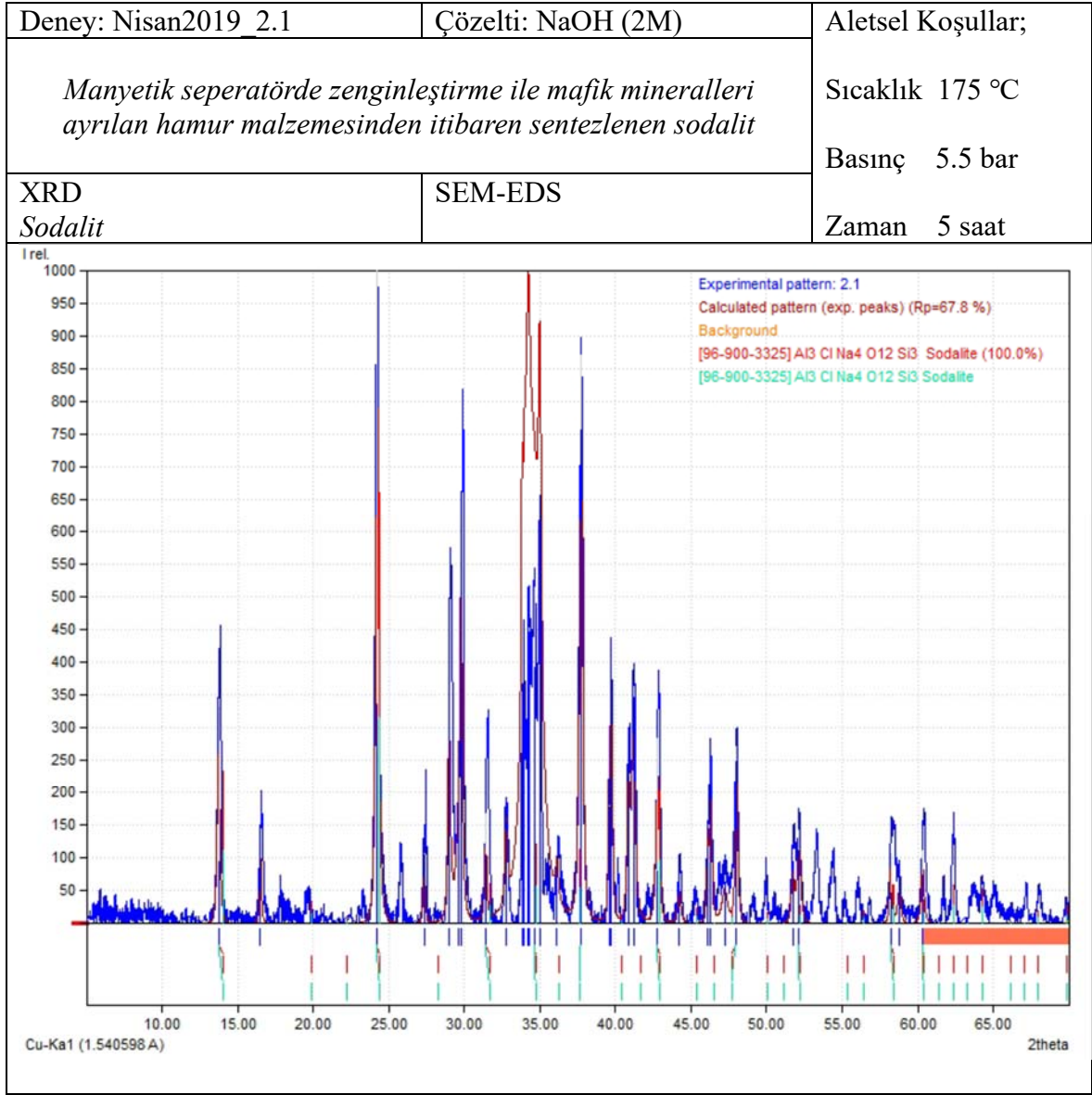
Ek_04 devamı.



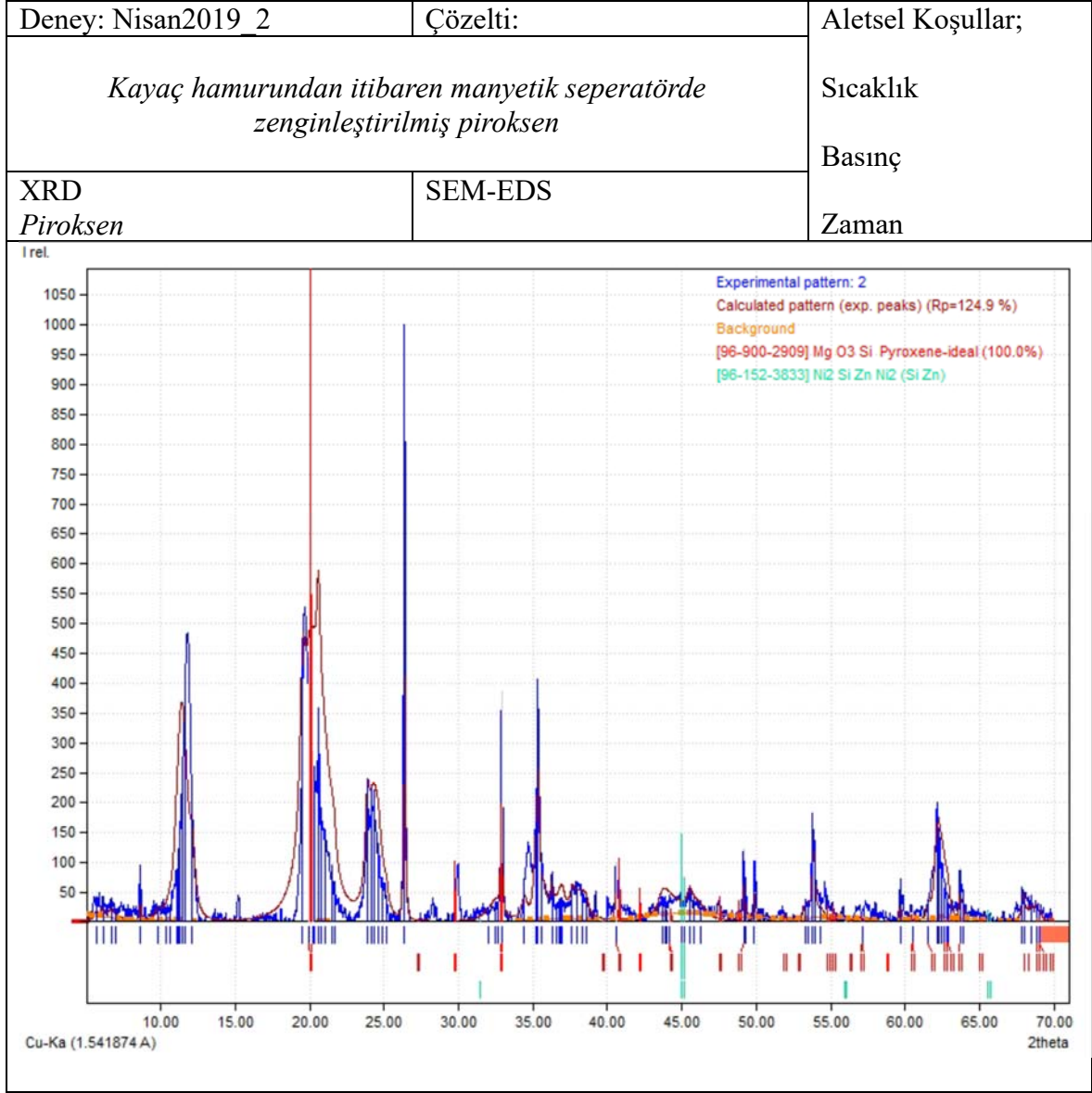
Ek_04 devamı.



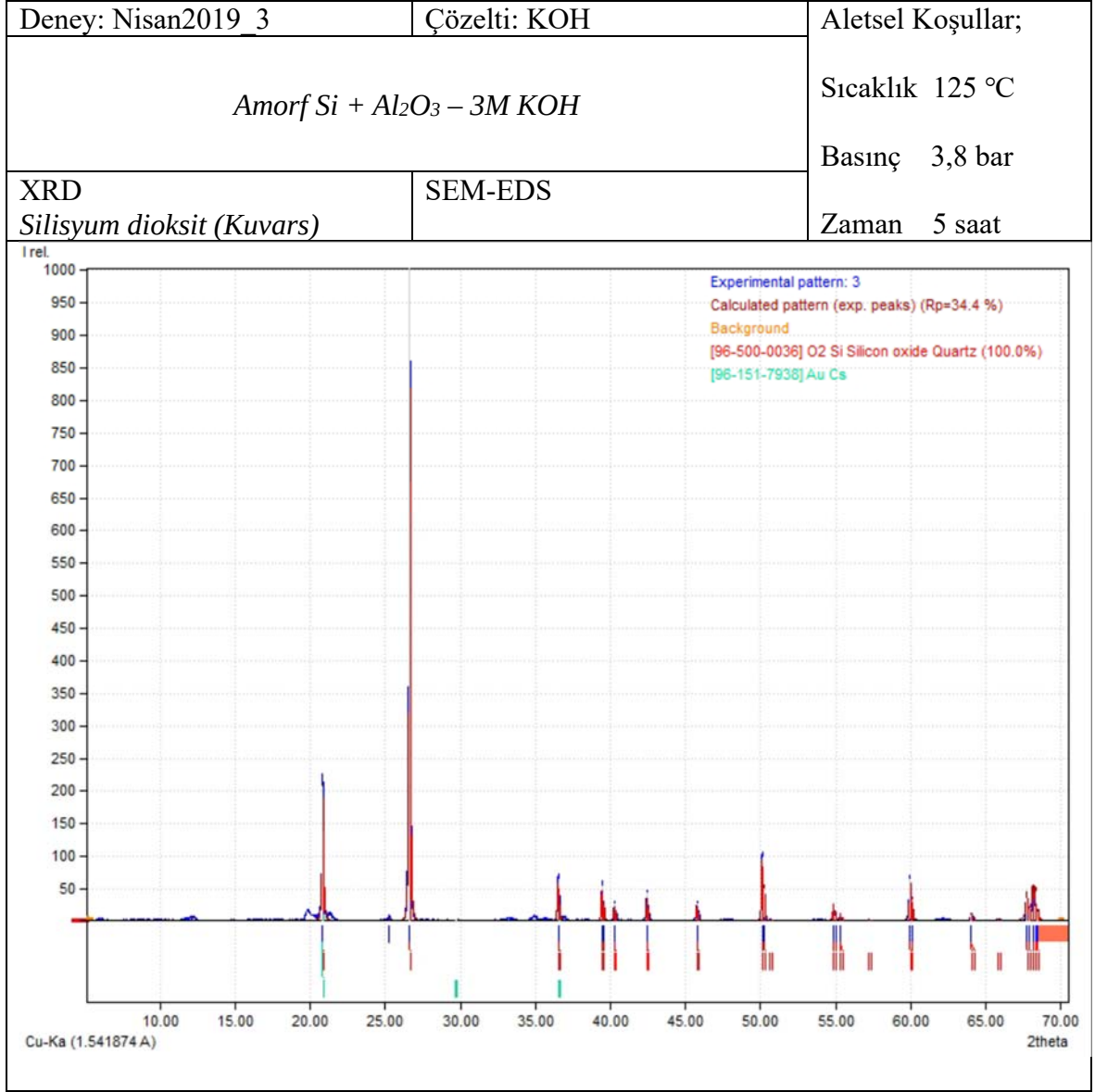
Ek_04 devamı.



