

T.C.
BALIKESİR ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
JEOLOJİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

DANAÇAYIR (SINDIRGI, BALIKESİR) BÖLGESİNDEKİ
KAOLEN YATAĞININ JEOLojİSİ VE MİNERALojİK İNCELEMESİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Ayfer ÇAKIR
Jeoloji Mühendisi

Balıkesir, Nisan – 2007

T.C.
BALIKESİR ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
JEOLOJİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

DANAÇAYIR (SINDIRGI, BALIKESİR) BÖLGESİNDEKİ
KAOLEN YATAĞININ JEOLojİSİ VE MİNERALojİK İNCELEMESİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Ayfer ÇAKIR
Jeoloji Mühendisi

Tez Danışmanı : Prof. Dr. Fazlı ÇOBAN

Sınav Tarihi : 02 . 04 . 2007

Jüri Üyeleri : Prof. Dr. Fazlı ÇOBAN (Danışman-BAU)

Yrd. Doç. Dr. Ali Murat KILIÇ (BAU)

Yrd. Doç. Dr. Abdullah TUFAN (BAU)



Balıkesir, Nisan - 2007

ÖZET

DANAÇAYIR (SINDIRGI, BALIKESİR) BÖLGESİNDEKİ KAOLEN YATAĞININ JEOLJİSİ VE MİNERALOJİK İNCELEMESİ

Ayfer ÇAKIR

Balıkesir Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü,
Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı

(Yüksek Lisans Tezi / Tez Danışmanı: Prof. Dr. Fazlı ÇOBAN)

Balıkesir, 2007

Bu çalışmada, Balıkesir ilinin güneydoğusunda yer alan Sındırgı ilçesinin Danaçayır köyünde, yaklaşık 30 km² 'lik bir bölgenin jeolojisi ve kaolenlerin mineralojik - jeokimyasal incelemesi yapılmıştır.

Çalışma alanının temelinde karmaşık seri yer almaktadır. Mafik volkanik, serpantin merceklerini kapsayan ve başlıca meta kıltaşı, meta kumtaşı ve kireçtaşından oluşan "Karmaşık Seri" Üst Kretase yaşlıdır. Üst Kretase yaşlı bu birim üzerine uyumsuzlukla gelen Tersiyer volkanit topluluğu Miyosen ve Pliyosen'de meydana gelmiştir. Volkanitler bölgede, asidik bileşimli kayaçlarla, bunların tüfleri şeklinde gözlenmektedir. İnceleme alanındaki kaolen oluşumları, Pliyosen yaşlı dasitik tuf-tüfitlerin hidrotermal alterasyonu sonucu meydana gelmektedir. Bölgedeki kaolen oluşumunun ortalama kalınlığı 10-15 metredir. Kaolenin içerisinde muhtelif seviyelerde ve yersel küçük mercekler şeklinde opal yuvalanmaları mevcuttur. Bölgede kaolen oluşumunu takiben uyumsuz olarak

riyolitik tüfler gelmiştir. Riyolitik tüflerde kaolenleşme gözlenmemektedir. Kuvaterner yaşlı alüvyon bölgedeki en genç çökelleri oluşturmaktadır. Sahada gözlenen alüvyon; çakıl, kum, silt türü sedimanların gevşek bir şekilde depolanmaları sonucu oluşmuştur.

Kaolenlerin ayrıntılı incelemesi, değişik kesimlerden derlenen örnekler üzerinde X-ışınları difraksiyonu (XRD), taramalı elektron mikroskobu (SEM), diferansiyel termik analiz (DTA), optik mikroskop ve kimyasal analiz incelemeleri yapılarak gerçekleştirilmiştir.

X-ışını difraksiyonu (XRD) incelemelerine göre, inceleme alanındaki kaolenlerin esas minerali kaolinittir. Kaolinitlere eşlik eden diğer mineral ise kuvarstır. Bunun yanında diferansiyel termik analiz (DTA) ve taramalı elektron mikroskop (SEM) incelemeleri sonucunda kaolen oluşumunu destekleyen veriler elde edilmiştir.

Kaolenlerin ana ve iz element içerikleri belirlenmiş ve alterasyon süresince asidik tüflerin kaolene dönüşüm süresince element mobilizasyonları yorumlanmıştır. Buna göre alterasyon Si, Fe, Cr ve S kazanımı, Ca, Mg ve alkali kayıplarıyla kontrol edilmektedir. Ti ve Al elementleri ise kalıntı malzemede yerinde zenginleşmektedir. İz elementlerin göçü incelendiğinde Y, Nb ve Rb elementlerinin zenginleşmesi, Hf, Zr, Ta, Ga, Sr ve Ba elementlerinin ise kayıpları söz konusudur. Th ve U elementleri immobil özellik göstermişler yani yerinde (in-situ) zenginleşmişlerdir.

ANAHTAR SÖZCÜKLER: Danaçayır, Kaolen, Kaolinit, Tüf, Hidrotermal Alterasyon, XRD, Kimyasal Analiz

ABSTRACT

DANAÇAYIR (BALIKESİR-SINDIRGI) REGION KAOLEN ORE BED'S GEOLOGY AND MINEROLOGIC EXAMINATION

Ayfer ÇAKIR

**Balıkesir University, Institute of Science,
Department of Geology Engineering**

(M.SC.Thesis / Supervisor: Prof. Dr. Fazlı ÇOBAN)

Balıkesir-Turkey, 2007

In this study, the geology and minerologic-geochemical properties of kaolins of about 30 km² area of Danaçayır district (Sındırgı), located at south-east of Balıkesir is examined.

The base of studied area is formed by melange. It is mainly composed of meta claystone, meta sandstone and limestone and also includes mafic volcanic, serpentine lenses. It is Upper Cretaceous age. Tertiary litologic group, coming over Upper Cretaceous in unconformity, is Miocene and Pliocene age. Volcanic in this area are found as asidic rocks and their tuffs Kaolins in the studied area was formed by the alteration due to hydrothermal activity of pliocene aged dacitic tuff and tuffite and the thickness of kaolinization is about 10-15 m.. Opal lenses are also found in different levels of kaolin zones. Following to the kaolinization, rhyolitic tuffs were

formed with unconformity. No kaolinization is found in rhyolitic tuffs. Quaternary aged alluvion forms the youngest precipitates in the area. Alluvion found in the field contains gravel, sand, silt in loose form.

The examination of the kaolins, was made on the samples from different sections with X-ray diffraction (XRD), scanning electron microscope (SEM), differential termic analyse (DTA), optic microscope and chemical analysis technics.

The x-ray diffraction (XRD) investigation has show that kaolin's main mineral is kaolinite. The other minerals accompanied kaolin are quartz. In addition to this, origin of kaolins is supported by SEM investigation.

The major and trace element contents of kaolin's are determined. Mobility of elements during alteration of acidic tuff to kaolin is investigated. The alteration is controlled by gain of Si, Fe, Cr, and S and loss of Ca, Mg and alkalies. Ti and Al are enriched residually. Investigation of trace element mobility indicates that loss of Hf, Zr, Ta, Ga, Sr, Ba and gain af Y, Nb, Rb. The and U are enriche in-situ and show immobile character.

In the region, kaolin whose formation places are identified, has missing detailed studies about its formation mechanism. Data acquired with this thesis study, will contribute to identify the origin of the kaolin formation in the region. The geologic etudes and research soundings will reveal the reserve and quality of Danaçayır kaolin ore beds. Whether taken from field or from cathodes, samples will be analysed chemically and technologically to determine their reusability in ceramic, refrakter and paper industry. Also it's certain that a contribution will be made to economy with the acquired data because the region wasn't researched before.

KEY WORDS: Danaçayır, Kaolin, Kaolinite, Tuff, Hydrothermal Alteration, XRD, Chemical Analyse

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa No</u>
ÖZET	ii
ABSTRACT	iv
İÇİNDEKİLER	vi
SEMBOL LİSTESİ	viii
ŞEKİL LİSTESİ	ix
ÇİZELGE LİSTESİ	xii
ÖNSÖZ	xiii
1. GİRİŞ	1
1.1 Konu ve Amaç	1
1.2 İnceleme Alanının Coğrafik Özellikleri	1
1.2.1 İnceleme Alanının Yeri	1
1.2.2 Morfoloji	3
1.2.3 İklim ve Bitki Örtüsü	4
1.2.4 Ekonomi ve Tarım	4
2. MATERYAL ve METOT	5
2.1 Örnekleme ve Örneklerin İncelenmesi	5
2.2 Analiz Yöntemleri	6

3. GENEL JEOLJİ	8
3.1 Bölgesel Jeoloji	8
3.2 İnceleme Alanının Stratigrafisi	8
3.2.1 Mesozoyik	8
3.2.1.1 Karmaşık Seri	8
3.2.2 Senozoyik	13
3.2.2.1 Taban Volkanitleri	13
3.2.2.2 Dasitik Tüf - Tüfit	15
3.2.2.3 Kaolen	18
3.2.2.4 Tavan Opali	21
3.2.2.5 Riyolitik Tüf	23
3.2.2.6 Alüvyon	24
3.3 İnceleme Alanında Volkanizma ve Tektonik Faaliyet	26
4. MİNERALJİ	
27	
4.1 X-Işınları Difraksiyonu (XRD) İncelemeleri	
27	
4.2 Diferansiyel Termik Analiz (DTA) İncelemeleri	32
4.3 Taramalı Elektron Mikroskop (SEM) İncelemeleri	
34	
5. JEOKİMYA	
36	
5.1 Ana Elementler	
36	
5.2 İz Elementler	
40	
6. KİL VE KİL MİNERALLERİ	
42	

6.1 Killerin Oluşumu	
43	
6.1.1 Diyajenez	
44	
6.1.2 Hidrotermal Alterasyon	47
6.1.3 Ayrışma	
48	
7. KAOLEN	50
7.1 Kaolenlerin Oluşumu	50
7.1.1 Eksojen Yataklar	51
7.1.2 Endojen Yataklar	51
7.1.2.1 Plütonik Kaolen Yatakları	52
7.1.2.2 Volkonik Kaolen Yatakları	52
7.2 Kaolen Yataklarının Aranması	52
7.3 Kaolenin Kullanım Alanları	53
7.4 Kaolenin Kimyasal Özellikleri	54
7.5 Türkiye ve Dünya Kaolen Yatakları	56
8. SONUÇLAR VE TARTIŞMA	58
KAYNAKLAR	62

SEMBOL LİSTESİ

<u>Simge</u>	<u>Adı</u>	<u>Birimi</u>
Å	angström	10 ⁻⁸ cm
α	alfa	

°C	derece	
cm ⁻¹	frekans	
dak	dakika	60 saniye
θ	teta	
μ	mikron	10 ⁻⁶ m

ŞEKİL LİSTESİ

<u>Şekil</u>	<u>Adı</u>	<u>Sayfa No</u>
Şekil 1.1	İnceleme alanının yer bulduru haritası	2
Şekil 3.1	İnceleme alanının jeoloji haritası	9
Şekil 3.2	İnceleme alanının stratigrafik kolon kesiti	10
Şekil 3.3	Kireçtaşı birimi içerisinde romboedrik dilinime sahip kalsit minerali	12
Şekil 3.4	Silisifiye piroklastik malzeme	14
Şekil 3.5	Taban volkanitlerinin tavanında bulunan aglomera seviyesi	14
Şekil 3.6	Silisleşmiş-az kaolenleşmiş tüflerin yakından görünüşü	16
Şekil 3.7	Vitrik-krisal tüfte cam matriks içerisinde plajioklas, kuvars ve biyotit kristalleri.	16
Şekil 3.8	Vitrik-kristal tuf içerisinde gözlenen plajioklas kristalleri.	17
Şekil 3.9	Vitrik-kristal tuf içerisinde zonlu yapıya sahip plajioklas kristali	17
Şekil 3.10	Çatlaklar boyunca gözlenen kaolenleşmeden genel bir görünüş	19
Şekil 3.11	Cep şeklinde gözlenen kaolenleşme ve tabanda oluşan bentonitleşme	20
Şekil 3.12	Dasitik Tuf – Tüfit birimi, kaolen ve tavan opali arasındaki dokanak ilişkisi	20

Şekil 3.13 Tavan opali ve kaolen ocağından genel bir görünüm	22
Şekil 3.14 Tavan opalinden genel bir görünüm	22
Şekil 3.15 Tavan opaline ait ince kesitte gözlenen kuvars kristalleri	23
Şekil 3.16 Kaolinize riyolit tüfden genel bir görünüm	25
Şekil 3.17 Riyolitik karakterli camsal-kristal tüfteki camsal malzemenin ayrışması	25
Şekil 4.1 Kaolen-1 numunesine ait X ışını difraktogramı	29
Şekil 4.2 Kaolen-2 numunesine ait X ışını difraktogramı	30
Şekil 4.3 Kaolen-3 numunesine ait X ışını difraktogramı	31
Şekil 4,4 İnceleme konusu kaolenlerin DTA eğrisi	33
Şekil 4.5 İnceleme konusu kaolenlerin heksagonal görünümlü morfolojisi	35
Şekil 4.6 İnceleme konusu kaolenlerin heksagonal görünümlü, kitabımsı morfolojisi	35
Şekil 5.1 Ana kayaya (tüf) göre normalize edilmiş kaolenlerin ana element değişim diyagramı	39

Şekil 5.2 İnceleme alanındaki dasitik tñfñnWhinchester ve Floyd (1977)'a göre kaya adlaması	39
Şekil 5.3 Ana kayaya (tñf) göre normalize edilmiş kaolenlerin iz element değişim diyagramı	41
Şekil 6.1 Kil döngüsünün şematik görünümü	44
Şekil 6.2. Smektitlerin diyajenetik dönüşümleri	47
Şekil 6.3 Yağış miktarı ile oluşan kil minerali yapısı çeşitleri	49
Şekil 7.1 Kaolenlerin fiziksel ve kimyasal özellikleri	56

ÇİZELGE LİSTESİ

<u>Çizelge</u>	<u>Adı</u>	<u>Sayfa No</u>
Çizelge 1.1	İnceleme konusu kaolenlerin mineral bileşimleri	28
Çizelge 1.2	İnceleme konusu kaolenlerin, X-Işını difraktogramında gözlenen yansıma değerleri	28
Çizelge 2.1	Kaolen ve tüflere ait ana element içerikleri (%)	38
Çizelge 2.2	Kaolen ve tüflere ait iz element içerikleri (ppm)	41

ÖNSÖZ

Bu tez çalışmasının belirlenmesinde ve sonuçlanmasında bana büyük destek veren Sayın Prof. Dr. Fazlı ÇOBAN'a teşekkürlerimi sunmak istiyorum. Çalışmayla ilgili görüş ve yardımlarından dolayı Yrd. Doç. Dr. Ali Murat KILIÇ ve Arş. Gör. Cumhur KOCABAŞ'a teşekkür ederim.

M.T.A Genel Müdürlüğü ve Jeoloji Etüdlere Dairesi Başkanlığı veri toplama aşamasında arşivlerini açarak katkıda bulunmuş; Gürbüz Madencilik A.Ş. ve Zafer Madencilik Ltd. Şti. tezin hazırlanması ve analizlerin uygulanması aşamasında donanım olanaklarını kullanabilmemi sağlamışlar; Yüksek Maden Mühendisi Celal ÖZCAN tez çalışmamın arazi aşamasında yardımlarını esirgememiş ve iş arkadaşım İnşaat Mühendisi Kerem Üçeldaş tezin yapılması konusunda çalışmaya destek vermiştir. Herkese gönülden teşekkürlerimi sunarım.

Çalışmamın sonuca ulaştırılmasında ve karşılaştığım güçlüklerin aşılmasında bana yön gösterici olan eşim Özkan Çakır'a ve bugüne kadar gerek manevi gerekse

maddi desteklerini esirgemeyen değerli aileme büyük zverilerinden dolayı Őükranlarımı bir borç bilirim.

1. GİRİŞ

1 Konu ve Amaç

Çalışma, Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı'nda Yüksek Lisans tezi olarak hazırlanmıştır. Bu çalışma ile Balıkesir ilinin güneydoğusunda yer alan Sındırgı ilçesinin Danaçayır köyünde, yaklaşık 30 km² 'lik bir bölgenin jeolojisi ve kaolenlerin mineralojik-jeokimyasal özelliklerinin ortaya konulması amaçlanmıştır.