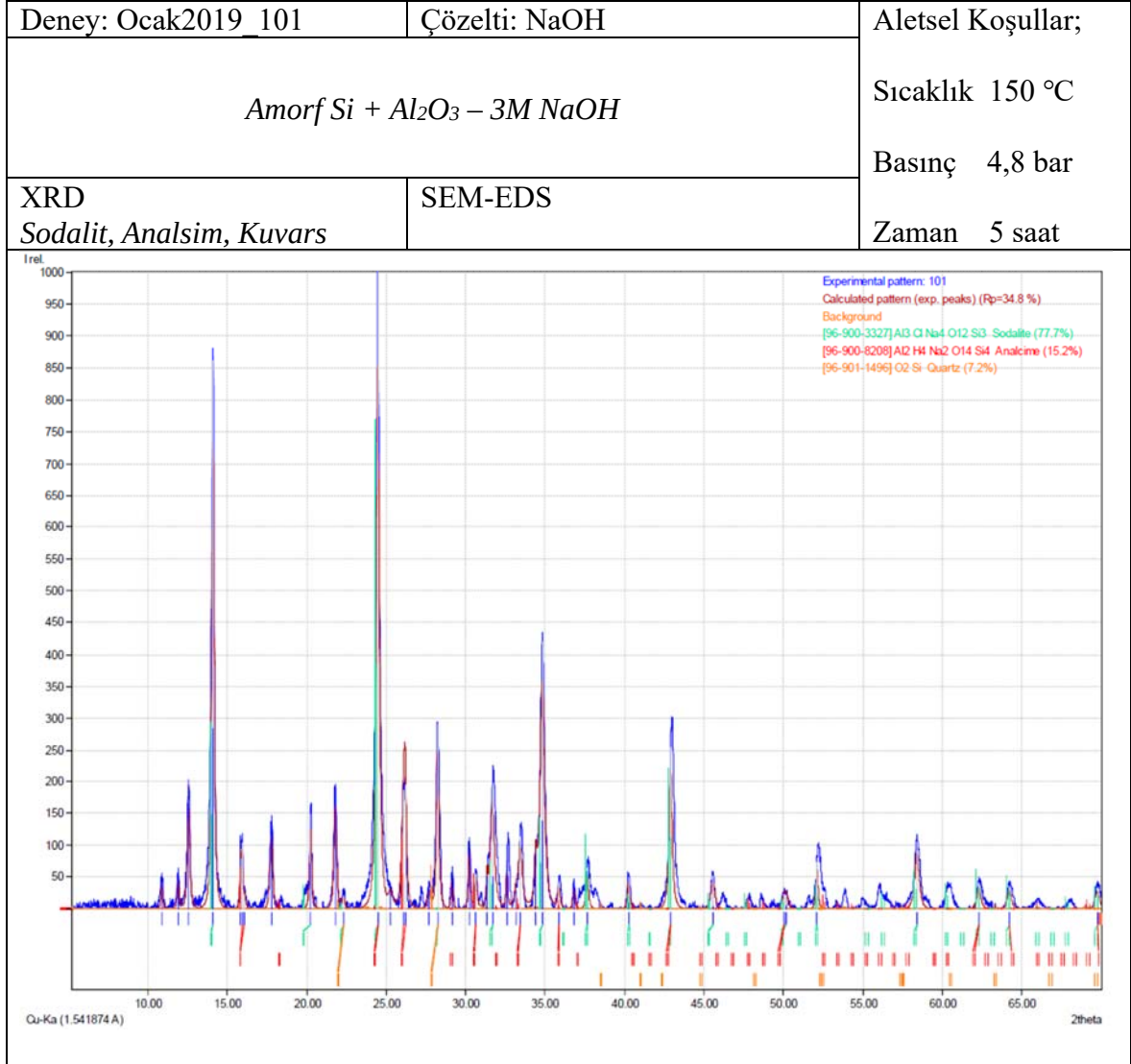
Ek_04 devamı.



Ek_04 devamı.

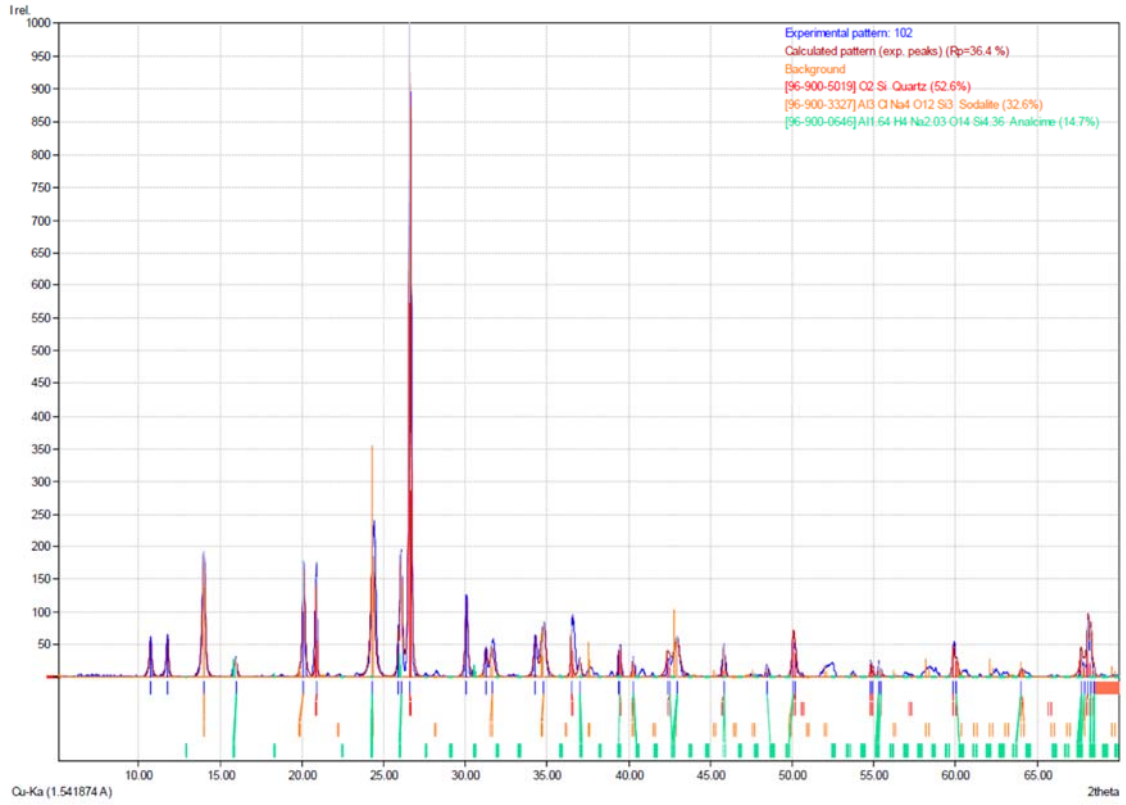


Ek_04 devamı.



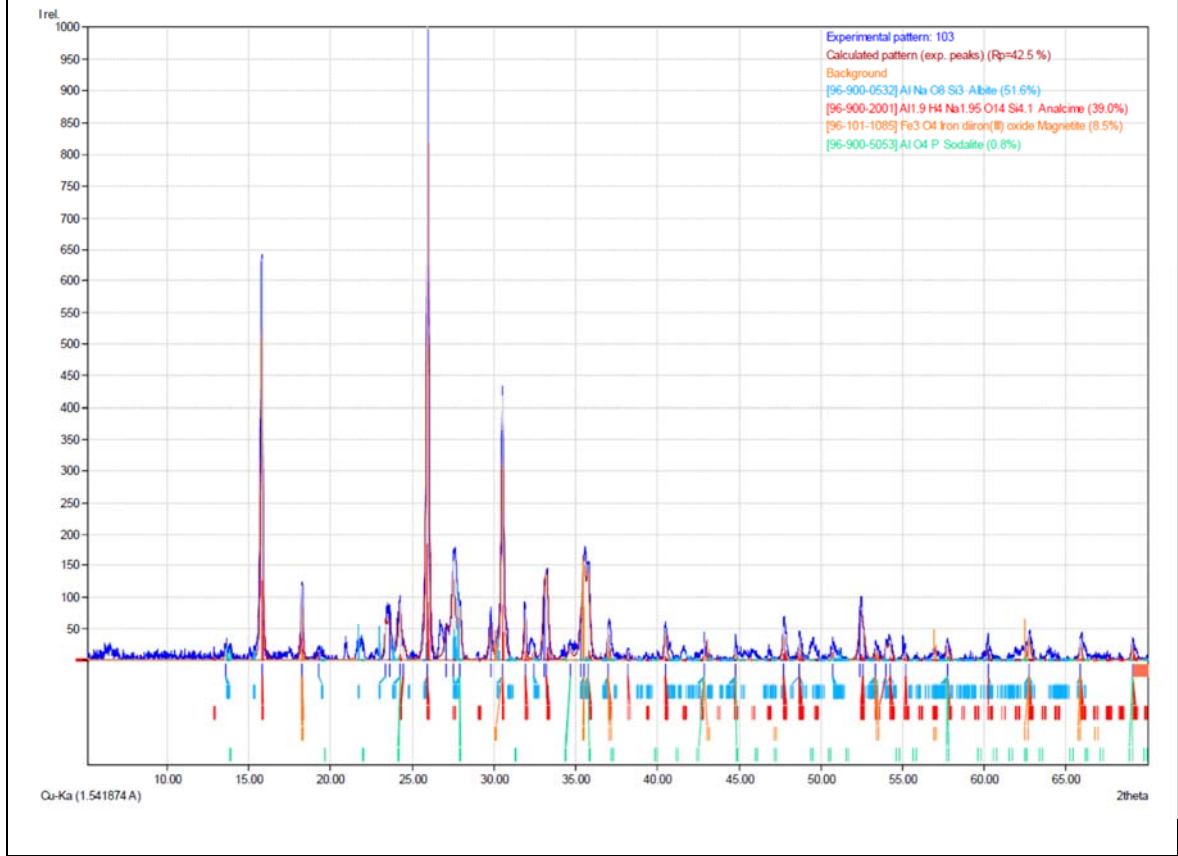
Ek_04 devamı.

Deney: Ocak2019_102	Çözelti: NaOH	Aletsel Koşullar; Sıcaklık 150 °C Basınç 4,8 bar Zaman 5 saat
<i>Kuvars + Al2O3 – 3M NaOH</i>		
XRD <i>Kuvars, Sodalit, Analsim</i>	SEM-EDS	



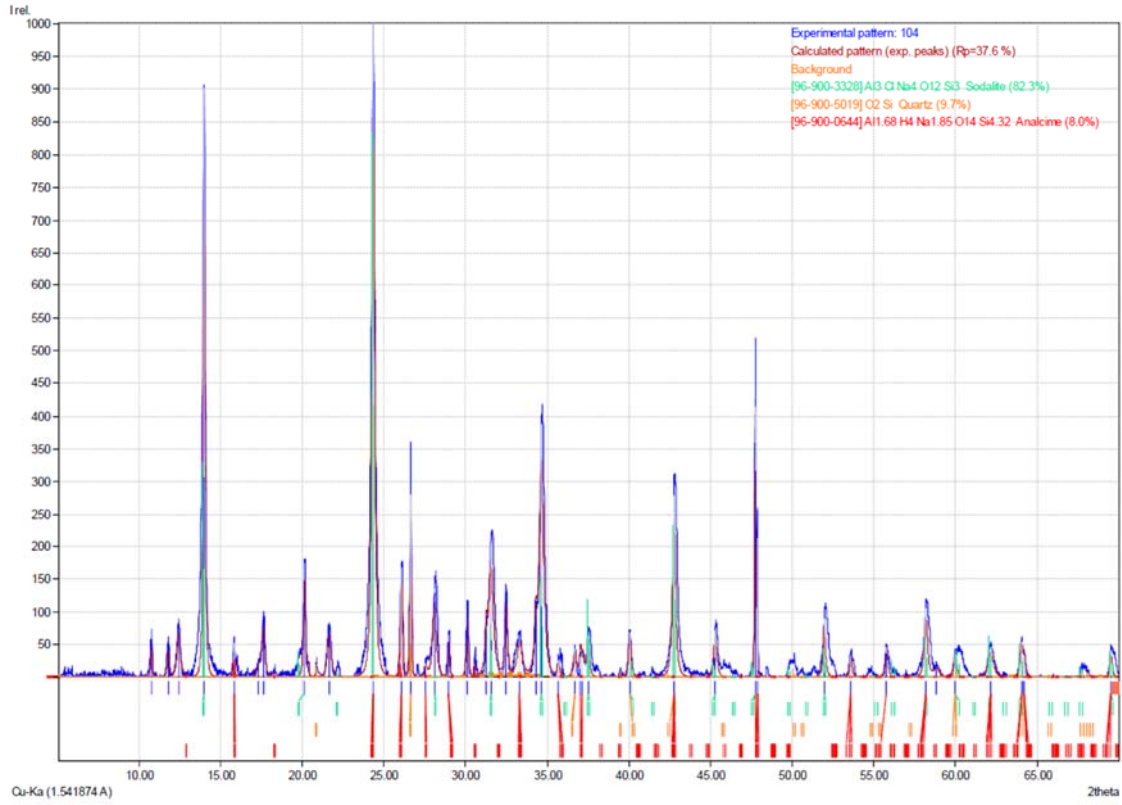
Ek_04 devamı.

Deney: Ocak2019_103	Çözelti: NaOH	Aletsel Koşullar; Sıcaklık 150°C Basınç 5.5 bar Zaman 5 saat
<i>Hamur Malzemesi (Si) + Al₂O₃ – 3M NaOH</i>		
XRD <i>Albit, Analsim, Sodalit</i>	SEM-EDS	



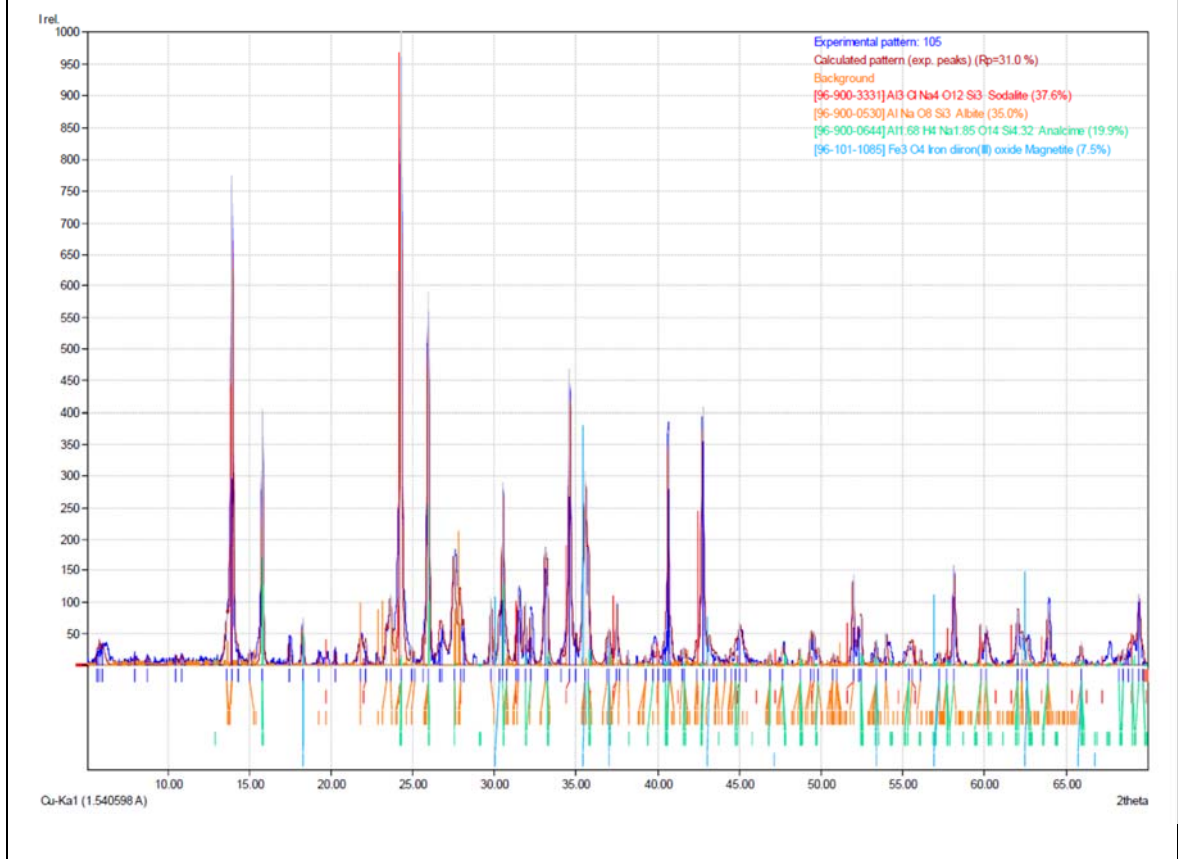
Ek_04 devamı.

Deney: Ocak2019_104	Çözelti: NaOH	Aletsel Koşullar; Sıcaklık 150 °C Basınç 5.5 bar Zaman 5 saat
<i>Amorf Si + Starter + Al₂O₃ – 3M NaOH</i>		
XRD <i>Sodalit, Kuvars, Analsim</i>	SEM-EDS	



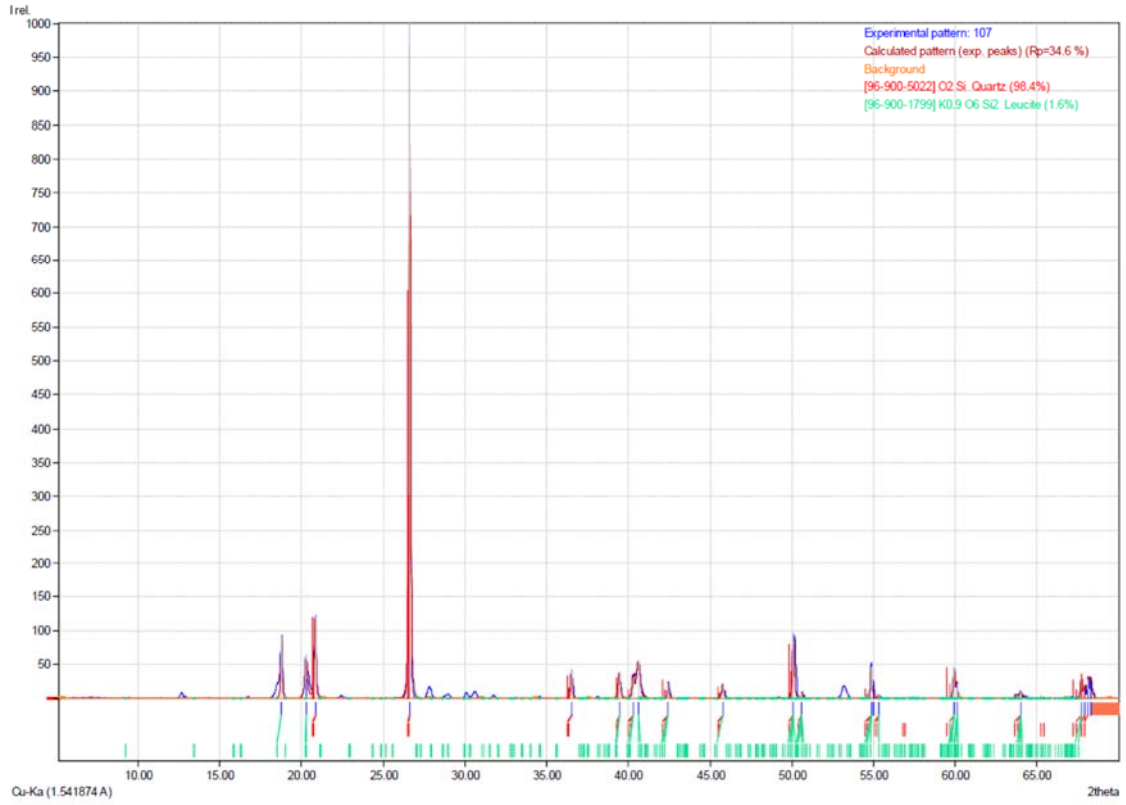
Ek_04 devamı.

Deney: Ocak2019_105	Çözelti: NaOH	Aletsel Koşullar; Sıcaklık 150 °C Basınç 5 bar Zaman 5 saat
<i>Hamur Malzemesi (Si) + Al₂O₃ – 3M NaOH</i>		
XRD <i>Sodalit, Albit, Analsim</i>	SEM-EDS	