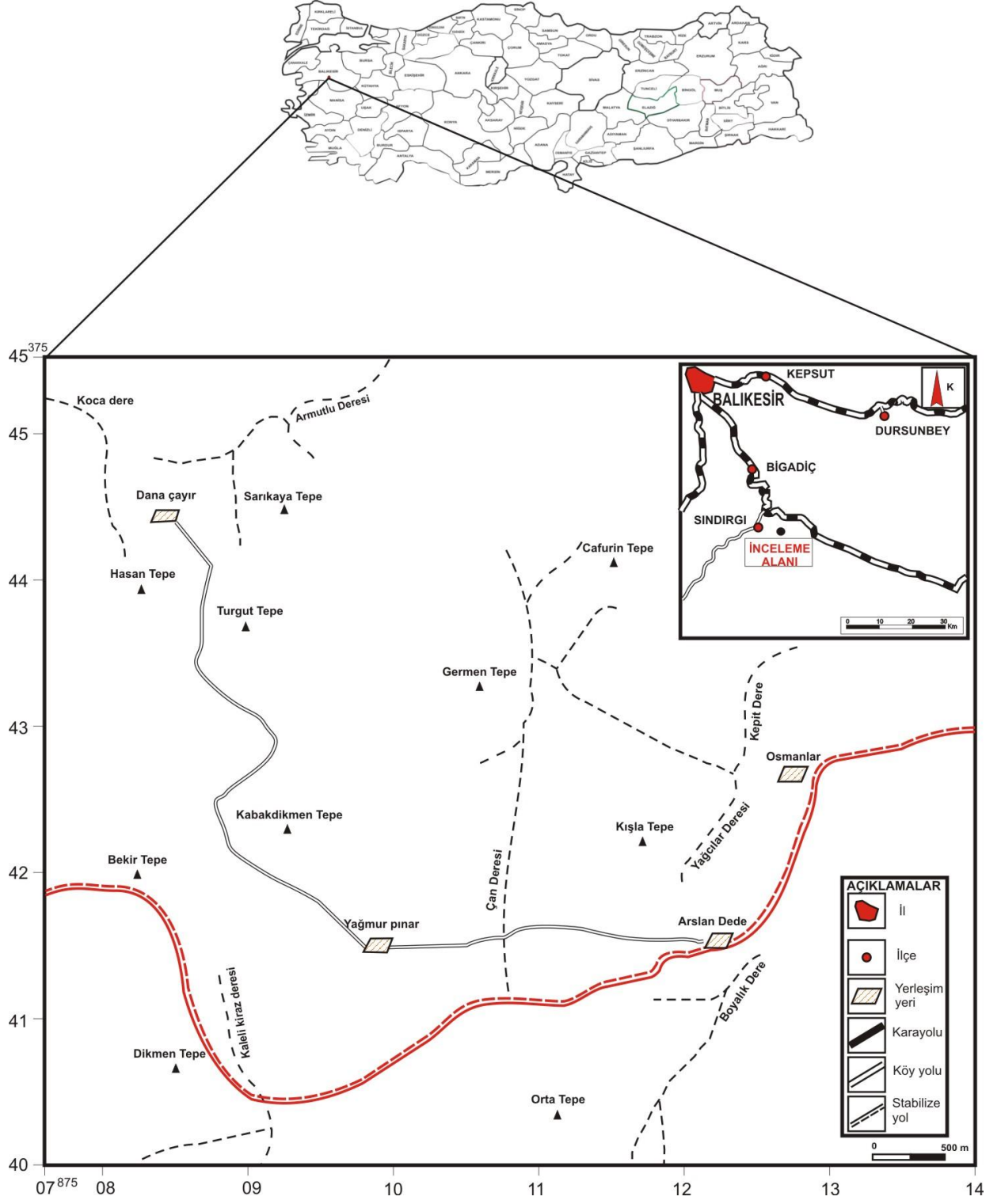
Türkiye'nin artan seramik hammaddeleri ihtiyacını karşılamak için son yıllarda kaolen aramalarına ağırlık verilmiştir. Kurulan yeni seramik fabrikalarının hammadde ihtiyaçlarını, kağıt sanayinin dolgu kaoleni ihtiyacını karşılamak için kaolen araştırmaları hızlandırılmıştır. Bu göz önünde bulundurulursa yeni kaolen yataklarının ortaya çıkarılıp ekonomiye kazandırılmasında yarar vardır.

Türkiye'nin kaolen oluşumu bakımından en önemli bölgesi Balıkesir–Sındırgı bölgesidir. Çalışması yapılan Sındırgı bölgesi kaolenleri Gürbüz Madencilik San. ve Tic. A. Ş. tarafından yeni bulunan (2003) ve üretime açılan bir bölgedir. Bu bölgedeki kaolenler henüz literatüre girmemiş olup, bölgedeki kaolenler üzerinde bilimsel düzeyde ayrıntılı araştırma yapılmamıştır. Bu nedenle Sındırgı–Danaçayır bölgesinde detaylı araştırmaların yapılması ile ekonomiye ve literatüre büyük katkı sağlanabilir.

2 İnceleme Alanının Coğrafik Özellikleri

1.2.1 İnceleme Alanının Yeri

İnceleme alanı, Batı Anadolu Bölgesi'nde, Balıkesir il sınırları içerisinde yer almaktadır (Şekil 1.1). Balıkesir ili, Sındırgı ilçesi, Danaçayır köyü, Turgut Tepe mevkiinde bulunan sahanın Balıkesir'e olan uzaklığı 73 km ve İzmir'e olan uzaklığı 145 km 'dir.



Şekil 1.1 İnceleme alanının yer bulduru haritası

Kuzeyinde Çaygören Barajı, doğusunda Osmanlar Köyü, güneyinde Çaltılı Köyü, batısında ise Pürsünler Köyü bulunmaktadır. İlçe merkezine uzaklık 10 km olup, ulaşım mevcut stabilize yoldan sağlanmaktadır.

İnceleme alanı yaklaşık 30 km² 'lik bir alanı kapsamakta ve 1:25.000 ölçekli Balıkesir J-20-C₁ paftası içerisinde yer almaktadır.

1.2.2. Morfoloji

İnceleme alanında topoğrafya genellikle engebeli bir arazi olup tepelerin yükseltileri genellikle 500-600 metre civarında değişmektedir. Sahanın önemli topoğrafya unsurlarını D-B yönünde uzanan Simav Çayı ve vadisi ile bunun kuzey ve güneyinde çaya paralel uzanan sırtlar meydana getirmektedir. Vadinin kuzey ve güneyinde yer alan yamaçlardaki tepeleri lavlar ve melanj içindeki kireçtaşı mercekleri meydana getirmektedir.

İnceleme alanında bulunan en yüksek tepeler güney batıda Dikmen Tepe (883 m), güneyde Orta Tepe (650 m) ve doğuda Hışır Tepe (617 m)'dir. Kaolen oluşumlarının yakınında bulunan diğer tepeler ise Sarıkaya Tepe (597 m), Turgut Tepe (551 m) ve Gölcük Tepe (586 m)'dir. Bu yükseltiler yumuşak topoğrafyalı morfolojiyi oluştururlar.

Bölgenin, drenaj ağının ulaştığı başlıca akarsu Simav Çayıdır. Simav Çayı, Sındırgı yakınlarında kuzeye dönerek Bigadiç Ovası'na doğru akar. Kocadere, Armutlu Dere, Kepit Dere, Boyalık Dere, Yağcılar Dere, Çan Dere, Alışık Deresi bu çaya karışan diğer sulu derelerdir.

1.2.3. İklim ve Bitki Örtüsü

İnceleme alanı coğrafi açıdan Marmara ve Ege Bölgesinde bulunmasına rağmen, Akdeniz iklimine sahip olup; yazları sıcak ve kurak, kışları ılımandır. Sonbaharda Kasım-Aralık, İlkbaharda Nisan-Mayıs yağışlı aylardır. En soğuk aylar Ocak-Şubat ayları olmakla beraber, Simav çayı vadisinde kar örtülü günler sınırlıdır. Balıkesir ili yıllık yağış ortalaması m² 'ye 650 mm 'dir. Yılın en düşük ısı -8, en yüksek ısı + 38 derecedir.

Mevcut köyler ve civarındaki ekili alan dışında kalan engebeli yerler çam ormanı ile örtülüdür.

1.2.4. Ekonomi ve Tarım

Önemli geçim kaynağı tarım ve hayvancılıktır. Mevcut arazinin 332 dekarında tütün 143 dekarında buğday ve diğer baklagiller yetiştirilmektedir. Buradaki köylerde hemen her aile tütün ekimi ile uğraşır. İhtiyaçlarını karşılayacak kadar sebzeçilik ve meyvecilik vardır.

Pazarlanabilecek bir hayvancılık yoktur. Köylü aileler kendi hayvansal ürün ihtiyaçlarını karşılayacak sayıda küçük ve büyük baş hayvan beslerler.

2. MATERYAL VE METOT

Tez konusunun amacı doğrultusunda arazi, laboratuvar ve tez yazımı aşamalarından oluşan programlı bir çalışma ile, buna bağlı olarak geliştirilmiş olan ayrıntılı jeolojik ve mineralojik incelemesi yapılmıştır. Arazi çalışmalarında öncelikle bölgenin genel jeoloji haritası hazırlanmış ve kaolen yataklarının bulunduğu bölgelerin detaylı olarak jeolojik özellikleri değişik çalışmalardan da yararlanılarak belirlenmeye çalışılmıştır. İnceleme alanında gözlenen jeolojik birimlerden petrografik, mineralojik ve kimyasal özelliklerini belirleyebilmek amacı ile sistematik olarak örneklemeler yapılmıştır.

2.1 Örneklemeler ve Örneklerin İncelenmesi

Arazi çalışmaları sırasında inceleme bölgesinin 1:25.000 ölçekli jeolojik haritası hazırlanmış, laboratuvar çalışmaları için gerekli olan kaolen ve diğer kaya örnekleri toplanmıştır. Örnekler, petrografik inceleme örnekleri, mineralojik inceleme örnekleri ve kimyasal inceleme örnekleri olmak üzere 3 ayrı çeşitte sistematik olarak derlenmiştir.

İncelenen bölge 07875 – 14000 doğu boylamları ve 40000 – 45375 kuzey enlemleri arasında yer almaktadır. Deneysel çalışmalarda kullanılan kaolen numuneleri, Sındırgı-Danaçayır Bölgesinde bulunan Sarıkaya Tepe ve Turgut Tepe ocaklarından alınmıştır. Ocakların değişik kesimlerinden derlenen kaolen örnekleri üzerinde X-ışını difraksiyonu (XRD), diferansiyel termik analiz (DTA), taramalı elektron mikroskop (SEM) ve kimyasal analiz incelemeleri; tüf örnekleri üzerinde ise kimyasal analiz incelemeleri yapılmıştır. 3 adet kaolen numunesi üzerinde XRD analizi, birer adet kaolen numunesi üzerinde DTA ve SEM analizleri gerçekleştirilmiştir.

Kimyasal analizi yapılan öğütülmüş kaolen ve tuf örnekleri, 105 °C'lik sıcaklıktaki etüvde sabit tartıma gelene kadar bekletilmiş ve kütle azalması nem olarak değerlendirilmiştir. Örneklerin major oksit analizleri yaş analiz ve spektrofotometri yöntemleri uygulanarak yapılmıştır. Deneylere esas olan kaolen ve tuf numunelerinden temsili olarak hazırlanmış numuneye ait kimyasal analiz sonuçları ve mineralojik sonuçları çizelgelerle gösterilmiştir. Toplam 15 adet kaolen ve 2 adet tuf numunesi üzerinde yapılan analizler ile yorumlamalar yapılmıştır.

2.2 Analiz Yöntemleri

Arazi çalışmaları sırasında toplanan kaolen örnekleri petrografik, mineralojik incelemeler ve kimyasal analizler (majör element, iz element ve nadir toprak element) için hazırlanmıştır. Petrografik incelemeleri yapılacak kaya örneklerine ait ince kesitler, MTA Kuzeybatı Anadolu Bölge Müdürlüğü İnce Kesit Atölyesi'nde hazırlanmış olup, Balıkesir Üniversitesi Jeoloji Mühendisliği Bölümü Laboratuvarı'ndaki Olympus marka optik mikroskop yardımı ile incelenmiştir.

Kaolenlerin XRD (X Işınları Difraksiyon) incelemeleri için kaolen örnekleri Balıkesir Üniversitesi, Kimya Bölümünde bulunan X-ışınları Laboratuvarında X-ışını difraktometre cihazı (Ni filtreli, CuK α radyasyonu) kullanılarak yapılmıştır. Analizlerde 40 kv (voltaj) ve 30 mA (akım) difraksiyon değerleri seçilmiştir. Numuneler 2 /dak.'da taranarak 2° - 50° (2 θ) goniometre kırınım açısı aralığında analiz edilmiştir.

DTA (Diferansiyel Termik Analiz) ve SEM (Taramalı Elektron Mikroskop) incelemeleri kayıtları Anadolu Üniversitesi Malzeme Bilimi ve Mühendisliği Bölümü laboratuvarlarında yapılmıştır. SEM incelemeleri laboratuvarda ZEISS Supratm 50 VP değişken basınçlı analitik SESEM model cihaz ile Au-Pd kaplaması yapılan örnekler üzerinde ve DTA incelemeleri ise Netzsch STA409 PC model cihaz ile 10°C dak⁻¹ ısıtma hızı ve 4 mm dak⁻¹ kağıt hızı ile gerçekleştirilmiştir.

Örneklerin kimyasal analizleri (majör ve eser element analizleri) Gürbüz Madencilik San. ve Tic. A.Ş. Laboratuvarı'nda (Balıkesir), Spectro X – Lab 2000 model X-RF spektrometresinde yapılmıştır. X-RF analizlerinde uluslararası standartlar kullanılmıştır.