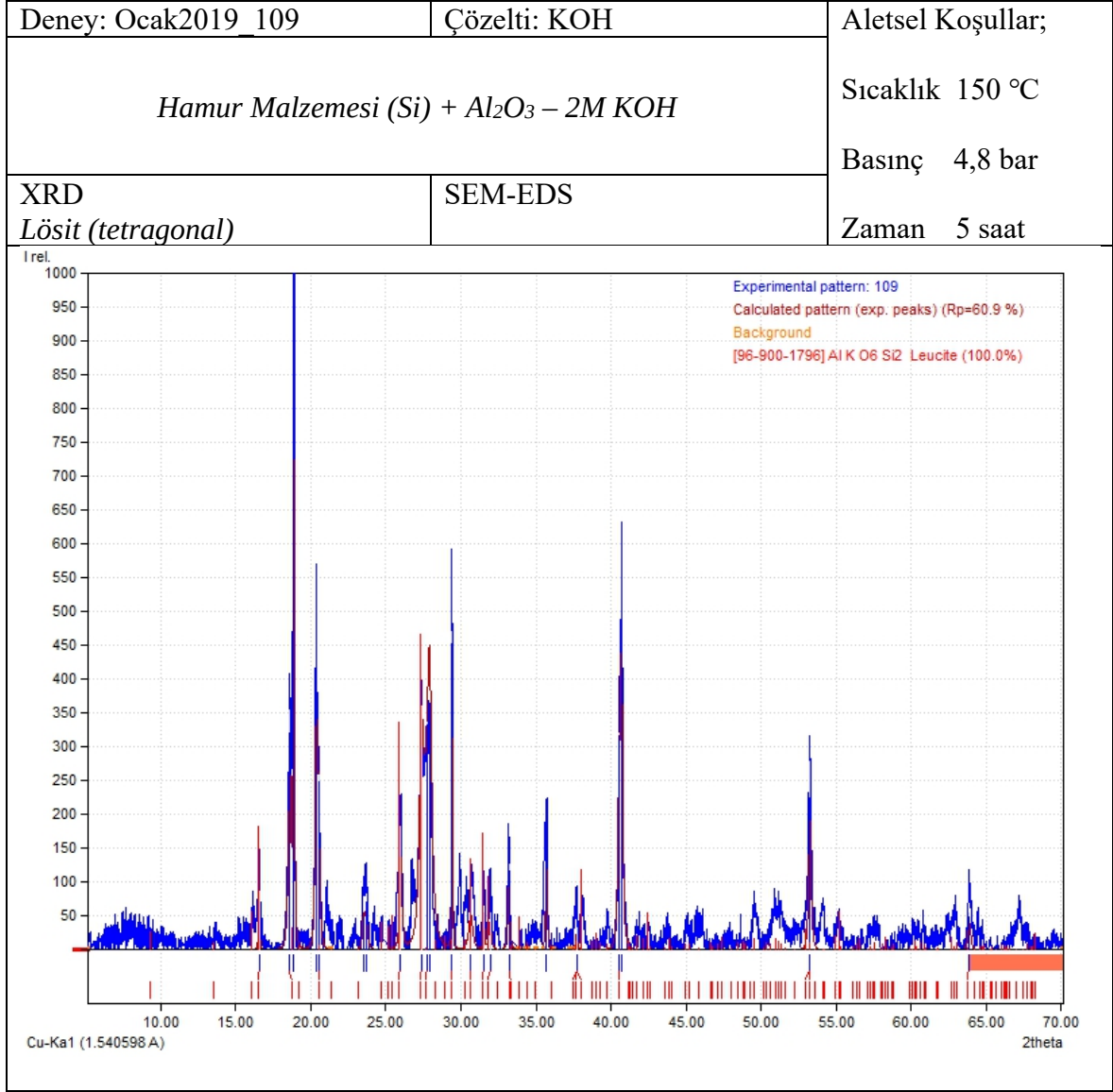


Ek_04 devamı.

Deney: Ocak2019_107	Çözelti: KOH	Aletsel Koşullar; Sıcaklık 150 °C Basınç 4,8 bar Zaman 5 saat
<i>Kuvars + Al₂O₃ – 2M KOH</i>		
XRD <i>Kuvars, Lössit</i>	SEM-EDS	

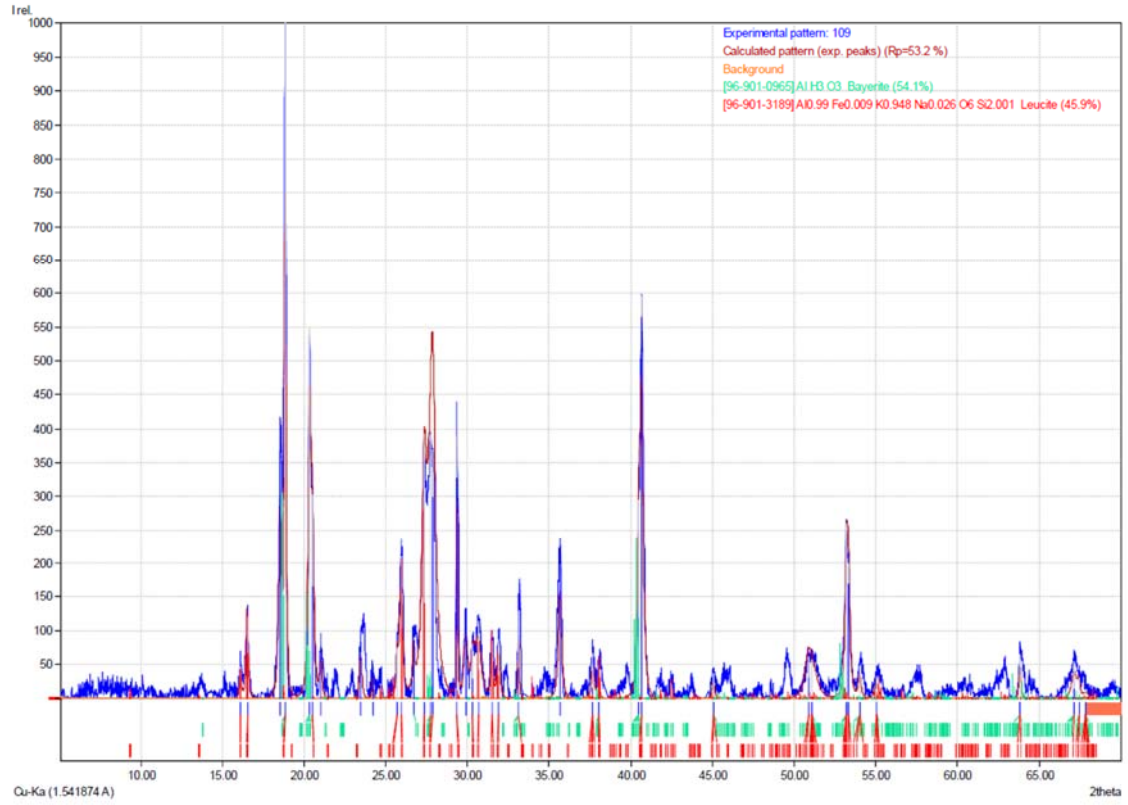


Ek_04 devamı.



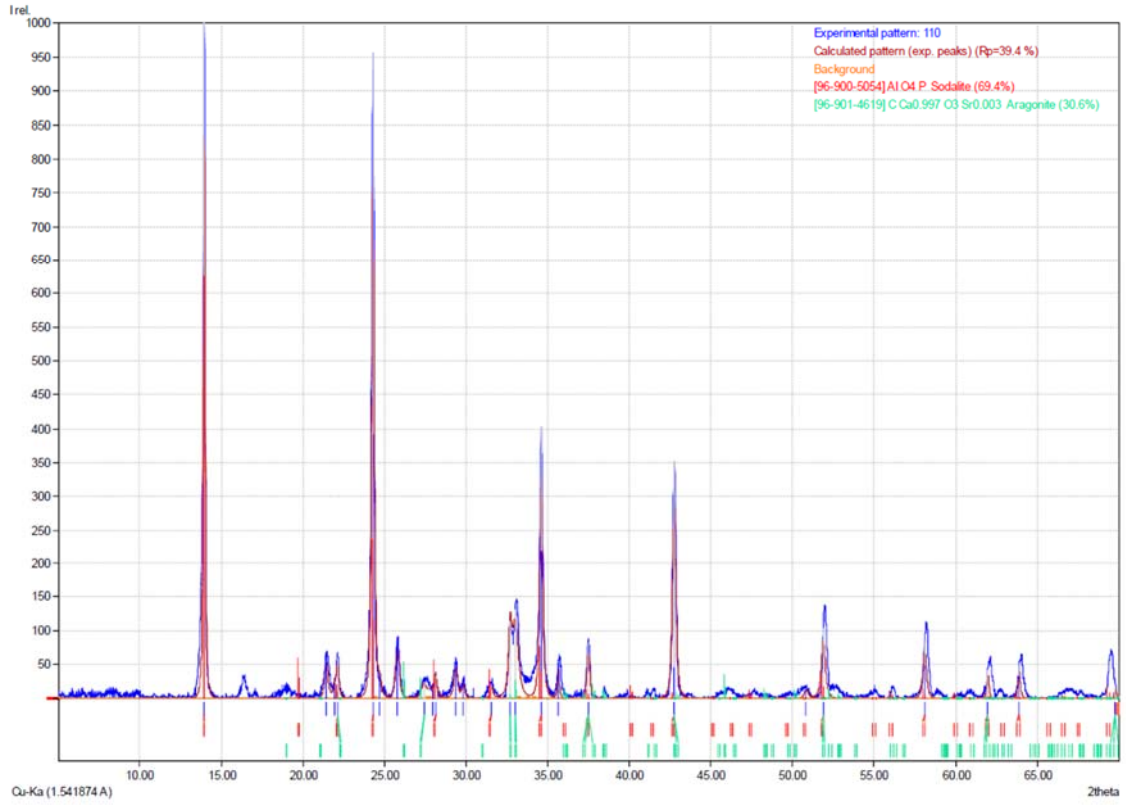
Ek_04 devamı.

Deney: Ocak2019_109	Çözelti: KOH	Aletsel Koşullar; Sıcaklık 150 °C Basınç 7 bar Zaman 5 saat
<i>Amorf Si + Al₂O₃ – 2M KOH</i>		
XRD <i>Lösit, Bayerit</i>	SEM-EDS	



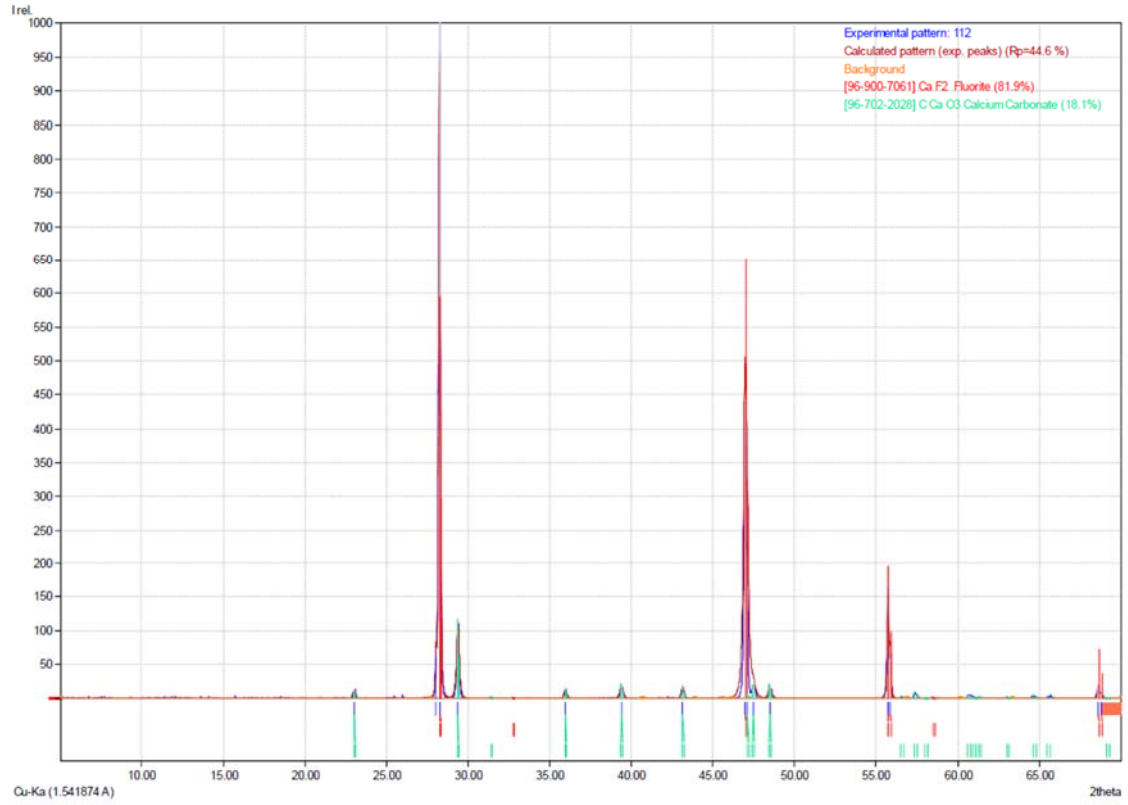
Ek_04 devamı.

Deney: Ocak2019_110	Çözelti: NaOH	Aletsel Koşullar; Sıcaklık 175 °C Basınç 35 bar Zaman 5 saat
$Amorf Si + Al_2O_3 + CaF_2 + NaHCO_3 - 3M NaOH$		
XRD	SEM-EDS	
<i>Sodalit, Aragonit</i>		



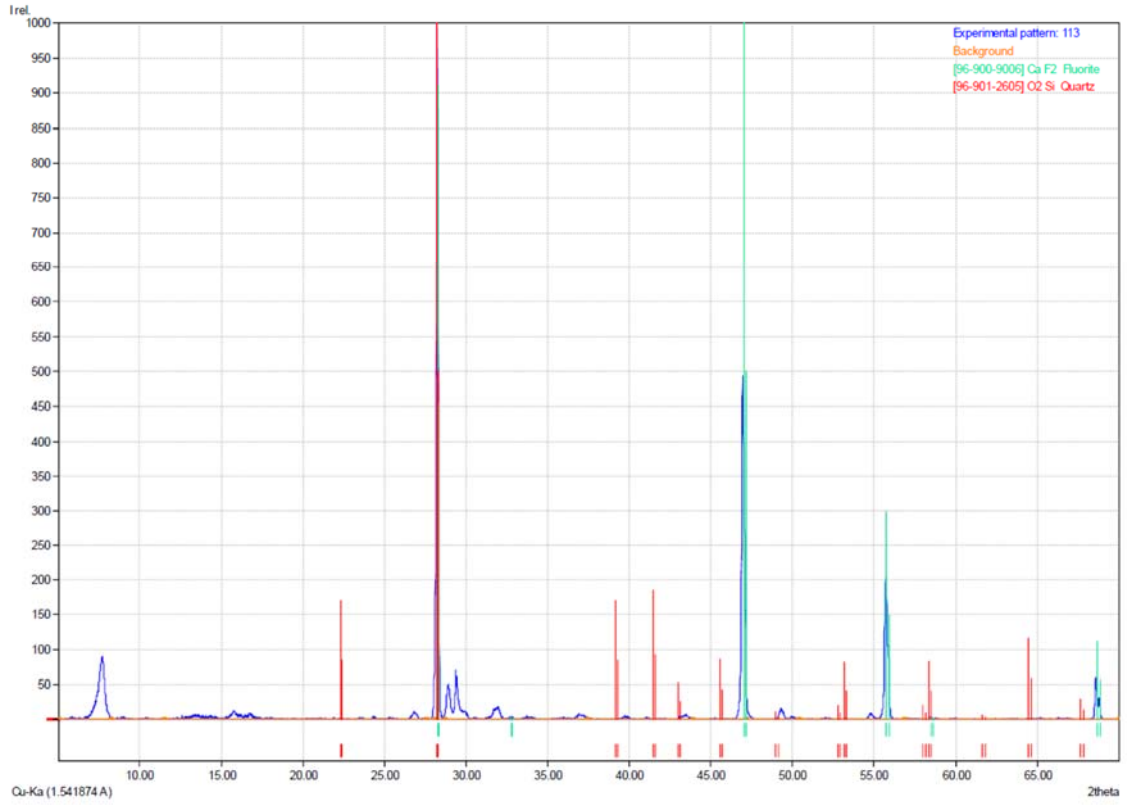
Ek_04 devamı.

Deney: Ocak2019_112	Çözelti: NaOH	Aletsel Koşullar; Sıcaklık 175 °C Basınç 35 bar Zaman 5 saat
$NaHCO_3 + CaF_2 - 3M NaOH$		
XRD <i>Florit, Kalsiyum karbonat</i>	SEM-EDS	



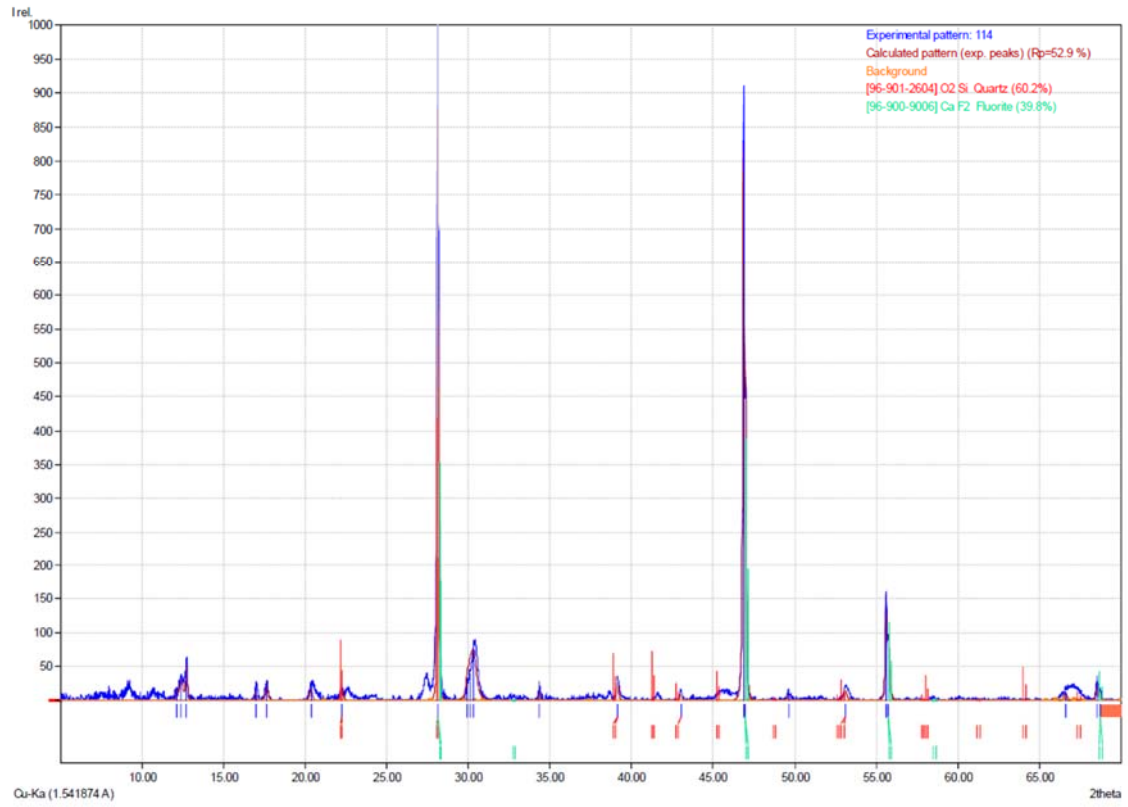
Ek_04 devamı.

Deney: Ocak2019_113	Çözelti: KOH	Aletsel Koşullar; Sıcaklık 175 °C Basınç 35 bar Zaman 5 saat
$Amorf Si + Al_2O_3 + CaF_2 - 3M KOH$		
XRD <i>Florit, Kuvars</i>	SEM-EDS	



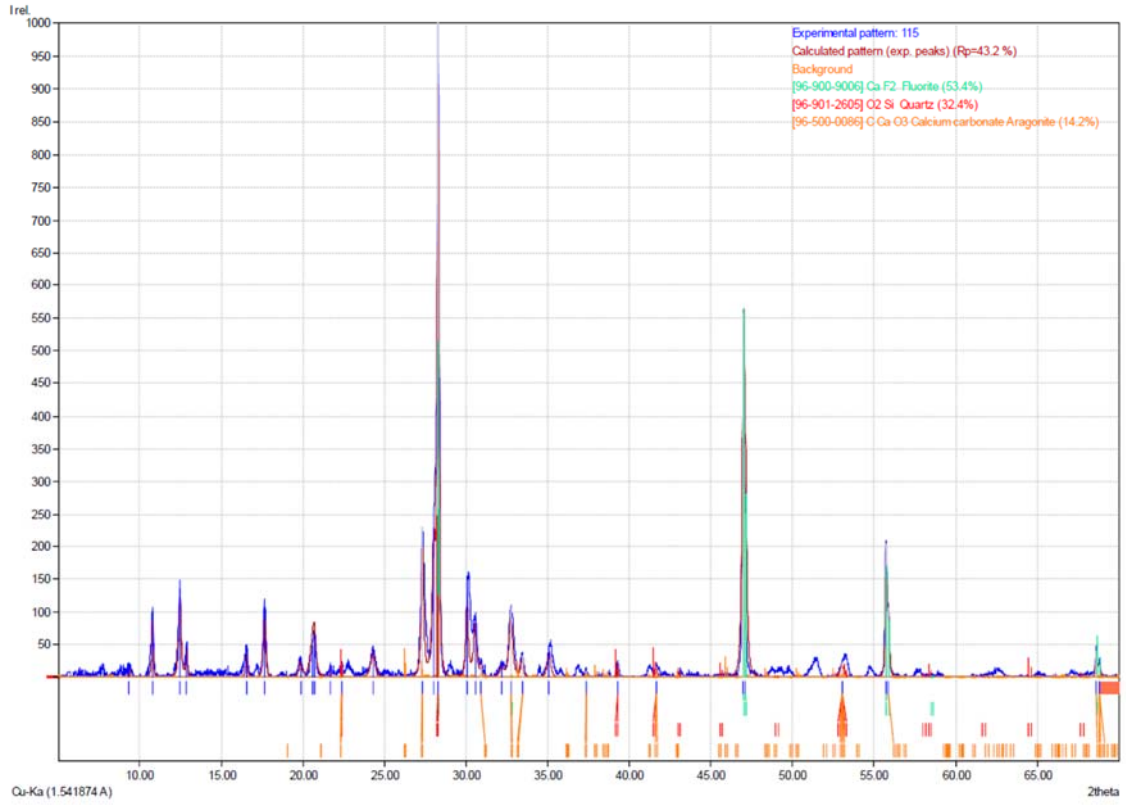
Ek_04 devamı.

Deney: Ocak2019_114	Çözelti: KOH	Aletsel Koşullar; Sıcaklık 175 °C Basınç 35 bar Zaman 5 saat
<i>Amorf Si + Al2O3 + CaF2 – 2M KOH</i>		
XRD	SEM-EDS	