3. GENEL JEOLJİ

3.1 Bölgesel Jeoloji

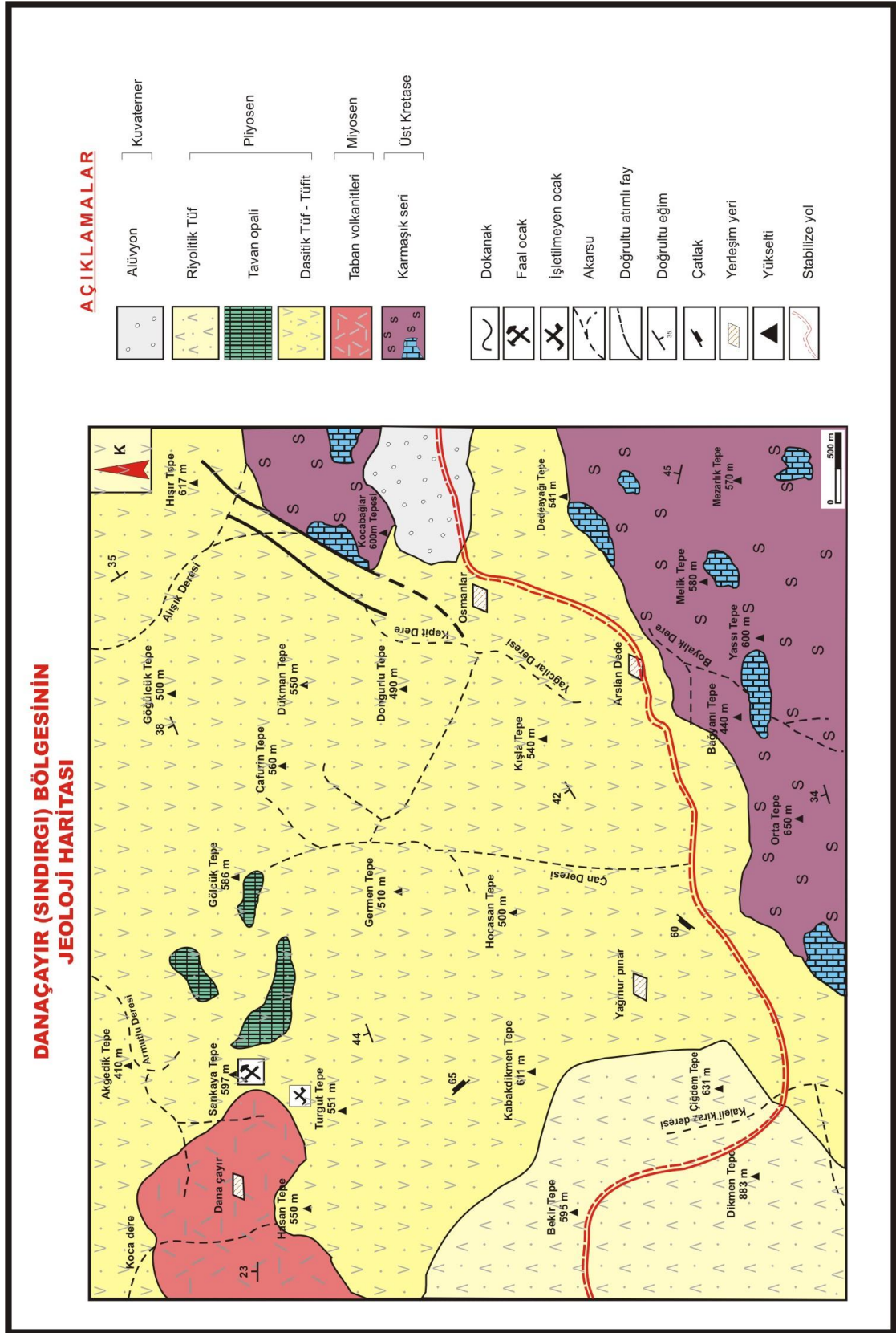
Çalışma alanı içerisinde karmaşık seri temeli oluşturmaktadır. İçinde mafik volkanitler ile serpantin merceklerini kapsayan ve başlıca meta kilitaşı, meta kumtaşı ve kireçtaşından oluşan karmaşık seri, Üst Kretase yaşlıdır [1]. Üst Kretase yaşlı bu birim üzerine uyumsuzlukla gelen Tersiyer volkanit topluluğu Miyosen ve Pliyosen'de meydana gelmiştir. Volkanitler bölgede, asidik bileşimli kayaçlarla, bunların tüfleri şeklinde yüzlekler vermektedir. İnceleme alanındaki kaolen oluşumları da üstte Pliyosen yaşlı dasitik tuf-tüfitler ile ilişkili olan birimin orta-üst seviyelerinde bulunmaktadır. Bölgedeki kaolen oluşumunun ortalama kalınlığı 10-15 metredir. Kaolenin içerisinde muhtelif seviyelerde ve yersel küçük mercekler şeklinde opal yuvalanmaları mevcuttur [2]. Bölgede kaolen oluşumunu takiben uyumsuz olarak riyolitik tüfler gelmiştir. Riyolitik tüflerde kaolenleşme gözlenmemektedir. Kuvaterner yaşlı alüvyon ise bölgedeki en genç çökelleri oluşturmaktadır (Şekil 3.1 ve Şekil 3.2). Sahada gözlenen alüvyon; çakıl, kum, silt türü sedimanların gevşek bir şekilde depolanmaları sonucu oluşmuştur.

3.2 İnceleme Alanının Stratigrafisi





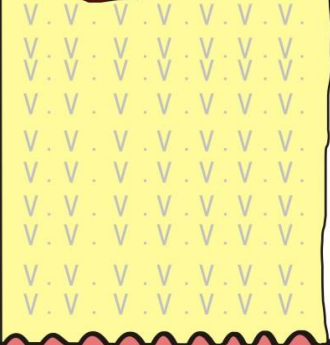
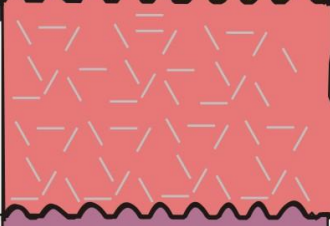
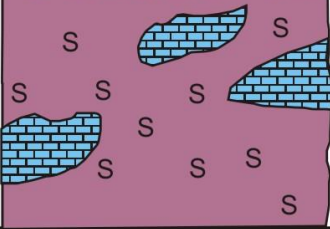
3.2.1 MESOZOYİK

3.2.1.1 Karmaşık Seri

İnceleme alanının güney-güneydoğu ve doğusunda yer alan meta kumtaşı, meta kilitaşı ve kireçtaşından oluşan "karmaşık seri" yer yer mafik volkanitler ve serpantin mercekleri içerir. Karmaşık seri Üst Kretase yaşlı kabul edilmektedir [1]. Temeli arazide izlenemeyen bu birimi üstte uyumsuz olarak Neojen volkanitleri örtmektedir.



Şekil 3.1 İnceleme alanının jeoloji haritası

Ü.SİSTEM	SİSTEM	SERİ	KALINLIK (m)	LİTOLOJİ	AÇIKLAMALAR
SENOZOYİK	KUVATERNER		~10-15		Kiltaşı, kumtaşı, silttaşı ve konglomera çakıllı alüvyon
					UYUMSUZLUK
	TERSİYER NEOJEN	PLİYOSEN	~40-60		Porfirik dokuya sahip, ayrırmış özellikteki riyolitik tuf
			~5-6		Silisifiye özellikteki tavan opali
					Kaolen
	~60-80		Pembemsi beyaz renklere gözlenen dasitik tuf - tüfit		
				UYUMSUZLUK	
		MİYOSEN	~30-60		Andezit, dasitik tuf ve aglomeralardan oluşan taban volkanitleri
					UYUMSUZLUK
MESOZOYİK	KRETASE	ÜST KRETASE	?		Metakumtaşı, metakiltaşı ve kireçtaşından oluşan, yer yer mafik volkanitler ve serpantin mercerlerini içeren karmaşık seri

ÖLÇEKSİZ

Şekil 3.2 İnceleme alanının stratigrafik kolon kesiti

Uz, (1978) tarafından yapılan çalışmada ise birimin mafik volkanitlere ait tüf ve lavlarla ardalanmalı olduğu ve yer yer diyabaz dayklarının fliš tabakalarını kestiği ortaya konmuştur [3].

Karmaşık seriyi meydana getiren kayalar genellikle meta kıltaşı ve meta kumtaşıdır. Meta kıltaşları, genellikle Arslandede Köyü ve Bağyanı Tepe dolaylarında mostra verir. Toprağımsı, sarı - kahve renklerde görüldüğü gibi ıslak iken siyah renkli de görülürler. Altere olmuş olan meta kıltaşlarının çatlaklarında yer yer kalsit dolguları mevcuttur.

Karbonat çimentolu grimsi, sarımsı kahverenkli meta kumtaşı, Bağyanı Tepe'nin yamacında Boyalık Dere mevkiinde ve Melik Tepe, Orta Tepe ve Bağyanı Tepe dolaylarında geniş alanlara yayılmıştır.

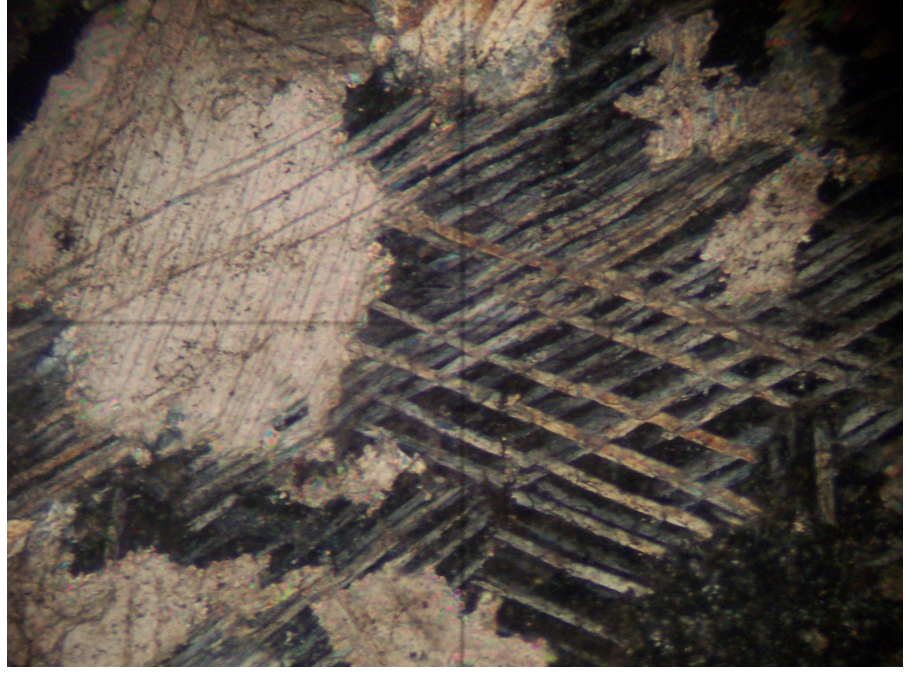
Seri içinde kireçtaşı mercekleri, diyabaz lavları ile şistleşmiş serpantin mercekleri yer almaktadır. Kirli beyaz renkli kireçtaşı merceklerinden oluşan bu birim, yer yer de dolomitiktir. Genellikle Arslandede Köyü dolaylarında Melik Tepe ve Mezarlık Tepe civarlarında yaygındır. Kireçtaşları çok kırıklı ve çok kolay ayrışabilme özelliğinde olup, tabakalanması her yerde izlenememektedir. Kriptokristalin dokuya sahiptirler. Kalsit damarları yaygındır. Bazı yerlerde bitüm ve piritten dolayı siyahımsı renkli olup, kırıldığında kötü bir koku çıkarmaktadır. Kireçtaşlarından yapılan mikroskopik incelemelerde ise yarı özşekilli ve özşekilli kalsit kristalleri, romboedrik dilinimlere ve simetrik sönmeye sahiptirler (Şekil 3.3). Kayaçlar bol çatlaklı bir yapıya sahip olup, çatlaklar ikincil kalsitle doldurulmuştur.

İnceleme alanında yaygın olarak bulunan irili ufaklı serpantin ve diyabaz mercekleri geniş alan işgal etmezler. Genelde Dedeayağı Tepe'nin güney

yamaçlarında ve Melik tepe civarında mostralara veren yeşil renkli olan serpantinler, altere oldukları bazı yerlerde kırmızı renklere de görülürler. Diyarbazlar metamorfizma geçirdikleri için meta diyarbaz olarak tanımlanmışlardır.

Karmaşık seri bölgeye allokon olarak yerleşmiştir [4]. Karmaşık serinin tektoniği oldukça karmaşıktır. Bu tür okyanus kabuğu malzemesinin kıta üzerine yerleşmesi esnasında son derece etkin bir tektonizmanın rol oynayacağı açıktır. Bölgede kıvrımlanmalar ve yüksek eğimler söz konusu olup tektonik bir zonun olabileceği düşünülmüş, fakat belirlenememiştir (Yrd. Doç. Dr. Ali Murat Kılıç ile sözlü görüşme).

Karmaşık serinin yerleşme yaşı Üst Kretase olarak kabul edilmektedir [1].



Şekil 3.3 Kireçtaşı birimi içerisinde romboedrik dilinime sahip kalsit minerali
(Çift Nikol, X100, Örnek No: Kçt-1, Mezarlık Tepe).

3.2.2 SENOZOYİK

3.2.2.1 Taban Volkanitleri

Bu birim temeli oluşturan karmaşık seri üzerine uyumsuz olarak gelir. Taban volkanitleri “Hallaçlar Formasyonu” olarak tanımlanan birime karşılık gelmektedir [4]. Danaçayır Köyü, Hasan Tepe kuzeyi ve üzerindeki birimlerin aşınmaya uğradığı Koca dere civarında geniş yüzlekler veren taban volkanitleri daha çok andezit bileşimlidir. Andezitler taze kırılma yüzeyinde pembe olup, masif yapıdadır.

Volkanitlerin üst seviyeleri ise tuf ile temsil edilmektedir. Tüfler, genel olarak asit bileşimli (andezit, dasitik), masif veya kalın tabakalı istifli piroklastik, aglomeratik depolar şeklindedir [2]. Andezit, dasitik tuf ve bu karakterde olan piroklastik malzeme genellikle alterasyona uğramış, pek çoğu da silisifiye olmuştur. Yer yer lapilliler seyrek olarak göze çarpmaktadır. Hasan Tepe'nin kuzey kesiminde volkanitler masif, koyu renkli, yerel olarak lav istiflenmeleri şeklinde, içlerinde 5-7 cm bloklar halinde farklı volkanit anklavları içerirler (Şekil 3.4).

Kaolenin oluştuğu havzalarda yapılan sondajlarda altta kaba taneli piroklastlardan üstte ise kısmen killeşmiş ince taneli piroklastlardan meydana geldiği gözlenmekte ve üst seviyelerde lamine kireçtaşı mercekleri yer almaktadır [5]. En üst seviyeleri ise, yer yer tamamen killeşmiş ve bentonitleşmiştir.

Aglomeralar gevşek tuf ile tutturulmuş ve yuvarlaklaşmış andezit, dasit ve silisifiye tuf çakıllarından oluşmaktadır. Çakıllar iyi derecede yuvarlaklanma gösterirken boylanma kötüdür (Şekil 3.5). Taban volkanitlerinin kalınlığı 30-60 metre arasında değişmekte ve alt kesimlerde gri; üst kesimlerinde ise yeşilimsi gri renkli gözlenmektedir. Volkanitler içinde yer yer siyah ve sarı renklerde ince taneli pirit görülmektedir [4]. Hasan Tepe'nin eteklerinde ise sarı renkli pirit taneleri nispeten daha fazladır. Taban volkanitleri içerisinde yer yer görülen ince tabakalı gri, grimsi siyah renkli opal merceklerinde de pirit görülmektedir. Bu piritler ortamda mevcut olan Fe ve H₂S'in uygun şartlarda birleşmesinden oluşmuş ve düzensiz bir şekilde dağılmıştır [5, 6].



Şekil 3.4 Silisifiye piroklastik malzeme
(Hasan Tepe'nin kuzey kesimi)



Şekil 3.5 Taban volkanitlerinin tavanında bulunan
aglomera seviyesi
(Danaçayır doğusu)

Miyosen yaşlı kabul edilen taban volkanitleri; temeli oluşturan karmaşık seri üzerinde uyumsuz olarak bulunmakta ve daha genç volkanitler tarafından örtülmektedir [5].

3.2.2.2 Dasitik Tüf -Tüfit

Dasitik Tüf -Tüfit mostralalarına Danaçayır yakınlarındaki Sarıkaya Tepe, Turgut Tepe, Dükman Tepe, Hocasan Tepe, Hışır Tepe, Kabakdikmen Tepe, Germen Tepe, Yağmurlupınar ve Osmanlar dolaylarında rastlanılmaktadır. Danaçayır yakınlarındaki Hocasan Tepe'deki dasitik tüfler grimsi pembemsi renkte olup, renk

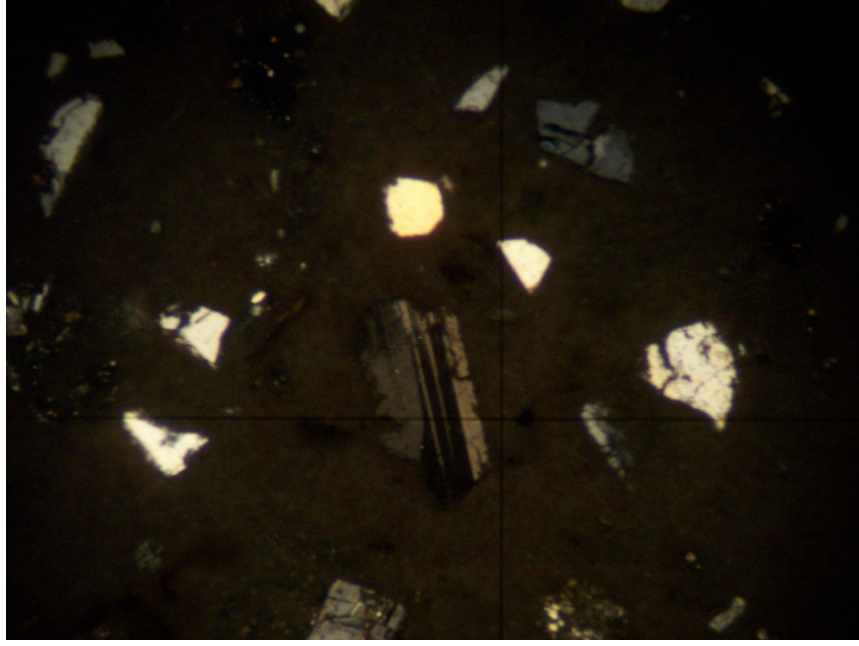
üste doğru açılmakta, boyutu incelmekte, grimsi beyaz ve kirli beyaz renkte dasitik tuf görünümü almaktadır. En üst kısmı ise beyazımsı kırmızımsı renkli silisifiye kayac görünümünde olup altere olmuştur.

Turgut Tepe'de ise dasitik tüfler gri renkli gözlenmekte ve oldukça altere olmuştur. Daha sonra üst seviyelere doğru Sarıkaya Tepe'nin kuzey eteği ile Osmanlar mevkii yakınlarında ortama hızlı malzeme gelişi nedeni ile grimsi yeşil renkli bol biyotitli, oldukça sert, kristal dasitik tuf görünümündedir. Daha yukarılarda dasitik tüflerin rengi açılmakta önce grimsi beyaz ve yer yer pomza ihtiva eden az biyotitli bir durum almakta, en üstte ise kirli beyaz renkli ince taneli ve az biyotitli tuf olarak gözlenmektedir. Dasitik tüflerin yukarıya doğru tane boyutunun incilmesi, biyotitin azalması veya görülmemesi renginin de beyazlaşması nedeni ile tedricen kaolene geçtiği görülmektedir (Şekil 3.6) [6].

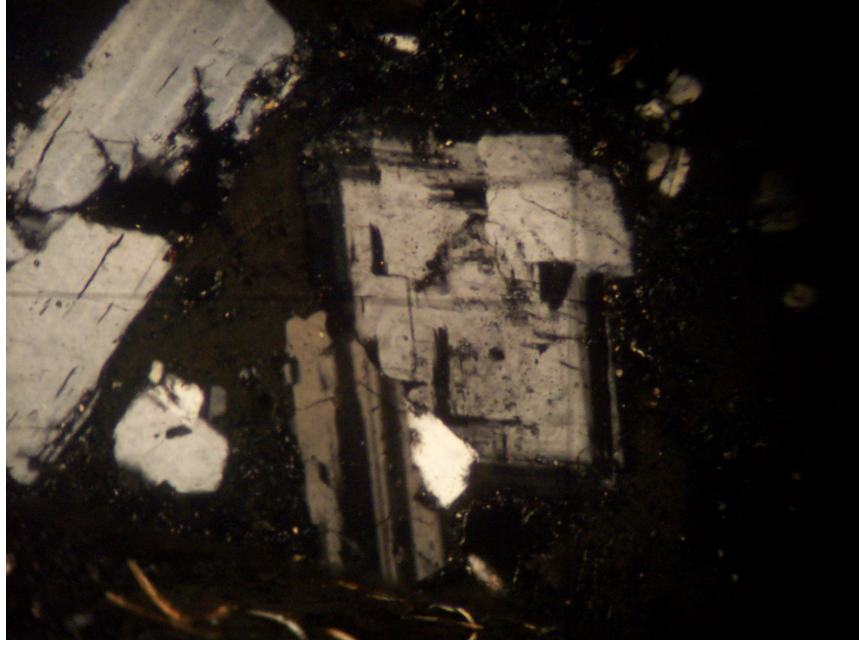
Pembemsi beyaz renklere görülen dasitik tüfler; az kristal ile camsı matriksten meydana gelmektedir. Gözle tanınan kristaller feldspat, biyotit ve kuvars olup bu kristaller ufak boyuttadır. Mikroskop çalışmaları sonucunda, dasitik tüflerde camsal matriks içerisinde kuvars, plajioloklas ve biyotit kristalleri gözlemlenmiş olup hipokristalin porfirik dokuya sahip olduğu belirlenmiştir (Şekil 3.7). Plajioloklas kristalleri polisentetik ikizlenmesi (Şekil 3.8) ve zonlu yapı göstermesi (Şekil 3.9) ile karakteristik özellikte gözlenmektedir.



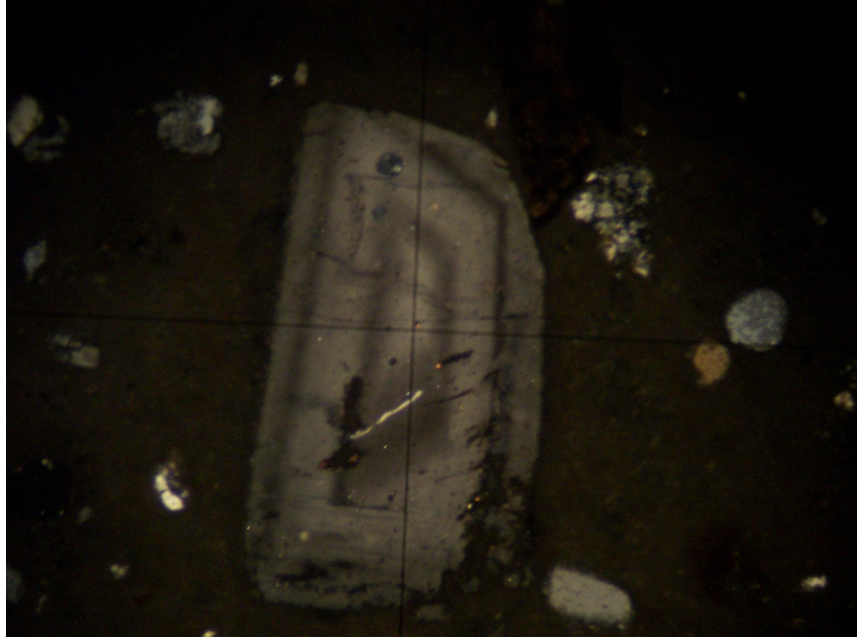
Şekil 3.6 Silisleşmiş-az kaolenleşmiş tüflerin yakından görünüşü
(Sarıkaya Tepe batı kesimi)



Şekil 3.7 Vitrik-kristal tüfte cam matriks içerisinde plajoklas, kuvars ve biyotit kristalleri.
(Çift Nikol, X100, Örnek No: O-1, Turgut Tepe güney kesimi)



Şekil 3.8 Vitrik-kristal tuf içerisinde gözlenen plajiolklas kristalleri.
(Çift Nikol, X100, Örnek No: O-1, Turgut Tepe güney kesimi)



Şekil 3.9 Vitrik-kristal tuf içerisinde zonlu yapıya sahip plajioklas kristali
(Çift Nikol, X100, Örnek No: O-1, Hocasan Tepe)

Dongurlu Tepe doğu-kuzey doğusunda doğrultu atımlı bir fay yer almaktadır. Bazı yerlerde sınırları tamamen belirlenememiştir. Faya yakın yerlerde Neojen volkanitlerinin eğimlerinin fazlaştığı görülür. Bu da havzanın KB doğrultusunda sıkışmaya maruz kaldığını gösterir (Şekil 3.1).

Dasitik tuf-tüfitler; araştırmacılar tarafından “Yuntdağ volkanitleri” olarak adlandırılmış birime karşılık gelmektedir [4].

Dasitik tuf-tüfitler, taban volkanitleri üzerine uyumsuz, üstteki kaolen ise bu birim üzerine uyumsuz olarak gelmektedir. Dasitik tuf-tüfitler Pliyosen yaşında kabul edilmiştir [5].

3.2.2.3 Kaolen

İnceleme bölgesinde Sarıkaya Tepe, Turgut Tepe ve Gölcük Tepe yörelerinde geniş alanlarda mostra veren kaolen beyaz renkli, ıslak olduğu zaman ise grimsi, kirli beyaz renkte görülür. Yer yer pembemsi beyaz renklere de izlenir. Yer yer de limonitten dolayı sarımsı, kahverengimsi ve beyaz renklere izlenir (Şekil 3.10). Bu bölgedeki Turgut Tepe ve Sarıkaya Ocağı'nda gözlenen kaolen numuneleri, gözle ve elle fark edilebilen fiziksel özellikleri yönünden; sert kaolen, yumuşak kaolen, ele yağimsı hissi veren montmorillonitli kaolen, kumlu kaolen (içinde serbest silis ihtiva eden kaolen) olarak ayrılabilir. Ayrıca bölgede cep şekilli kaolenleşme yaygın bir şekilde gözlenmektedir (Şekil 3.11).

Kaolen seviyesinin kalınlığı incelenen ocaklarda değişik olup, havza ortasından havza kenarına doğru incelmektedir. Bölgedeki kaolen oluşumunun ortalama kalınlığı 10-15 metre civarında değişmektedir. Kaolenin içerisinde muhtelif seviyelerde ve yersel küçük mercekler şeklinde opal yuvalanmaları mevcuttur. Kaolenin mineral ve kimyasal bileşimi de havza kenarından havza ortasına doğru değişmektedir. Kaolen üzerinde yapılan kimyasal analizler değerlendirdiğinde, havza kenarında daha düşük Al_2O_3 , havza ortasında daha yüksek Al_2O_3 içermektedir. Yine kaolenin yukarıdan aşağıya doğru kalite değişimi mevcut olup, yukarıdan aşağıya doğru Al_2O_3 değeri artmaktadır. Havza ortalarına doğru kaolenin taban kısmında montmorillonitli kaolenlere de rastlanmaktadır [5].

Kaolen konum olarak dasitik tüf – tüfitlerin üzerinde yer alır ve üstünde ise silisifiye özellikteki tavan opali bulunmaktadır (Şekil 3.12). Bu birim Pliyosen yaşında kabul edilmiştir [5].



Şekil 3.10 Çatlaklar boyunca gözlenen kaolenleşmeden genel bir görünüş
(Turgut Tepe Ocağı)



Şekil 3.11 Cep şeklinde gözlenen kaolenleşme ve tabanda oluşan bentonitleşme
(Sarıkaya Tepe Ocağı)



Şekil 3.12 Dasitik Tüf – Tüfit birimi, kaolen ve tavan opali arasındaki dokanak ilişkisi (Sarıkaya Tepe batı kesimi)

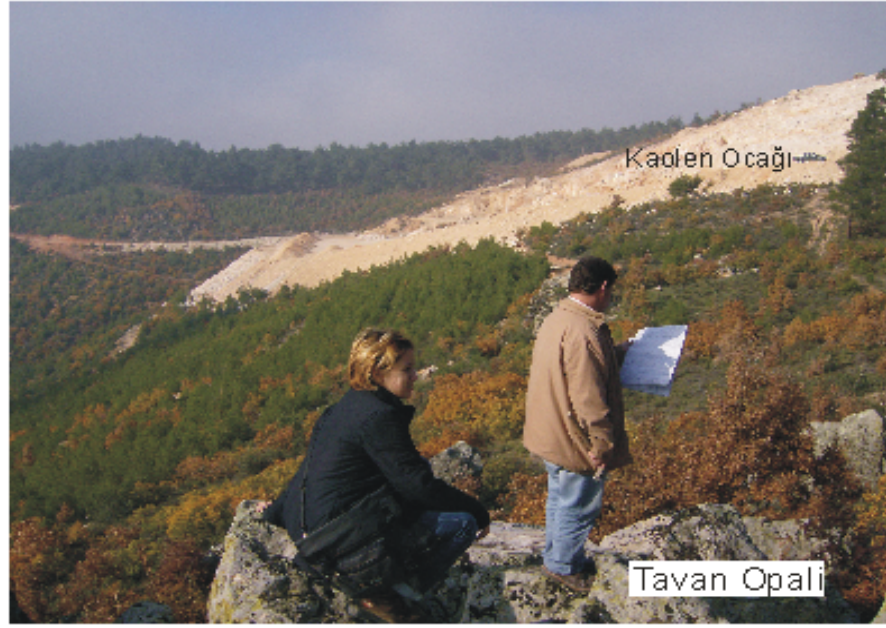
3.2.2.4 Tavan Opali

Kaolenin tavan kayası olup, opal-silisifiye-kaolinize tüfit ve opal içerisinde yersel kaolen mercceklerinin ardalanmasından meydana gelmektedir. Sözü edilen bu opal mercceklerinden dolayı bu birime genel olarak tavan opali denilmiştir. Bunlar 5-6 metre kalınlıkta olup, yer yer de belirgin tabakalanmalar gösterirler. Genellikle Sarıkaya Tepe ve Gölcük Tepe dolaylarında mostra veren, grimsi renkte olan tavan opali yer yer de grimsi beyaz ve kırmızımsı morumsu renklindedir (Şekil 3.13).

Eriyik haldeki silisin yukarıya doğru (genellikle fay ve çatlaklar boyunca) hareket edip, buradaki kayaçları ornatarak tamamen silisifiye etmesi sonucu kaolen yataklarının üst kesimlerinde silika zonlar (silica gossan) oluşmuştur. Silisleşmiş kayaçlar kaolinizasyon zonunun üzerinde örtü kayacı şeklindedir. İnceleme bölgesinin 1:25.000 ölçekli jeolojik haritasında, bu silika zonlar tavan opali olarak adlandırılmıştır (Şekil 3.14). Mikroskopik incelemelerde kuvars özelliğine sahip olduğu belirlenmiştir. Kaya içerisinde genellikle özşekilsiz ve dilinimsiz olan kuvars kristalleri tipik özelliklere sahiptir (Şekil 3.15).

Tavan opalinin üzerine diskordans olarak riyolitik tüfler gelmektedir. Taban volkanitleri, kaolen ve tavan opali sinjenetik olup, aralarında yersel uyumsuzluk yoktur, ve birbirleri ile tedrici geçişlidir [5, 6].

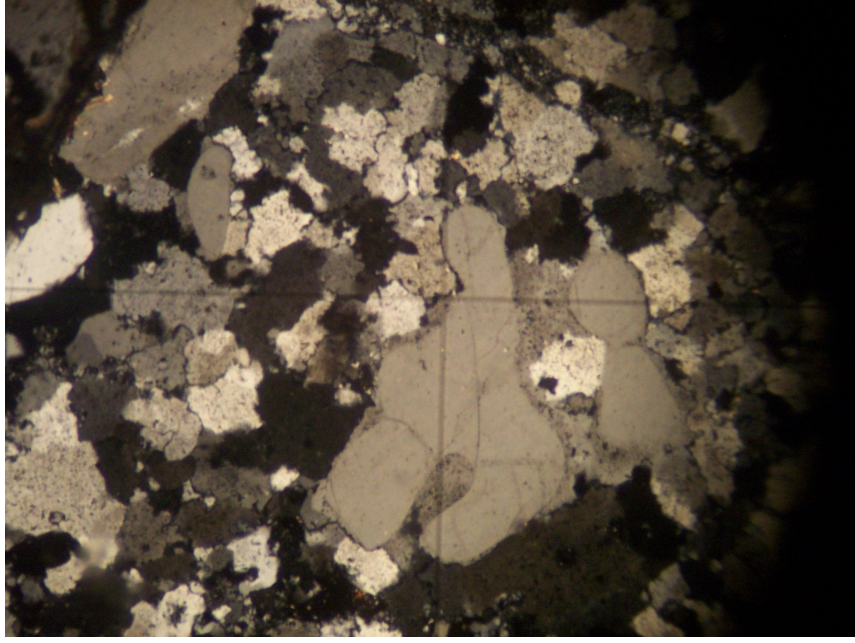
Tavan opali birimini yerleşim yaşı daha önceki çalışmalarda Miyosen olarak verilmiş ise de, burada bölgedeki oluşum sırası dikkate alınmış ve Pliyosen olarak kabul edilmiştir [6].



Şekil 3.13 Tavan opali ve kaolen ocağından genel bir görünüm
(Sarıkaya Tepe)



Şekil 3.14 Tavan opalinden genel bir görünüm
(Gölcük Tepe)



Şekil 3.15 Tavan opaline ait ince kesitte gözlenen kuvars kristalleri
(Çift Nikol, X100, Örnek No: O-1, Sarıkaya Tepe)

3.2.2.5 Riyolitik Tüf

İnceleme alanının güneybatısında, Dikmen Tepe, Çiğdem Tepe ve Bekir Tepe civarlarında yüzlekler veren riyolitik tüfler Pliyosen yaşında kabul edilmiştir [5].