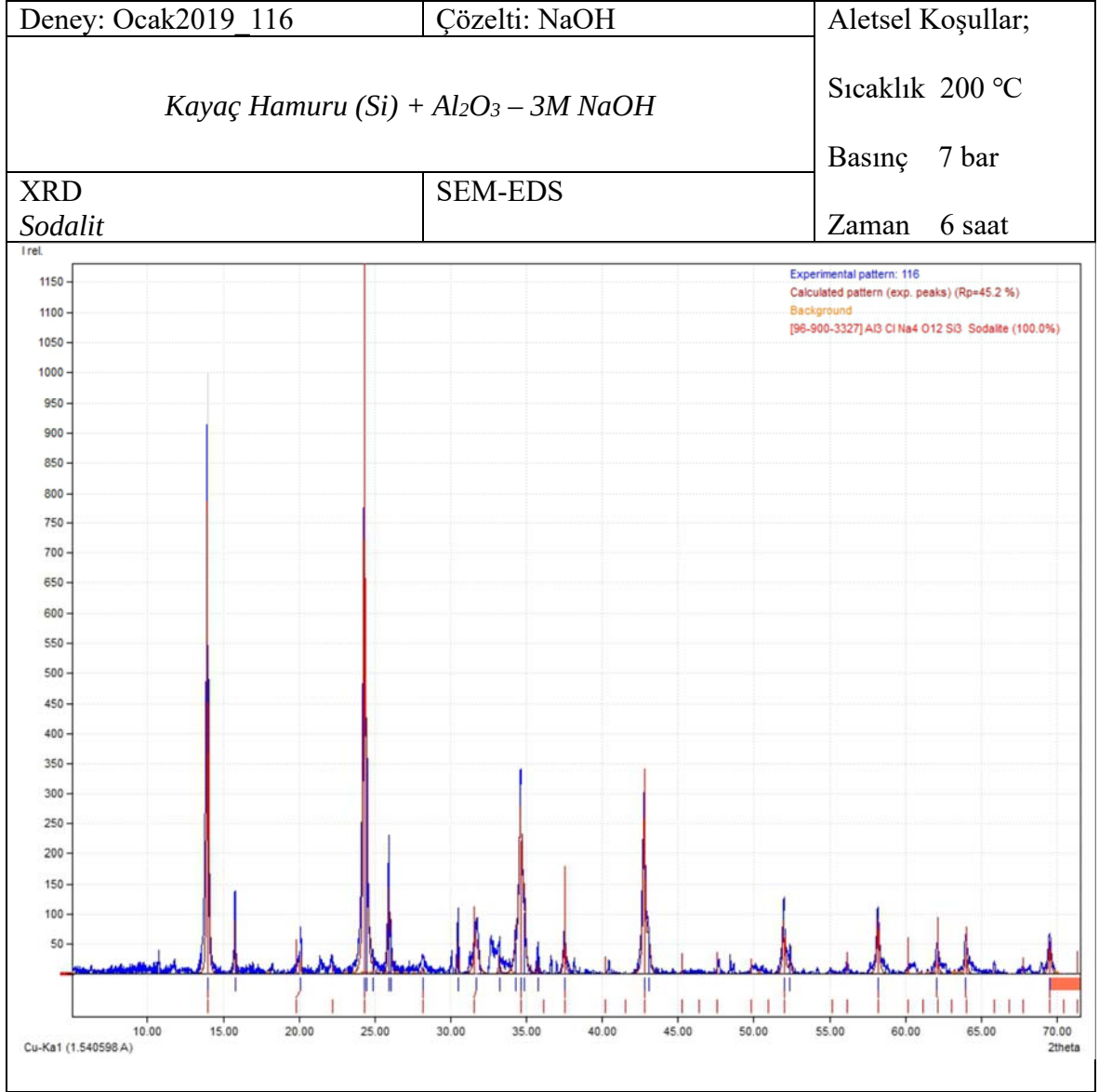


Ek_04 devamı.

Deney: Ocak2019_115	Çözelti: KOH	Aletsel Koşullar; Sıcaklık 175 °C Basınç 30 bar Zaman 5 saat
$Amorf\ Si + Al_2O_3 + CaF_2 - 2M\ KOH$		
XRD	SEM-EDS	
<i>Florit, Kuvars, Aragonit</i>		

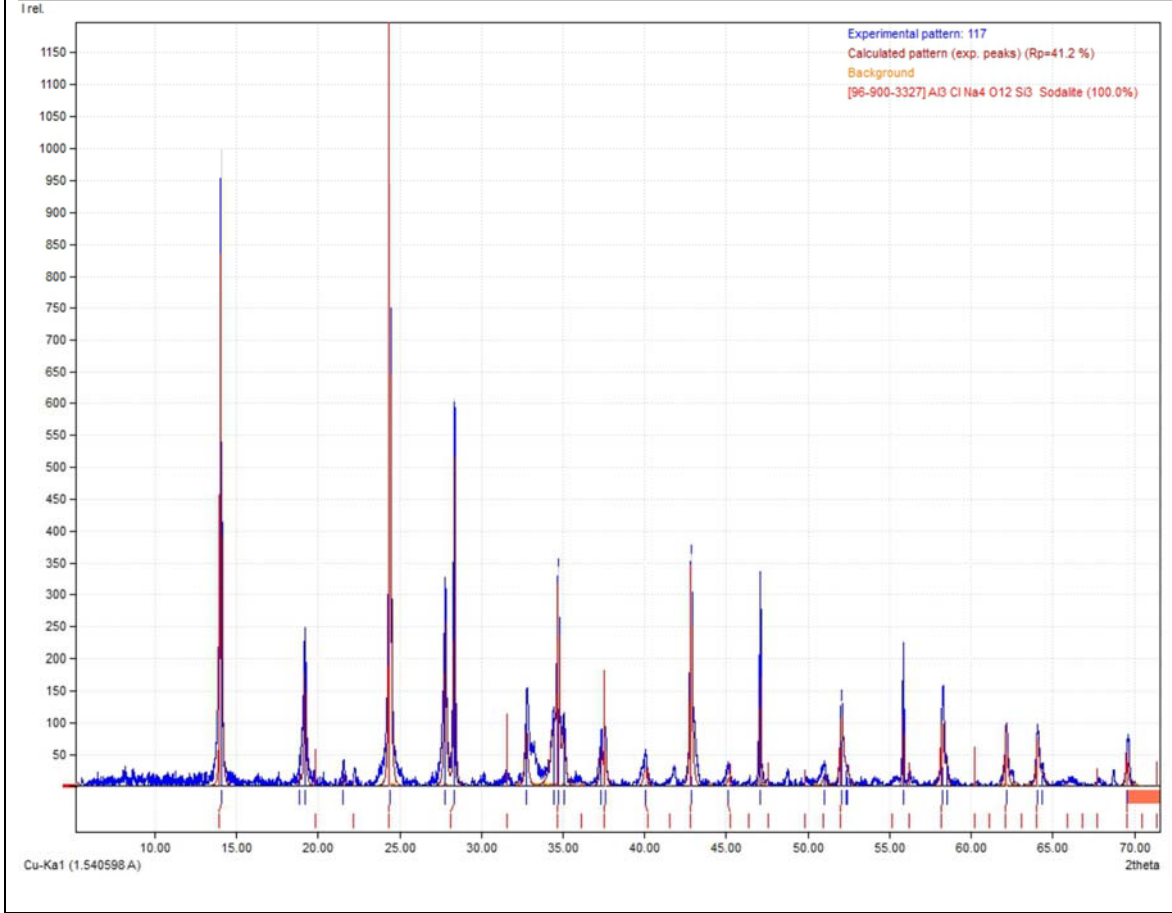


Ek_04 devamı.

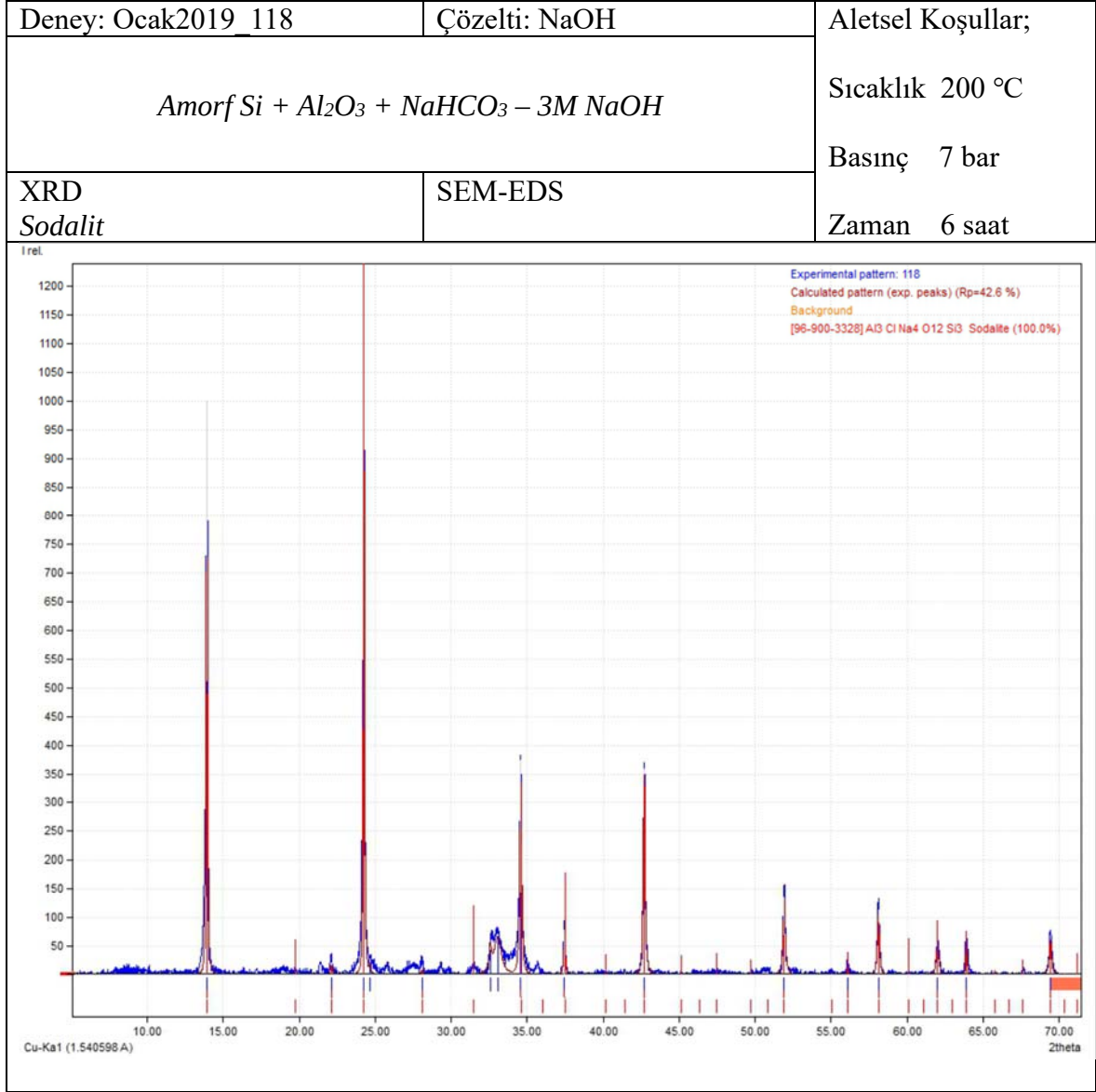


Ek_04 devamı.