Mostra veren kısımlarda kirlili beyaz, bej, pembemsi renkleri ile kaolinize riyolitik tüf görünümünde olup, silisifiye olduğu yerlerde de opalleşmiştir (Şekil 3.16).

Etrafında pomza (sünger taşı) parçaları mevcut olduğundan diğer piroklast ve

volkanitlerden kolayca ayrılır. Kristal muhtevaları oldukça azdır. Gözle görülebilir seyrek feldspat, kuvars ve biyotit kristalleri vardır.

Yüzeyden derinlere doğru rengi daha da beyazlaşmakta ve yüzeysel kirlenme azalmakta, Al_2O_3 değeri de artmaktadır. Yüzeyde görülen silisleşme ve opalleşme derinlere doğru azalmaktadır [7].

Çiğdem Tepe'den alınan riyolitik tüf üzerinde daha önce yapılan petrografik incelemelerde kriptokristalin dokuya sahip oldukları gözlenmiştir. Plajiyoklas ve biyotit fenokristalleri, kısmen volkanik cam ve plajiyoklas mikrolitlerinden oluşan, yer yer kloritleşmiş mikrokristalin bir hamur maddesi içindedir [7]. Riyolitik karaktere sahip tüflerde, ayrılmış camsal matriks içerisinde az miktarda kuvars kristalleri görülmektedir (Şekil 3.17).

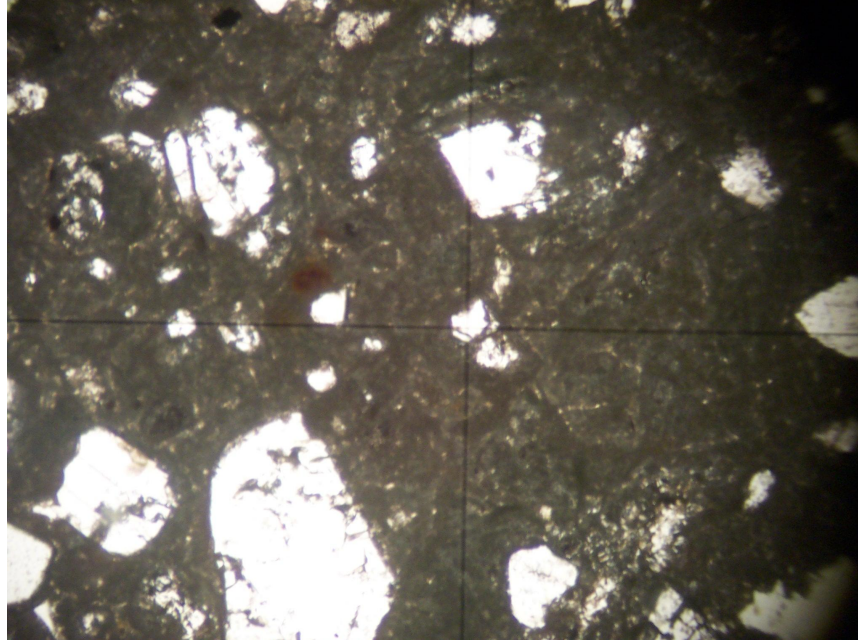
Riyolitik tüf, bahsedilen diğer birimler üzerine yersel uyumsuz olarak gelir.

3.2.2.6 Alüvyon

Bölgedeki en genç birim olan alüvyonlar, çakıl, kum ve siltlerin gevşek bir şekilde depolanmaları sonucu oluşmuştur. Simav çayı ve bu çaya akan sulu ve kuru derelerde Kuvaterner yaşlı alüvyon oluşmuş, halen de oluşmaya devam etmektedir. Alüvyonel malzemenin kalınlığı 10 -15 metre civarında olup, tüm birimlerin üzerini uyumsuzlukla örtmektedir [5].



Şekil 3.16 Kaolinize riylit tufden genel bir görünüm
(Çiğdem Tepe güney-batı kesimi)



Şekil 3.17 Riyolitik karakterli camsal-kristal tüfteki camsal malzemenin ayrışması
(Çift Nikol, X100, Örnek No: O-1, Çiğdem Tepe)

3.3 İnceleme Alanında Volkanizma ve Tektonik Faaliyet

Bölgede Üst Kretase yaşlı karmaşık seri ile üzerine gelen Neojen yaşlı piroklastik malzemenin oluşturduğu göl çökelleri ve volkanitleri arasında uyumsuzluk vardır.

Karmaşık seri içerisinde yer alan filiş karakterli sedimanlar kıvrımlanmışlardır. Eğim terslenmeleri sıkça görülürse de genel doğrultuları GD-GB'dır. Filiş karakterli sedimanlar içinde görülen kısmen şistleşmiş bazik volkanit kayaların tektonik olarak yer almış olması muhtemeldir [8].

Tersiyer volkanik faaliyetleri Kuzey Anadolu Pontid tektonik kuşağında Miyosen'de, Anatolid tektonik kuşağında Pliyosen'de başlamıştır. İnceleme alanımız Anatolid tektonik kuşağında yer almaktadır [4-9].

Çalışma alanında volkan konisi belirlenememiştir. Sındırgı'nın doğusunda yer alan Dopmuş Dağı'ndaki volkan konisinin varlığı daha önceki çalışmalardan bilinmektedir [5]. Bölgedeki volkanik aktivite ve göl havzalarının oluşumu; Tersiyer döneminde meydana gelen graben ve horstları oluşturan yer kabuğu hareketi ile yakından ilişkilidir. İnceleme alanımızda Simav grabeni içinde yer almaktadır. Grabenin derin kenar fayları boyunca bölgede yer alan volkanitler oluşmuştur. Bu volkanitlerde birbiri üzerine uyumsuz olarak yer alırlar [5, 8].

Kaolen yatağını kesen ve onların yer yer ana yataktan atılmasına sebep olan GD-KB doğrultulu düşey faylar, Simav çayının her iki yakasında mevcut olup, basamak faylar şeklinde Simav çayına kadar inerler. Ayrıca bu faylara yaklaşık dikey olarak yer alan KD-GB doğrultulu faylarda mevcuttur [7, 8, 4].

İnceleme alanında gözlenmeyen bu faylar, muhtemelen volkanitlerin çıkış yollarını meydana getirmiştir. Fayların hareketi volkanik faaliyetin süresince devam etmektedir. Bölgede, günümüzde meydana gelen yer sarsıntıları sözü edilen faylarda meydana gelen hareketler sonucu olabilir.

4. MİNERALOJİ

4.1 X-Işınları Difraksiyonu (XRD) İncelemeleri

Danaçayır kaolen yatağından derlenen 3 adet örnek üzerinde, kaolenlerin mineralojik bileşimlerini belirlemek amacıyla XRD (X-Işınları Difraksiyonu) incelemeleri yapılmıştır. XRD kayıtlarına göre, Danaçayır kaolenlerine ait kil bileşenin esas minerali kaolinittir. Kuvars ise diğer bileşen olarak izlenir (Çizelge 1.1). Kaolinit, özellikle feldspatlar olmak üzere, diğer alüminyum silikatların ikincil

alterasyon ürünü olarak veya bazen hidrotermal alterasyonla oluşan sıcak, geçirgen kayalarda, rutubetli bölgelerde ve topraklarda çok bol bulunan bir alüminyum silikat mineralidir. Kaolinitin büyük ölçekli gösel, lagüner veya ikincil çökelleri büyük ekonomik öneme sahiptir. Bu çökellerin bileşimindeki iri kuvars kristalleri kolayca bileşimden uzaklaştırılabildiğinden dolayı değerlidir. Kaolinit eğer kağıt kaplamada kullanılacaksa kuvars içermesi istenmez [10].

İyi kristalin bir kaolinitin tipik X-ışınları örgüsü ve en iyi yansımaları 7.06 Å, 3.573 Å, 2.279 Å, 1,781 Å ve 1.429 Å çizgileriyle belirlenir. Bunların birincisi birim hücre boyu olan 001 yansımasıdır, diğerleri ise sırasıyla (002), (003), (004) ve (005) yansımalarıdır [11, 12].

Danaçayır bölgesinden derlenen 3 adet kaolen numunesi de kaolinit + kuvars mineral parajenezine sahiptir (Şekil 4.1, 4.2, 4.3). Kaolinit mineralinin d(001) yüzeyine ait yansımaları 7.26 Å, 3.60 Å, 2.33 Å, 1.98 Å, 1.67 Å olarak tespit edilmiştir. Kuvars minerali ise 4.29 Å, 3.37 Å, 2.46 Å, 2.13 Å, 1.82 Å, 1.54 Å, 1.37 Å yansımaları ile belirlenmiştir (Çizelge 1.2).

XRD sonuçlarında feldspatlara rastlanılmaması, bu minerallerin tamamıyla killeştiğini göstermektedir.

Çizelge 1.1 İnceleme konusu kaolenlerin mineral bileşimleri
(K-1 : Sarıkaya Tepe Ocağı'ndan derlenen kaolen numunesi)
(K-2 : Sarıkaya Tepe Ocağı'ndan derlenen kaolen numunesi)
(K-3 : Turgut Tepe Ocağı'ndan derlenen kaolen numunesi)

Kaolen Numune No

K-1

Mineralojik Bileşim

Kaolinit + Kuvars

K-2

Kaolinit + Kuvars

K-3

Kaolinit + Kuvars

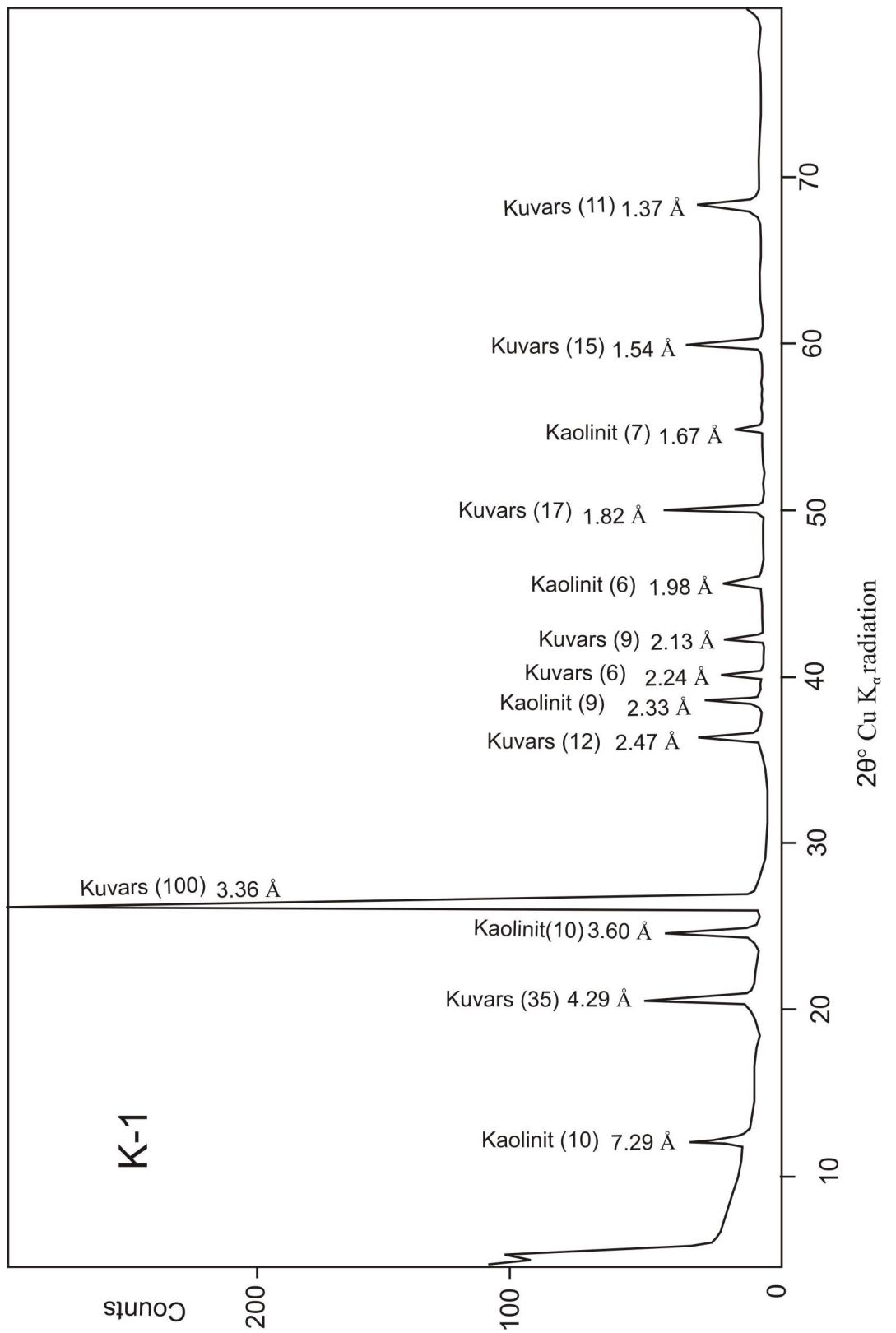
Çizelge 1.2 İnceleme konusu kaolenlerin, X-Işını difraktogramında gözlenen yansıma değerleri

(K-1 : Sarıkaya Tepe Ocağı'ndan derlenen kaolen numunesi)

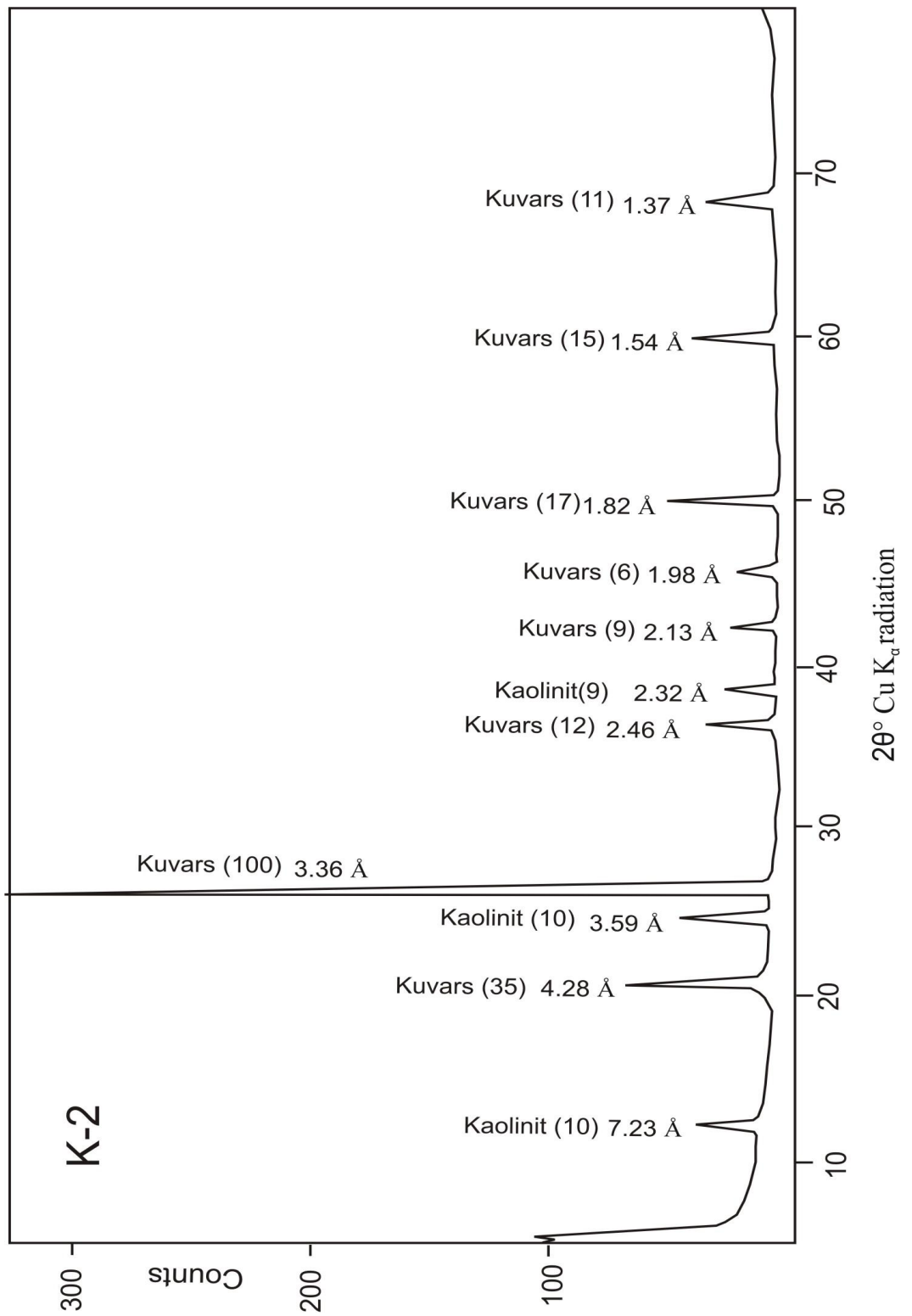
(K-2 : Sarıkaya Tepe Ocağı'ndan derlenen kaolen numunesi)

(K-3 : Turgut Tepe Ocağı'ndan derlenen kaolen numunesi)

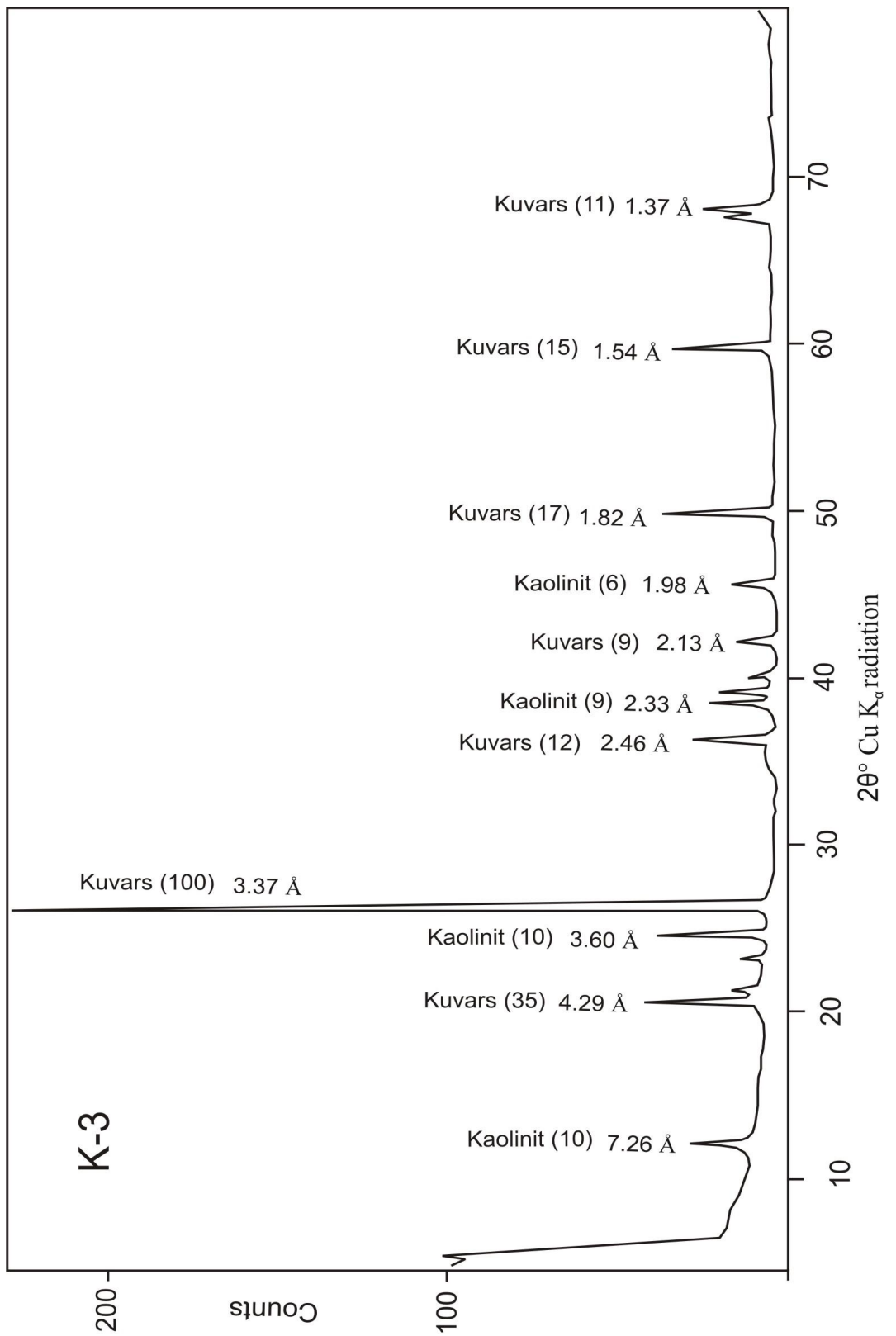
Numune No : K - 1								
Kaolinit	7,29 Å	3,60 Å	2,33 Å	1,98 Å	1,67 Å			
Kuvars	4,29 Å	3,36 Å	2,47 Å	2,24 Å	2,13 Å	1,82 Å	1,54 Å	1,37 Å
Numune No : K - 2								
Kaolinit	7,23 Å	3,59 Å	2,32 Å	1,98 Å				
Kuvars	4,29 Å	3,36 Å	2,46 Å	2,13	1,82 Å	1,54 Å	1,37 Å	
Numune No : K - 3								
Kaolinit	7,26 Å	3,60 Å	2,33 Å	1,98 Å				
Kuvars	4,29 Å	3,37 Å	2,46 Å	2,13 Å	1,82 Å	1,54 Å	1,37 Å	



Şekil 4.1 Kaolen-1 numunesine ait X-ışını difraktogramı



Şekil 4.2 Kaolen-2 numunesine ait X-ışını difraktogramı



Şekil 4.3 Kaolen-3 numunesine ait X-ışını difraktogramı

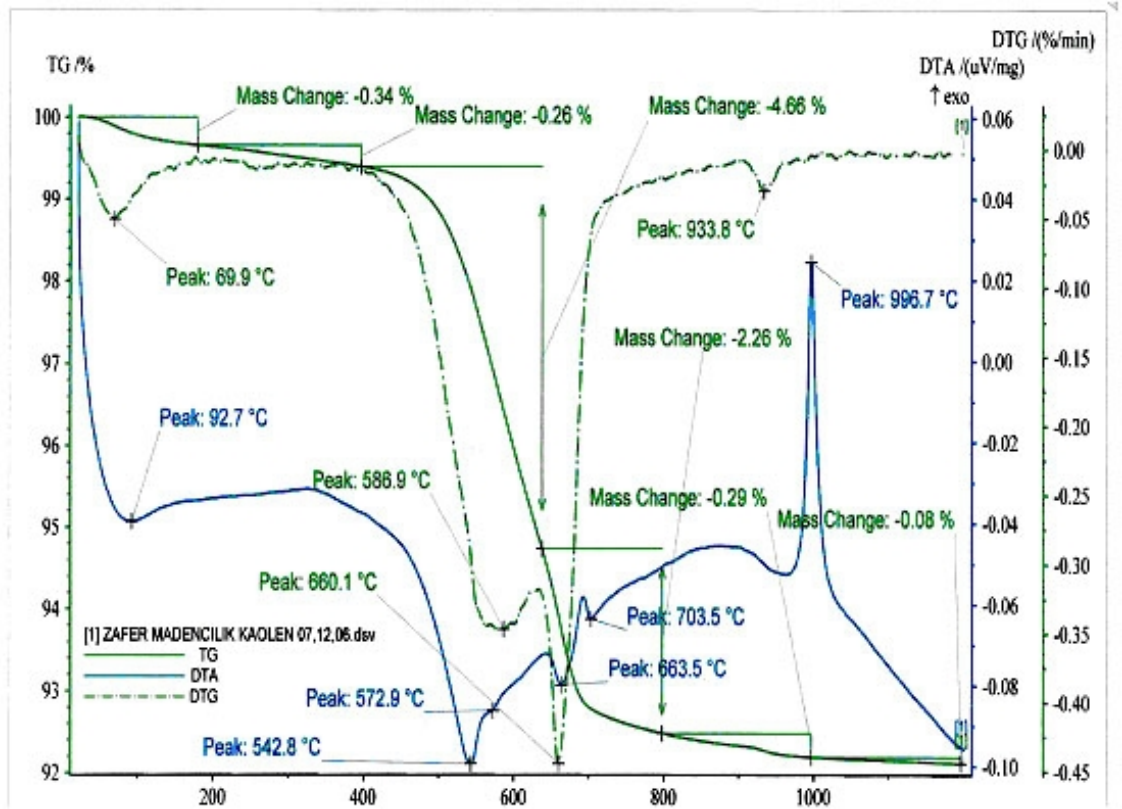
4.2 Diferansiyel Termik Analizi (DTA) İncelemeleri

Kaolinit grubu minerallerin DTA eğrileri dehidrasyon ve yapının bozulması sonucu 530°C- 700 °C arasında kuvvetli endotermik pik verirler. Orta kuvvetli bir ekzotermik pik ise spinel fazının kristalizasyonuna bağlı olarak 940 °C-1000 °C arasında meydana gelir. Dikit ve nakrit gibi minerallerin daha yüksek sıcaklıkta (sırasıyla 600-650 °C ve 700 °C) endotermik reaksiyon verdikleri göz önüne alınırsa [13] Danaçayır kaolen örneklerinin tipik kaolinit olduğu belirtilebilir. Halloysit ($Al_2[(OH)_4Si_2O_5].2H_2O$) ise, 110 °C-130 °C’de ek bir endotermik pik ile karakterize olur. Bu pik tabaka arasındaki suyun evaporasyonu ile ilişkilidir. Mineralin dehidrasyonu (su kaybı) nedeniyle oluşan ana endotermik pik %5 civarında ağırlık kaybı gösterir [14].

Dekompozisyon sıcaklığı şu şekilde bir sınıflama yapmamıza yarar sağlar. Çok düzensiz ($t_d < 530$ °C), güçlü düzensiz ($t_d = 530-555$ °C), az düzensiz ($t_d = 555-575$ °C), az düzensiz ($t_d > 575$ °C) [15].

Danaçayır kaolenlerinin DTA incelemeleri sonucunda numunede 25-150 °C sıcaklık aralığında kaybedilen fiziksel su miktarı % 0.34 olarak belirlenmiştir. DTA eğrisinde ana endotermik pik 543 °C’de bulunmuştur. 543 °C’de gözlenen endotermik pikler ilgili kaolinit örneklerindeki kristal bağlı sularının kaybedildiğini ifade etmektedir [15]. Bu olay aynı zamanda kaolinitik yapının metakaolinite dönüştüğünü gösterir. Kaolinitik killerde 580 °C’den düşük değerlerdeki endotermik pikler düzensiz kaolinit için tipik pikler olarak verilmektedir [15,16]. Ayrıca 663 °C ve 704 °C’de endotermik piklere rastlanmaktadır. Bu reaksiyonlara bağlı olarak numunede toplam % 6.96 ağırlık kaybı görülmektedir. DTA eğrisinde 997 °C ’de

spinel fazının kristalizasyonuna bağlı olarak ekzotermik pik belirlenmiştir (şekil 4.4).



şekil 4.4 İnceleme konusu kaolenlerin DTA eğrisi

Numune No : K-1 (Sarıkaya Tepe Ocağı'ndan derlenen kaolen numunesi)

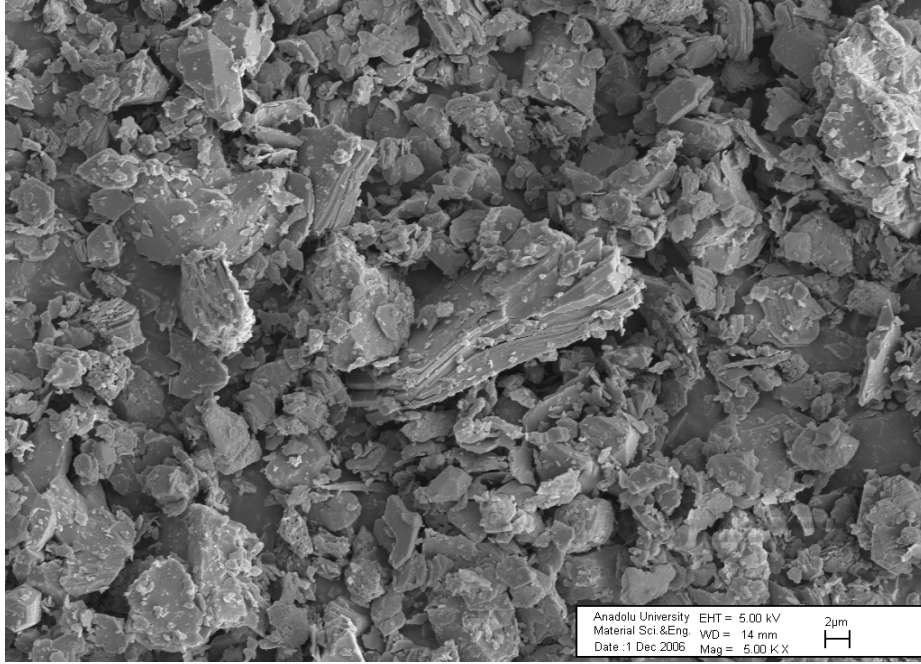
4.3 Taramalı Elektron Mikroskop (SEM) İncelemeleri

Kaolen grubunun esas bileşeni olan kaolinit mineralinin morfolojik yapısının ortaya konabilmesi, kaolinitin diğer minerallerle ilişkisini belirleyebilmek amacıyla Taramalı Elektron Mikroskopu (SEM) incelemesi yapılmıştır.

Kaolen grubu minerallerinden kaolinit SEM incelemelerinde düzenli şekilli belirgin heksagonal görünümde, iri kristaller halinde, kitabımsı yığılımlar halinde veya kurtçuklar halinde bulunabilir. Bununla birlikte belirgin olmayan dış görünümdeki oldukça küçük kristaller halinde de bulunabilir [17, 18, 19, 20]. Tüpümsü morfoloji ise genellikle halloysit minerali için karakteristiktir.

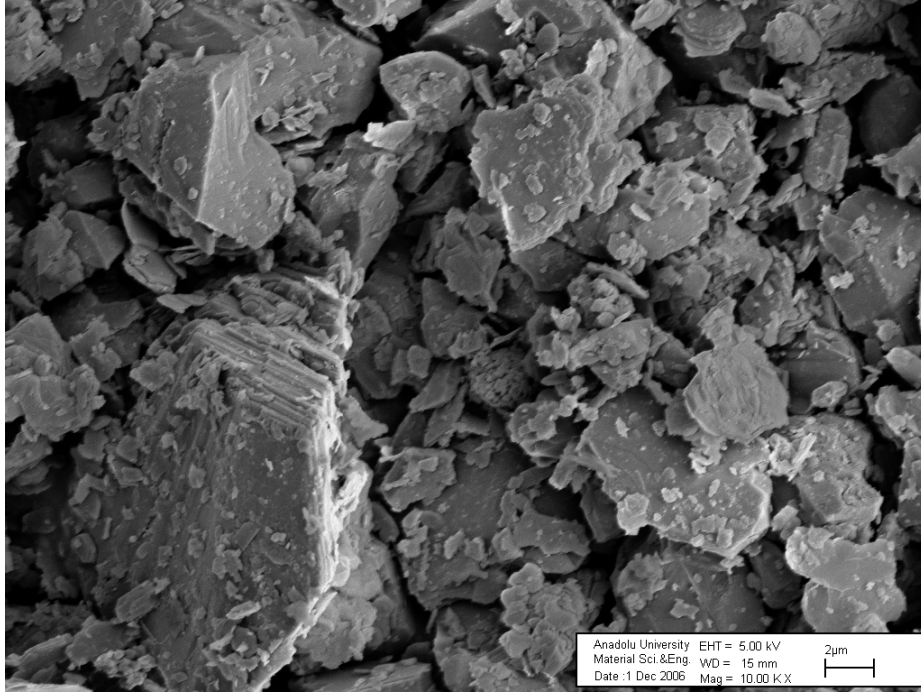
Danaçayır bölgesinden derlenen kaolen örneğinin yapılan SEM incelemesinde tipik kaolinit morfolojisine ait görüntüler elde edilmiştir. Kaolinit mineraline özgü heksagonal görünümlü kitabımsı yığılımlar belirlenmiştir (Şekil 4.5). Kristaller arası porozite yüksektir. Heksagonal kaolinit kristalleri gevşek bir şekilde kitap yapıları oluşturmaktadır (Şekil 4.6).