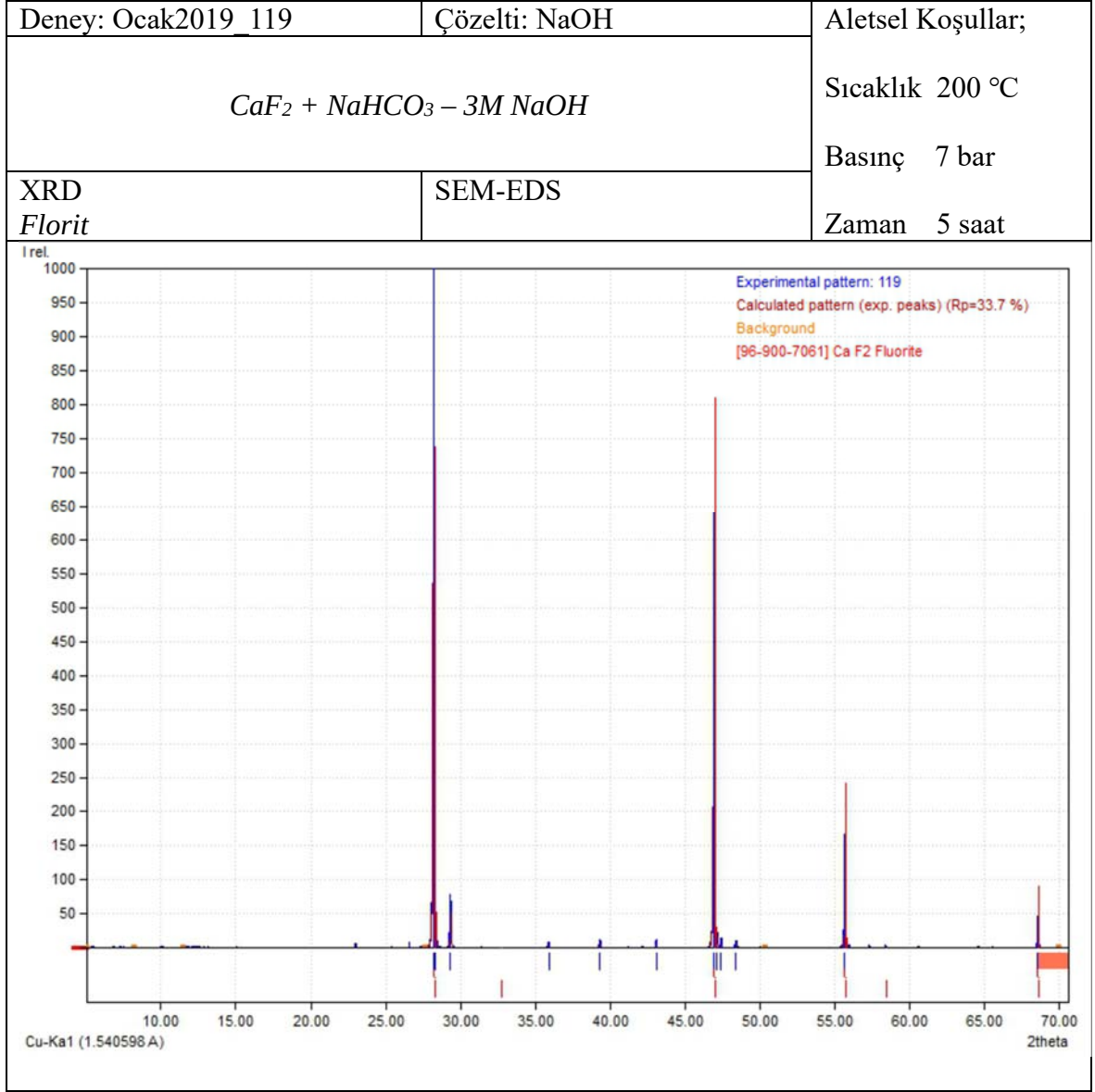
Deney: Ocak2019_117	Çözelti: NaOH	Aletsel Koşullar;
<i>Amorf Si + Al₂O₃ + CaF₂ + NaHCO₃ – 3M NaOH</i>		Sıcaklık 200 °C
		Basınç 7 bar
XRD Sodalit	SEM-EDS	Zaman 6 saat



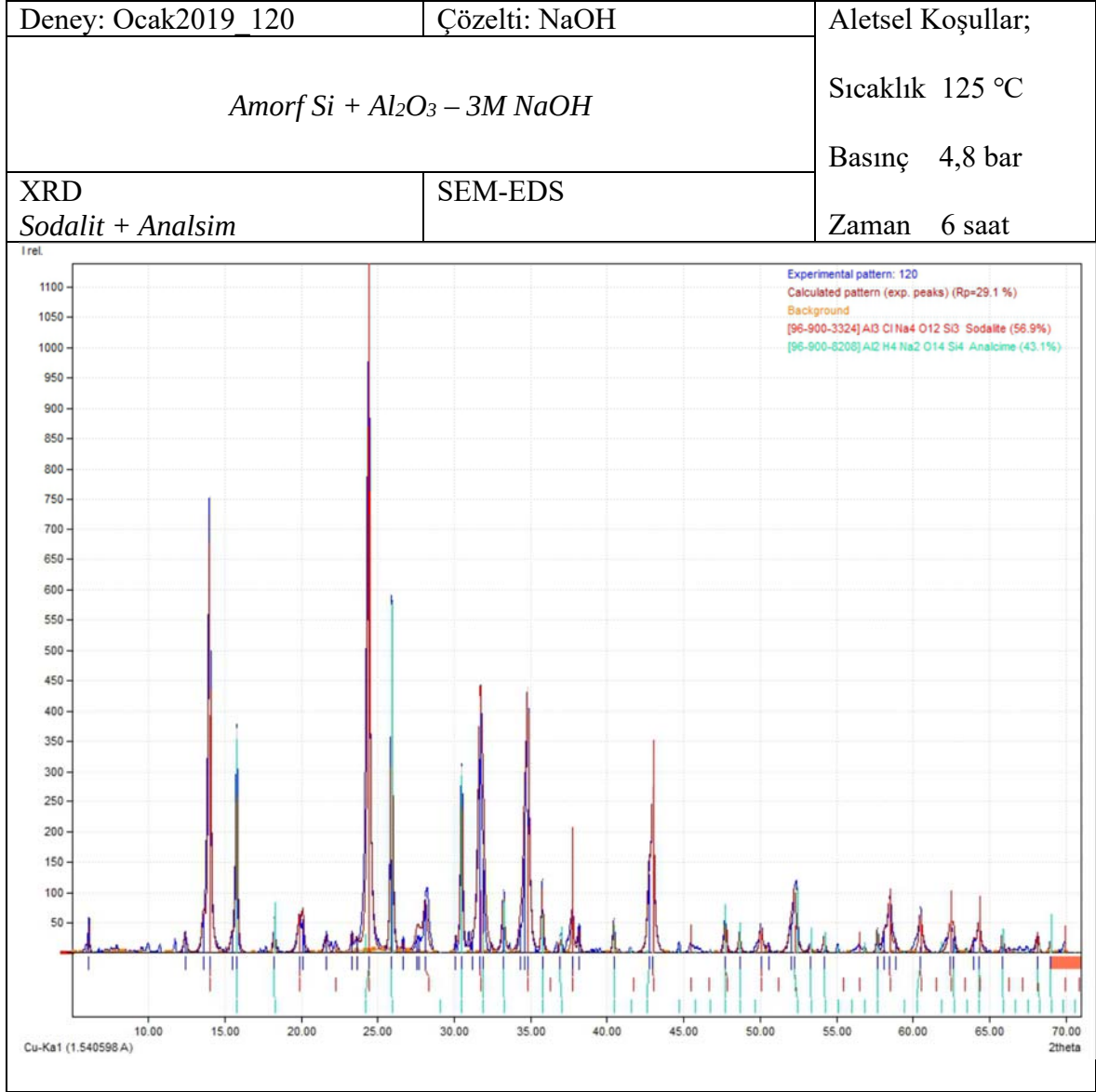
Ek_04 devamı.



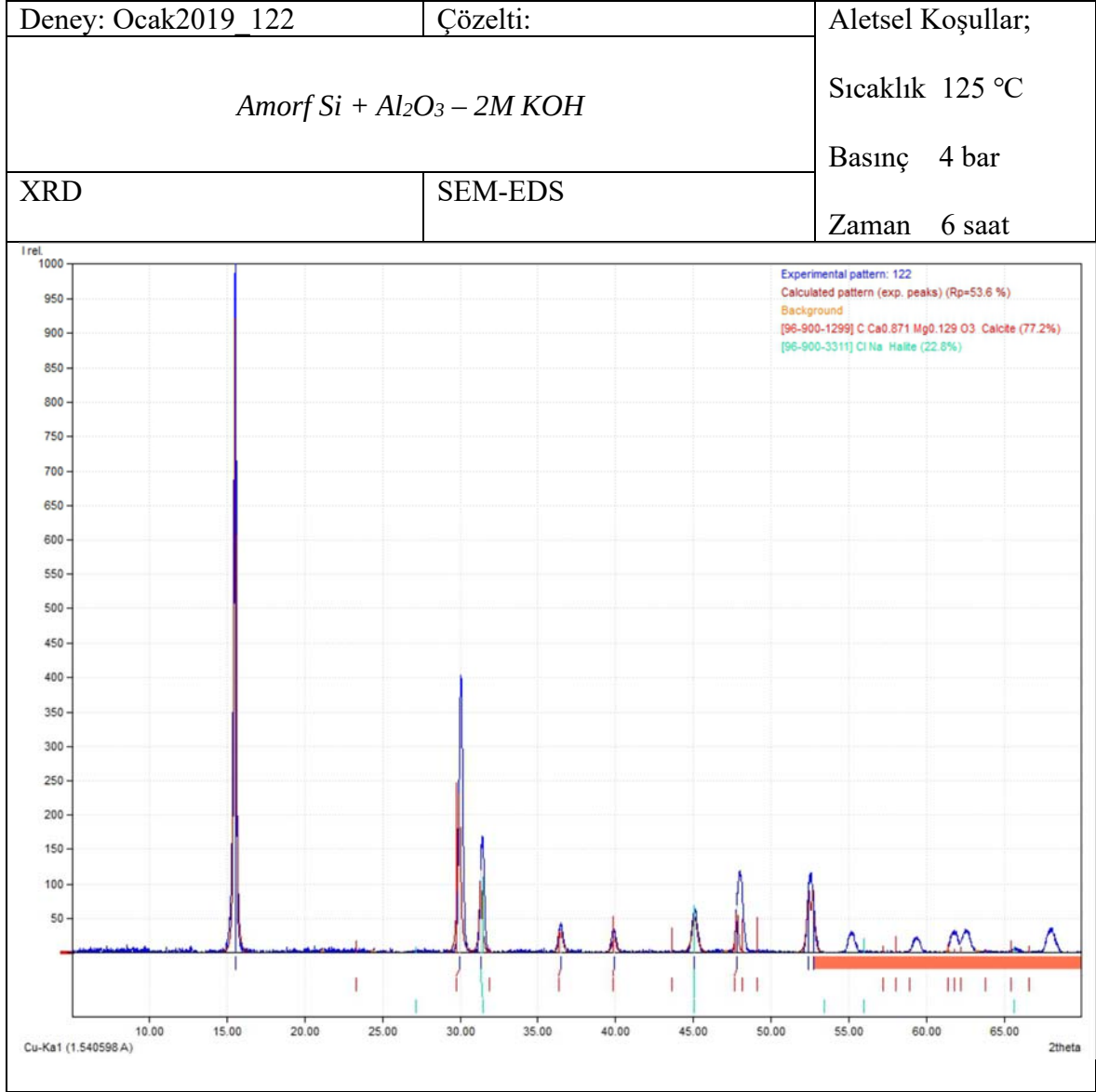
Ek_04 devamı.



Ek_04 devamı.

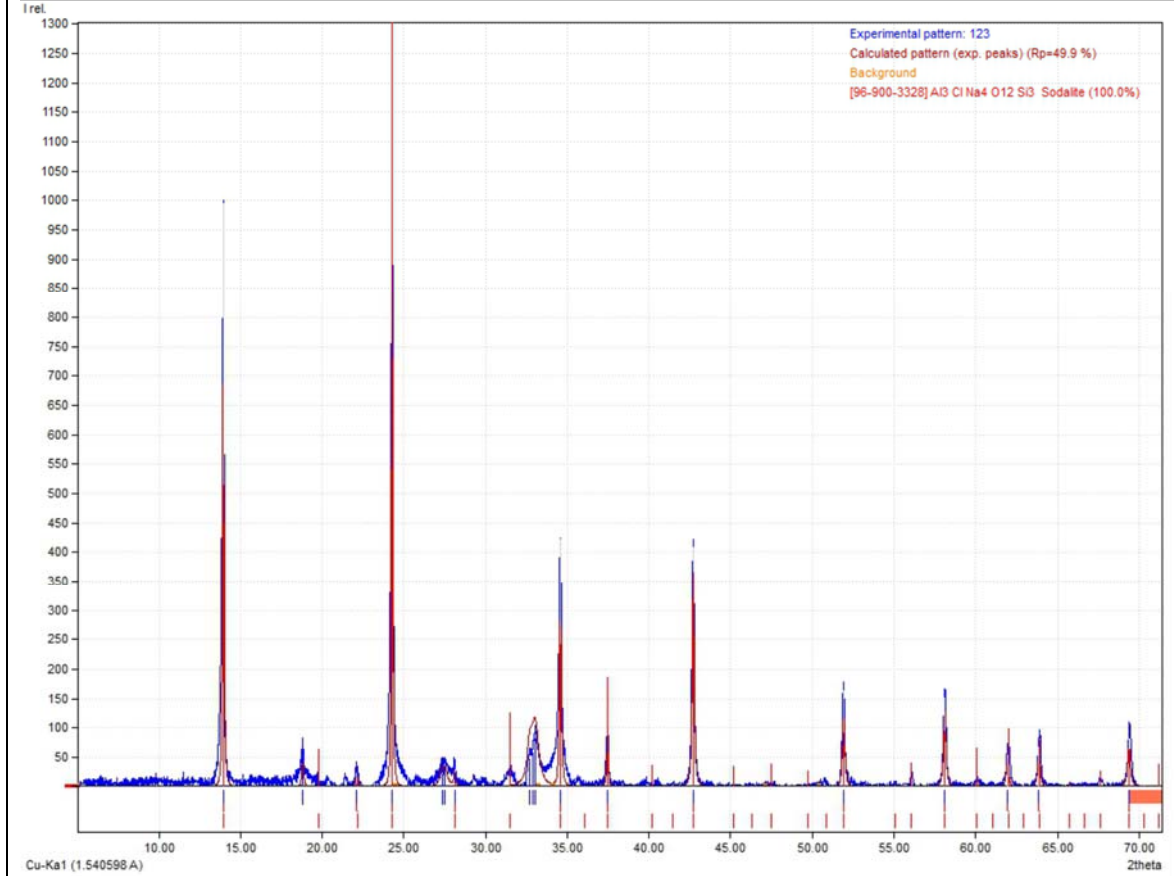


Ek_04 devamı.

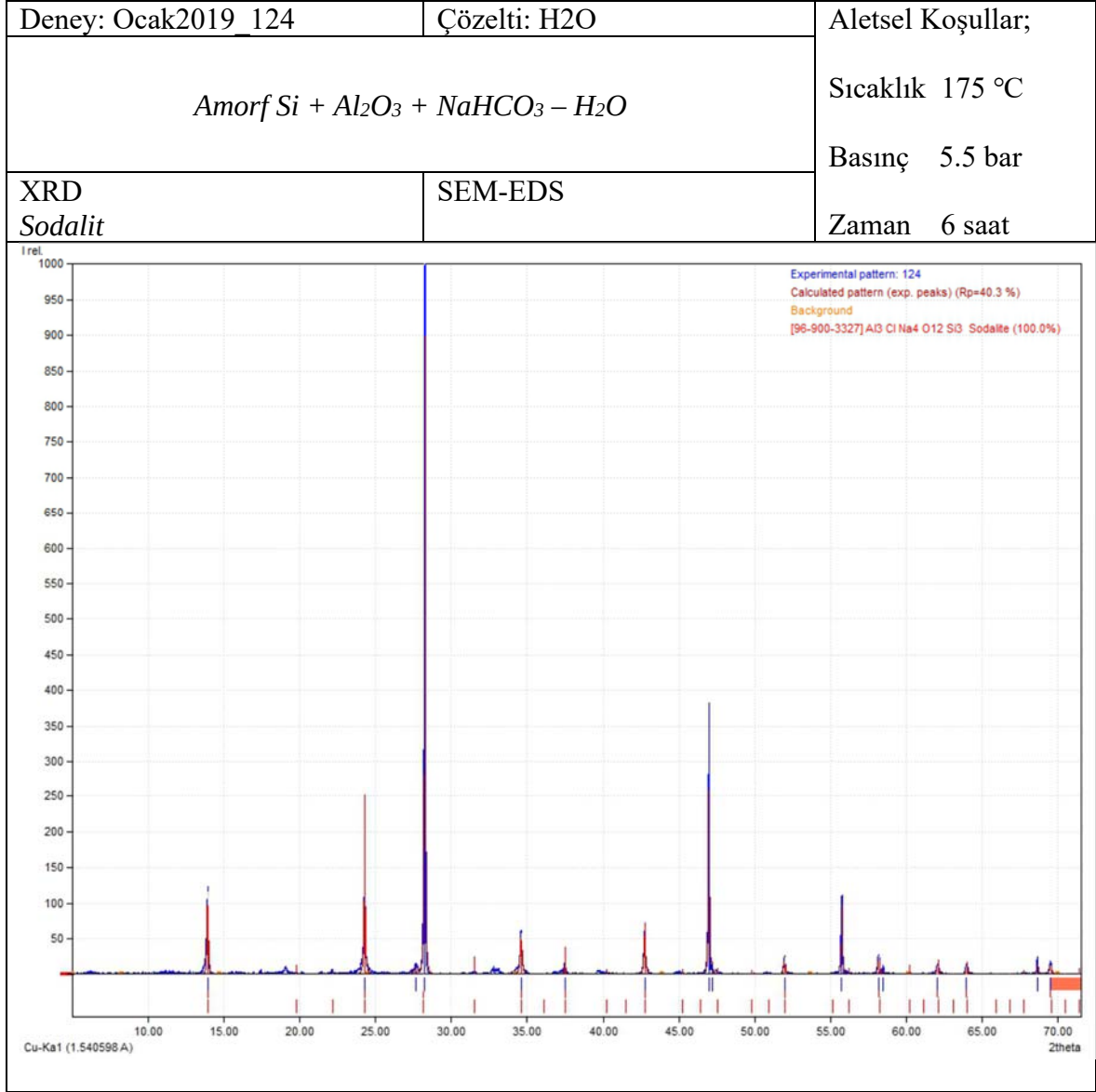


Ek_04 devamı.

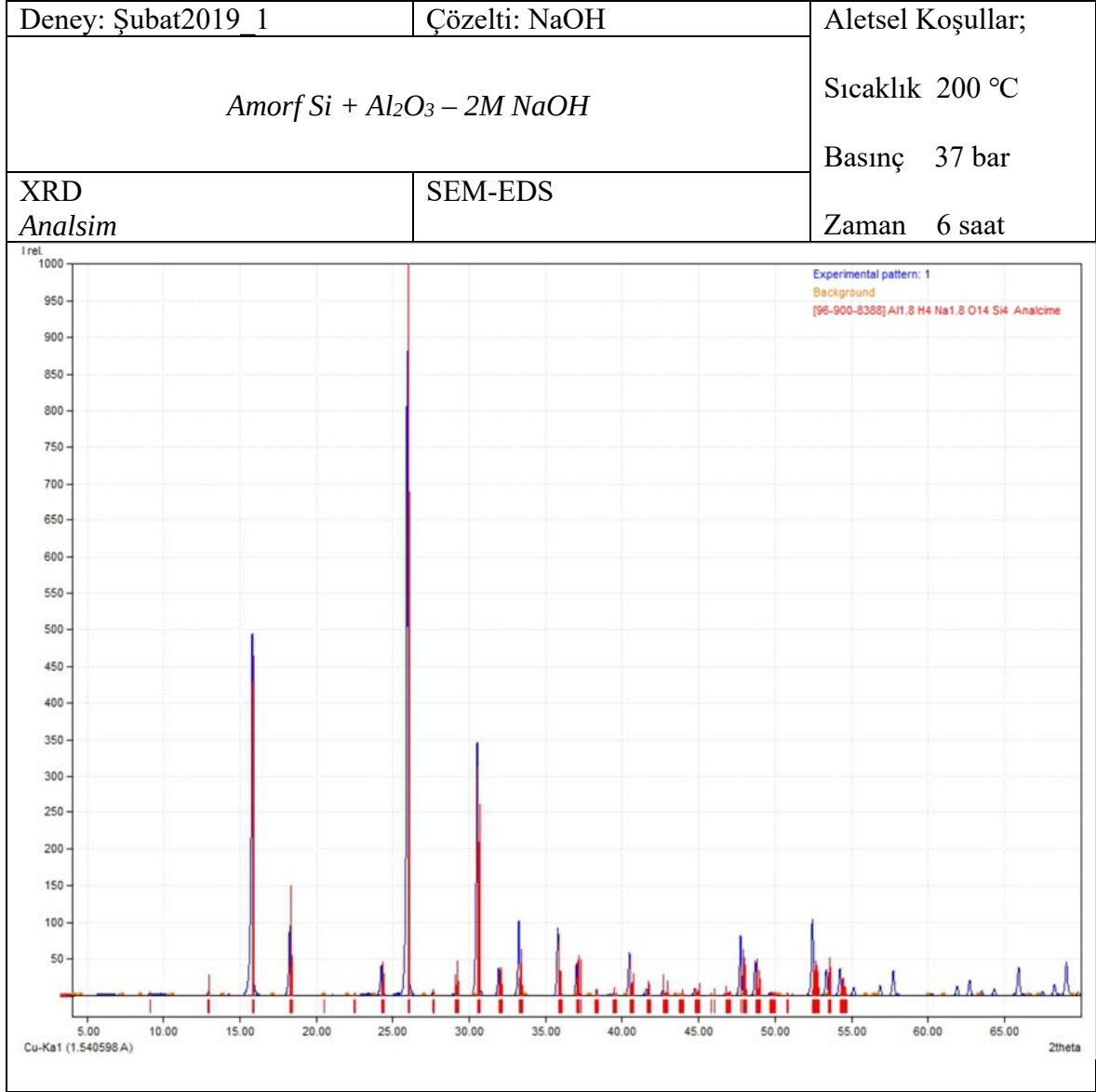
Deney: Ocak2019_123	Çözelti: NaOH	Aletsel Koşullar; Sıcaklık 150 °C Basınç 6 bar Zaman 6 saat
$Amorf\ Si + Al_2O_3 + NaHCO_3 - 3M\ NaOH$		
XRD <i>Sodalit</i>	SEM-EDS	



Ek_04 devamı.



Ek_04 devamı.



ÖZGEÇMİŞ

İlk ve orta öğrenimini 1999 yılında Trabzon Yüzüncü Yıl İlköğretim Okulunda tamamlamıştır. Lise öğrenimini 2004 yılında Tevfik Serdar Anadolu Lisesinde tamamlamıştır. 2005 yılında Karadeniz Teknik Üniversitesi Jeoloji Mühendisliği Bölümünde öğrenimine başlamış ve 2011 yılında Jeoloji Mühendisi olarak mezun olmuştur. 2011 yılında Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Jeoloji Mühendisliği Ana Bilim Dalı Mineraloji-Petrografi Bilim dalında yüksek lisans öğrenimine başlamıştır. 2012 yılında Karadeniz Teknik Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Jeoloji Mühendisliği Bölümüne araştırma görevlisi olarak atanmış ve 2022 yılına kadar bu görevi sürdürmüştür. 2014 yılında Yüksek Lisans programından mezun olmuştur. Ufuk Celal Yağcıoğlu, iyi derecede İngilizce ve orta derecede Arapça bilmektedir.