Kaolinit minerallerinin gevşek veya sıkı paket dokusunun, onların jenetik ortamına işaret edebileceği belirtilmektedir [19, 21]. Gevşek dokuya sahip hidrotermal kaolenleşmenin yüzey ve/veya yüzeye yakın koşullarda geliştiğini, derinlerdeki kaolenleşmede ise üstteki kayaçların yük basıncından dolayı sıkı paket dokusunun, dolayısıyla düşük porozitenin gelişeceği ileri sürülmektedir. Danaçayır kaolenlerinin gevşek yapısından dolayı, kaolen oluşumunun çok derinlerde vuku bulmadığı, ana kayaç üzerinde yer alan kütlelerin fazla kalın olmadığı ve çok fazla olmayan basınç nedeniyle de poroz yapının korunduğu sanılmaktadır. Benzer ilişkiler, Eskişehir-Kırka yöresi kaolen yataklarında da elde edilmiştir [22, 23].



Şekil 4.5 İnceleme konusu kaolenlerin heksagonal görünümlü morfolojisi

(Numune No : K-1)



Şekil 4.6 İnceleme konusu kaolenlerin heksagonal görünümlü, kitabımsı morfolojisi (Numune No : K-1)

5. JEOKİMYA

İnceleme alanında, derlenen 15 kaolen ve 2 tuf numunesi olmak üzere toplam 17 numunenin ana element ve iz element incelemeleri yapılmıştır. Alterasyon süresince gelişen element mobilizasyonu normalize edilmiş diyagramlar ile gösterilmiştir.

5.1 Ana Elementler

Danaçayır kaolenlerinden derlenen 15 örnek üzerinde ana ve iz element çözümlenmeleri yapılmıştır. İnceleme konusu olan kaolenlerin ana element içerikleri; SiO₂: % 70.07 – 76.40, Al₂O₃: % 16.16 – 19.18, Fe₂O₃: % 0.45 – 1.40, MgO: % 0.017 – 0.019, CaO: % 0.05 – 0.12, Na₂O: % 0,04, K₂O: % 0.04 – 0.33, TiO₂: % 0.32 – 0.44, Cr₂O₃: % 0.009 – 0.012, SO₃: % 0.25 – 0.55 değerleri arasında değişmektedir (Çizelge 2.1).

İnceleme alanında taze tüflerden derlenen 2 örnek üzerindeki ana element içerikleri ise; SiO₂: % 67.64 – 67.85, Al₂O₃: % 20.59– 20.62, Fe₂O₃: % 0.50 – 0.63, MgO: % 0.17, CaO: % 0.10 – 0.11, Na₂O: % 0,43, K₂O: % 0.14 – 0.16, TiO₂: % 0.30, Cr₂O₃: % 0.005 – 0.006, SO₃: % 0.28 – 0.29 değerleri arasındadır (Çizelge 2.1).

Alterasyon süresince tüften kaolene Si, Fe ve Ti, Cr ve S bakımından bir zenginleşme; Al, Na, K, Mg ve Ca 'ca bir fakirleşme söz konusudur. Kaolen ve tüflerin ana element içerikleri Çizelge 2.1 'de verilmiştir. Bu sonuçlar, Bilecik-Söğüt [24] ve Eskişehir-Kırka [22] yöresi kaolen yataklarında elde edilen element mobilizasyonlarıyla benzerdir.

Alterasyon süresince ana elementlerin mobilizasyonu (hareketleri) kaolenlerin element içeriklerinin ana kaya (Tüf) numunesinin ana element içeriklerine göre normalize edilmiş diyagramında gösterilmektedir. Buna göre 1 'in üzerindeki değerler element zenginleşmelerini, 1'in altındaki değerler ise fakirleşmeleri göstermektedir (Şekil 5.1).

Alterasyon süresince kaolenler Ca, Mg ve alkalilerce fakirleşme gösterirken, Si, Fe, Cr ve S bakımından ise zenginleşmiştir. Ti ve Al ayrışma (weathering), sedimentasyon, diyajenez ve metamorfizma koşullarında duraylı düşünülebilir [25]. Bu yüzden az hareketliliğe sahip Al ve Ti alterasyon süresince immobil davranmıştır.

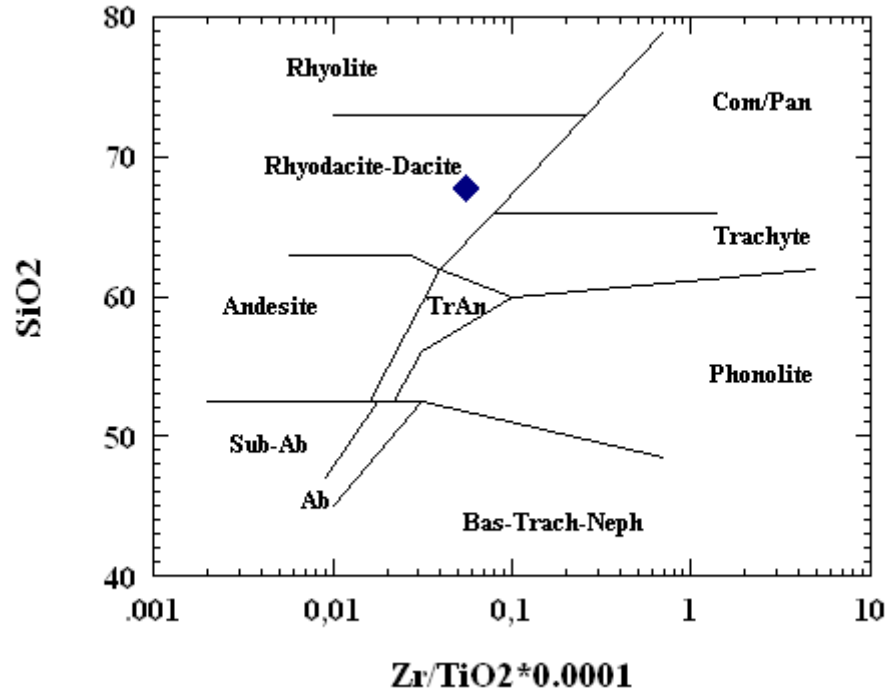
Tüflerin karakterini belirlemek amacı ile Whinchester ve Floyd (1977) diyagramı kullanılmıştır. SiO₂ ve Zr/TiO₂ değerlerine göre diyagrama düşürülen tüf numunesinin riyodasit-dasit bileşiminde olduğu belirlenmiştir (Şekil 5.2) [26]. Sındırgı-Sinandede yöresinde de riyolitik ve dasitik tüflerin hidrotermal alterasyonu sonucu oluşmuş bir kaolenleşme mevcuttur. Ana minerali kaolinit olup % 40 kaolinit, % 50-60 silis ve % 5 diğer mineraller şeklinde dağılım söz konusudur. Bu bölge kaolenleri yumuşak olup süzmede yüksek verim elde edilmektedir [27].

Çizelge 2.1 Kaolen ve Tüflere ait ana element içerikleri (%)
(K: Kaolen, T: Tüf (ana kaya))

NO	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	TiO ₂	Cr ₂ O ₃	SO ₃	Toplam
K-1	71,18	18,73	1,01	< 0,017	0,07	< 0,04	0,04	0,39	0,011	0,32	91,8
K-2	71,77	18,57	0,83	< 0,017	0,08	< 0,04	0,05	0,39	0,010	0,32	92,0

K-3	72,99	17,68	0,98	< 0,017	0,07	< 0,04	0,05	0,39	0,009	0,27	92,5
K-4	70,60	18,95	1,19	< 0,017	0,07	< 0,04	0,07	0,39	0,010	0,31	93,0
K-5	70,07	18,93	1,40	< 0,017	0,12	< 0,04	0,11	0,40	0,010	0,46	93,4
K-6	71,16	19,13	0,70	< 0,017	0,07	< 0,04	0,04	0,38	0,009	0,32	92,3
K-7	74,20	17,27	0,62	< 0,017	0,08	< 0,04	0,04	0,42	0,009	0,31	93,8
K-8	74,81	16,95	0,59	< 0,017	0,08	< 0,04	0,33	0,41	0,009	0,29	94,5
K-9	72,14	18,27	0,76	< 0,017	0,09	< 0,04	0,04	0,41	0,009	0,43	92,8
K-10	71,28	19,18	0,52	< 0,017	0,07	< 0,04	0,04	0,38	0,009	0,32	92,1
K-11	76,40	16,16	0,45	< 0,017	0,06	< 0,04	0,23	0,43	0,010	0,30	92,6
K-12	74,18	17,19	0,64	0,018	0,09	< 0,04	0,05	0,44	0,009	0,41	92,4
K-13	73,68	16,60	1,37	< 0,017	0,10	< 0,04	0,09	0,38	0,012	0,55	92,9
K-14	71,81	18,51	0,98	< 0,017	0,05	< 0,04	0,04	0,32	0,010	0,25	94,2
K-15	71,26	18,33	1,21	0,019	0,11	< 0,04	0,09	0,42	0,009	0,44	92,7
T-1	67,64	20,59	0,50	0,174	0,11	0,43	0,14	0,30	0,005	0,29	90,2
T-2	67,85	20,62	0,63	0,179	0,10	0,43	0,16	0,30	0,006	0,28	90,5

Şekil 5.1 Ana kayaya (tüf) göre normalize edilmiş kaolenlerin ana element değişim diyagramı.



Şekil 5.2 İnceleme alanındaki dasitik tüfün Winchester ve Floyd (1977)'a göre kaya adlaması

5.2 İz Elementler

Alterasyon süresince iz elementlerin mobilizasyonu (hareketleri); kaolenlerin element içeriklerinin ana kaya (Tüf) numunesinin iz element içeriklerine göre normalize edilmiş diyagramında gösterilmektedir. Buna göre 1'in üzerindeki değerler element zenginleşmelerini, 1'in altındaki değerler ise fakirleşmeleri göstermektedir (Şekil 5.3).

Buna göre, alterasyon süresince kaolenler Hf, Zr, Ta, Ga, Sr ve Ba gibi elementler fakirleşme gösterirken, Y, Nb ve Rb elementleri bakımından zenginleşme göstermektedir. Th ve U elementleri, alterasyon ve sedimanter oluşumlarda taşınma sırasında duraylılık gösterirler [28]. İnceleme konusu örneklerin Th ve U element içerikleri immobil davranış gösterip, duyarlılıklarını korumuşlardır (Çizelge 2.2). Elde edilen bu sonuçlar, değişik bölgelerdeki çalışmalarla benzer özellik sunmaktadır [28, 29, 30].

İnceleme alanındaki kaolen yataklarından alınan kaolen örneklerinin analiz sonuçları Çizelge 2.2 'de verilmiştir.

Çizelge 2.2 Kaolen ve Tüflere ait İz Element İçerikleri (ppm)
(K: Kaolen, T: Tüf (ana kaya))

NO	Ba	Ga	Hf	Nb	Rb	Sr	Ta	Th	U	Zr	Y
K-1	316.00	12.30	2.10	13.40	96.00	210.60	1.40	19.30	6.20	49.40	17.10
K-2	322.00	15.70	2.40	15.80	97.80	203.70	1.70	18.50	5.40	54.90	21.60
T-1	737.00	17.00	8.20	9.90	3.01	577.9	3.90	21.90	4.80	126.4	10.50
T-2	741.00	19.00	8.27	9.90	3.03	611.7	3.80	22.70	5.20	128.2	10.60

Sr miktarındaki azalma Ca, Mg ve alkaliler ile birlikte hareket ettiğini göstermektedir. Buna bağlı olarak Sr ve Rb elementlerinin arasında şöyle bir ilişki vardır. Kayaçta Rb miktarı Sr miktarı ile ters orantılıdır. Feldspat, illit, alunit kil yataklarında Sr kaynağıdır [28].

şekil 5.3 Ana kayaya (tuf) göre normalize edilmiş kaolenlerin iz element değişim diyagramı.

6. KİL VE KİL MİNERALLERİ

Kil kavramı sedimentolojik olarak ana kayacın aşınması ve ayrışması sonucu yerinde ya da çökme havzalarında birikerek oluşan, 2 mikrondan daha küçük tane boyutuna sahip sulu alüminyum silikat bileşimli kil mineralleri karışımını ifade eder [31]. Bazı killer bir cins kil minerallerinden, bazıları da birkaç cins kil minerallerinin karışımından meydana gelmektedir. Killere içinde kil minerallerine ilaveten kuvars, kalsit, feldspat ve pirit gibi mineraller “kil olmayan malzeme” olarak bulunurlar. Birçok kil malzemeleri de organik maddeleri ve suda çözülebilen tuzları ihtiva ederler [32].

Kil mineralleri kristal yapılarına göre ikiye ayrılmaktadır [33];

1. Amorf Olan Kil Mineralleri (Allofan Grubu)

2. Kristalin Olan Kil Mineralleri

A- İki Tabakalı Kil Mineralleri: Bu grupta olan kil mineralleri bir kat silika tetraederi ve bir kat alümina oktaederi tabakasından oluşmuştur.

- Eşit boyutlu olanlar;
Kaolen grubu (Kaolinit, dikit, nakrit)
- Bir yönde uzamış olanlar;
Halloysit grubu

B- Üç Tabakalı Kil Mineralleri: Bu grupta olan kil mineralleri iki kat silika tetraederi ve ortada bir kat dioktaedral veya tiroktaedral tabakasından oluşmuştur.

1- Genişleyen Kristal Hücreleri;

- Eşit boyutlu montmorillonit grubu
(Montmorillonit, savkonit, vermikülit)
- Bir yönde uzamış montmorillonit grubu
(Nontronit, saponit, hektorit)

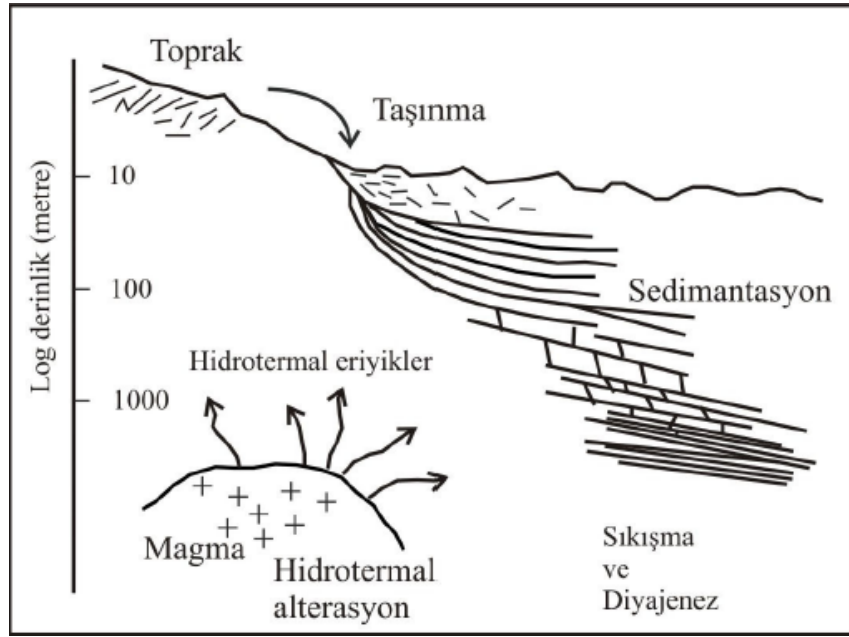
2- Genişlemeyen Kristal Hücreli: (illit grubu)

- Düzenli, karışık tabakalı olanlar: (klorit grubu)
- Zincir yapısında olanlar: (Atapul, sepiyolit, paligorskit)

6.1 Killerin Oluşumu

Killerin oluşumu temelde feldspatca zengin kayaların su alması (hidroliz) olayıdır. Kil minerallerinin olduğu ortamlar yer yüzeyi ve yer yüzeyine yakın bölgelerdir. Jeolojik süreç içerisinde killerin oluşumu belirli sıcaklık ve zaman koşullarında gerçekleşir.

Ayrışma sonucu oluşan killerin sedimanter havzalara taşınımı ve buralarda gömülmesi sonucu bir başka minerale dönüşmesi kil döngüsü olarak adlandırılmaktadır (Şekil 6.1). Döngünün her aşamasında, killer kendi kimyasal, sıcaklık ortamları, özellikleri ve tür değişiminden sorumludur. Toprak oluşumu, erozyon, sedimantasyon ortamına taşınma, sedimantasyon, gömülme diyajenezi ve killerin mika ve diğer kil olmayan minerallere dönüştüğü metamorfizma gibi jeolojik ortamlar döngüyü oluşturmaktadır. Metamorfik kayalar yüzeyleyerek tekrardan toprak kilini oluşturarak yeni bir döngü başlamaktadır. Bu ortamlardan kısaca bahsedilmiştir [34].



Şekil 6.1 Kil döngüsünün şematik görünümü [34]

Kil minerallerinin oluşumu şu yollarla gerçekleşmektedir [34].

1. Diyajenez
2. Hidrotermal alterasyon
3. Ayrışma

6.1.1 Diyajenez

Sedimanter kayaçların önemli bir bileşeni olan kil mineralleri sedimentasyon evresinden ileri diyajenez evresine kadar önemli mineralojik dönüşümlere uğrar. Kil minerallerinin her bir grubunda farklı farklı olan mineralojik dönüşümlerin tümü diyajenetik mineral dönüşümleri olarak tanımlanmaktadır. Diyajenez, bir sedimanın

depolanmasından metamorfizmasına kadar uğrayabileceği tüm dönüşümlerdir. Bu dönüşümleri ortaya çıkaran etkenlerin başlıcaları yerçekimi ivmesinden kaynaklanan sıvı ve katı basınçları, sıcaklık ve zamandır.

Kil minerallerinin diyajenetik gelişimindeki safhalar çok az anlaşılmıştır. Bu nedenle safhalara kesin sınırlar koymak mümkün değildir. Diyajenez ile ilgili safhalar aşağıda verilmektedir.

1. Erken

diyajenez (sığ gömülme safhası) : Bu safhada bütün kil mineralleri kararlıdır, bazılarında Mg, K ve Na absorpsiyonu gerçekleşir, bazıları (smektitler) ise yeniden oluşur.

2. Orta diyajenez (derin gömülme safhası) : Bu safhada sediman tıkızlaşır, gözenek suyunun en azından % 50 'sini kaybetmiştir. Gözeneklilik yüksektir ve sirkülasyon hala önemli rol oynamaktadır. Tüm kil mineralleri hala kararlıdır. Fakat dokusal sirkülasyon nedeniyle bir çok türde yer değiştirme oluşur. Kaolinitin dikitleşmesi ve smektitin illitleşmesi gözlenmektedir.

3. Geç diyajenez : Bu safhada sıcaklık 100 °C 'den yüksektir ve basınç artar. Smektitler ve düzensiz karışık katmanlı kil mineralleri kaybolur. Asidik ortamda kaolinit, dikit halinde yeniden kristallenir. Bu değişiklikler tersinir değildir.

4. Ankizon (Ankimetamorfizma zonu) : Bu metamorfizmaya geçiş zonudur. 200-350 °C arasındaki sıcaklıklarda sınırlanır. Tabaka silikatları olarak hemen hemen sadece illit ve klorit vardır. Diğer taraftan genellikle allewardit ile ilişkili olan profillit kadar dikit de gözlenir. İllitin kristallografik parametreleri metamorfik yeşil şist fasiyesinin alt sınırlarını tanımlar [35].

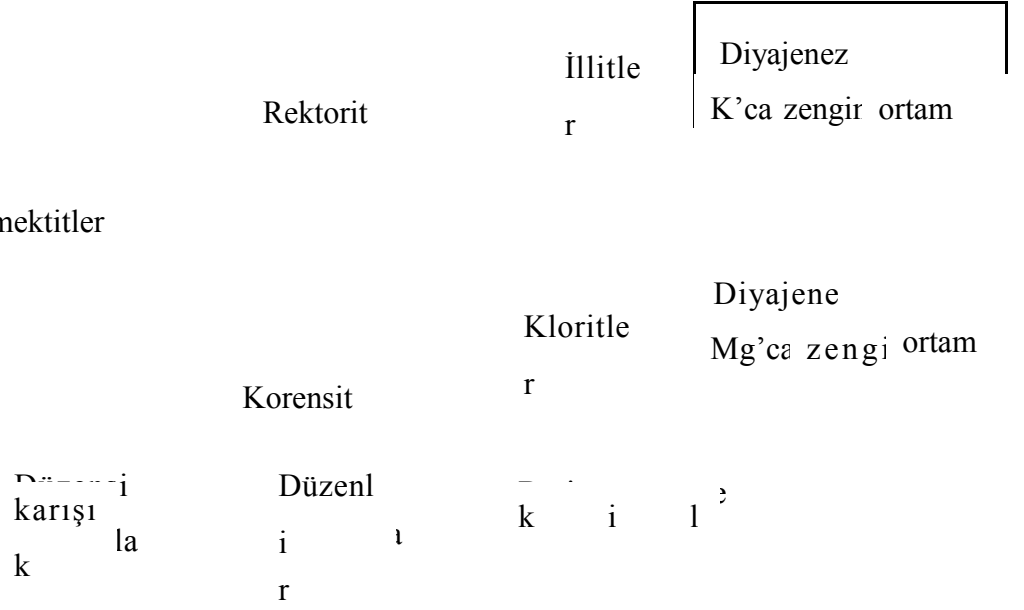
Kil minerallerinin diyajenez süresince smektit ve vermikülit gibi şişebilen killerin belirli minerallere dönüşümü söz konusudur. Diyajenez sonrası oluşan yeni mineraller kaolinit, illit ve klorittir.

Smektitler sulu mineraller olup, basınç ve sıcaklığın artmasıyla tabakalar arasındaki suyu atılır. Diyajenezle sağlanan yoğun intersitisiyal çözeltilerin kationları tabakalar arasındaki su moleküllerinin yerini alır. Bu tersinir olmayan bir reaksiyondur. Oluşan mineraller (14 Å) klorit veya (10 Å) illit ve genellikle karışık katmanlı yapılardır. Gömülmenin bir işareti olarak smektitlerin eksikliği normaldir (Şekil 6.2).

Kaolinit grubu mineralleri, yer kabuğunun yüzeysel zonlarıyla ilişkilidir ve bu zonlarda oluşmuşlardır. Diyajenez süresince jeokimyasal ortamlarda çok çabuk etkilenirler ve asidik koşullarda duraylı, alkali koşullarda duraysızdırlar. Bununla birlikte gömülme nedeniyle sıcaklığın artması ile kısa sürede bozunurlar. Metamorfizmaya geçiş zonunda kaolinit bulunmaz, yalnızca dikit ve nakrit asit ortamlarda gözlenmiştir [35].

Mikalı kil mineralleri ya da illit diyajenetik ortamlarda çok heterojen bir grup oluşturur. Kloritler, diyajenezde en az bilinen kil mineralleridir. Kıvrıntılı tanecikler erken diyajenez sırasında karışık katmanlı korensit kademesinden geçerek klorite dönüşebilirler. Kloritin masif büyümesi geç diyajenez ve ankizonda gözlenir [35].

Bozunma → Smektitler



Şekil 6.2

Smektitlerin diyajenetik dönüşümleri [35]

6.1.2 Hidrotermal Alterasyon

Hidrotermal alterasyon, yer kabuğunun görece sığ kesimlerindeki kayaların içlerinde dolaşan ısı yüklü akışkanların etkisi sonucu, kayalarda oluşan kimyasal ve mineralojik faz değişimleri olarak tanımlanır. Feldspatların kaolenleşmesi bunun bir örneğidir. Ayrıca hidrotermal akışkanın kattığı ya da çektiği gereçlerle kayada oluşan değişmelerde (örneğin silisleşme) bu kapsamda düşünülebilir. Isı (T), basınç (P) ve altere eden akışkanın bileşimine bağlı olarak yeni mineral oluşumları ortaya çıkar [36].

Hidrotermal alterasyon oluşturan ve geliştiren faktörlerin en önemlisi ana kayanın tabiatı ile cevher oluşturan çözeltinin veya hidrotermal akışkanın tabiatıdır. Bununla birlikte diğer önemli hususlar, ana kayacın tane boyu, fiziksel durum ve permeabilite ile hidrotermal çözelti için önemli olan basınç, sıcaklık, kimya, pH ve Eh'dir.

Alterasyon türleri, azalan hidrojen ornatımının şiddetine göre sıralanmış ve mineral birliklerine dayanan 5 gruba ayrılmıştır [37].

1. İleri killi topluluklar : Belirgin olarak dikit, kaolinit, profillit, serisit, kuvars, çoğunda alunit, pirit, turmalin bulunur.

2. Serisitli alterasyon: Serisit, kuvars ve pirit belirleyicidir. En yaygın alterasyon tipidir.

3. Ara killi alterasyon: Kaolinit ve montmorillonit grubu mineraller egemendir. Amorf killer yerel olarak önemlidir.

4. Propilitik alterasyon: Epidot, albit, klorit, karbonat, çoğunlukla serisit, pirit ve demir oksitleri.

5. Potasyum silikat toplulukları: Potasyum feldspat ve mikalar asıl minerallerdir. Klorit çok az, anhidrit ve pirit yaygın bir şekilde bulunmaktadır [37].

6.1.3 Ayrışma

Killerin oluşumu için önemli mekanizmalardan birisi olan ayrışma olayı hava ya da su ile meydana gelir yani kısaca hidroliz yoluyla gerçekleşir. Ayrışma sırasında oluşan kil kaya içindeki minerallerin fonksiyonudur. Ayrışma genellikle mekanik ve kimyasal olmak üzere ikiye ayrılır. Mekanik ayrışma esasen kayaların tahrip olmasını artırır, kimyasal ayrışma ise kayaların alterasyonu ile ilgilidir. Kimyasal ayrışmayı kontrol eden ana faktörler iklim (yağmur ve sıcaklık), ana kayaç, topoğrafya ve zamandır [38].

Bunların içinde yağmur kimyasal ayrışma olaylarını kontrol eden en önemli faktördür. Killer yağış seviyesinin arttığı yerlerde daha çok oluşur ve smektitten

(2:1), kaolinite (1:1) kadar mineraller oluşur ve sonunda daha yüksek yağış seviyelerinde oluşan demir ve alüminyum hidroksitlerine geçerler (Şekil 6.3).

Sıcaklık
ve zaman

Mineral Artıkları	2:1 killer	1:1 killer	oksitler
----------------------	------------	------------	----------

Şekil 6.3 Yağış miktarı ile oluşan kil minerali yapısı çeşitleri [354]

7. KAOLEN

Kaolen ismi, Çin'deki Jauchan Fu yakınlarındaki “ Kauling” tepesinden gelmektedir. Çinliler porselen yapmak için bu tepeden kil üretmişlerdir. Bu nedenle diğer adı Chine Clay (Çin kili) olan kaolenin saf haldeyken erime derecesi 1760 °C 'dir. Kaolen daha çok ılık ve nemli iklimlerde oluşmaktadır ve kimyasal formülü $2H_2O \cdot Al_2O_3 \cdot 2SiO_2$ 'dir [38].

7.1 Kaolenlerin Oluşumu

Kaolen, belli ortam ve koşullarda yer altı ve yer üstü sularının veya termal eriyiklerin volkanik kayaları bozuşmaya uğratması sonucu oluşan Al-hidrosilikat bileşiminde bir hammaddedir. Ekonomik bir tanımlama yapılırsa kaolen, büyük çapta saf kaolinit veya ilgili kil minarelerinden müteşekkil bir kil olup, doğal olarak beyaz veya beyaza yakın veyahut zenginleştirme prosesleri sonucunda beyaz renk kazanan bir hammaddedir. Genel formülü $2H_2O \cdot Al_2O_3 \cdot 2SiO_2$ olan kaolenler, saf

oldukları zaman beyaz renkli olup mat görünüştedir. Sertliği 2-2,5, özgül ağırlığı 2,2 gr/cm³ 'tür. 150-200 °C 'de yapılarındaki suyu kaybederler.

Kaolen ana kayasının başlıca minerali olan ortoklaz % 64,5 SiO₂ , % 18,5 Al₂O₃ ve % 17 K₂O içerir. Yer altı ve yerüstü sularının veya asidik termal eriyiklerin etkisi ile feldspatlar içerdikleri potasyumun tamamını ve silisyumun bir kısmını kaybedip, bunların yerine bir miktar H₂O alarak, bileşimi % 46,5 SiO₂, % 39,5 Al₂O₃, ve % 14 H₂O olan kaolinit mineraline dönüşürler. Bu olaya “Kaolenleşme” denir [39].

Kaolenleşme sırasında feldspat ile beraber bulunan kuvars, mika ve demirce zengin mineraller de değişik biçimlerde yapıya girerler. Kuvarsın bazı hidrotermal kaolen filonlarında feldspatın yapısında atılan fazla silisle birlikte opal damarları meydana getirdikleri görülür. Gerek serbest kuvars, gerekse bağlayıcı silisi az olan kaolenler genellikle az asidik ve nötr volkaniklerden oluşmuşlardır. Çünkü asit ortamda az erimesine rağmen, kaoleni meydana getiren iyonların kuvarstan fazlaca uzaklaşabilmeleri mümkün değildir. Bu bakımdan ana kaya eğer kuvarsça zengin ise kaolenleşme oranı da yüksektir.

Feldspatla birlikte bulunan mikalar; hidromuskovit ve hidrobiyotit halinde kaolen içinde yer aldıkları gibi, demir ve alkali-oksitlerin iyonlar halinde yıkandıkları ve uzaklaştıkları, bazı hallerde de yeni oluşumlu kil minerallerinin ortaya çıktığı görülür. Ortoklaz ve muskovitten gelen K⁺ iyonları ile plajiyoklaslardan gelen Ca⁺⁺ ve Na⁺⁺ iyonları kaolenin kimyasal bileşiminde büyük bir değişiklik yapmaz, fakat demiroksitce zengin olan minerallerin varlığı kaolenin kalitesini düşüren nedenlerin başında gelir.

Kaolen yataklarını eksojen ve endojen yataklar olmak üzere iki kısma ayırmak mümkündür [39].

1 Eksojen Yataklar

Feldspat ihtiva eden kayalardan yüzey alterasyonu ile oluşmuş kaolen yataklarına “eksojen yataklar” adı verilmektedir. Tavanda toprak örtüsüne geçişli ve kirlenmiş olarak, tabanda ise ana kaya geçişleri sert, silisleşmiş ve düşük kaliteli kaolenler bulunur. Tersiyer döneminin sıcak ve nemli iklimi, granit ve porfirlerin tavan kısımlarında yaygın bir kaolinitik alterasyona neden olmuş ve bunların büyük bir kısmı aşınmaya ve taşınmaya maruz kalarak, kaolinitik kil yataklarını oluşturmuşlardır.

2 Endojen Yataklar

Endojen kaolen yatakları, plütonik ve volkanik kaolen yatakları olarak ikiye ayrılabilir.

7.1.2.1 Plütonik Kaolen Yatakları

Plütonik kayalarda, derinlerden yukarıya doğru kristallenme oluşurken üst kısımlarda erken soğuma nedeniyle kabuk oluşur. Hidrotermal eriyikler, şartların uygunluğuna bağlı olarak kabuğu ve ana kayacı kaolenleştirir ve üstte lateritik bir zon oluşur.

7.1.2.2 Volkanik Kaolen Yatakları

Volkanizmanın son evresinde çıkan termal suların ve asidik çözeltilerin veya volkanik faaliyetler sırasında ısınan yer altı sularının tüfleri etkilemesi ile volkanik kaolen yatakları oluşur [39] .

7.2 Kaolen Yataklarının Aranması

Kaolenli yatakların aranması için elverişli olan bölgeler feldspat bakımından zengin kumtaşı, tüfit gibi kayalar, asit ve nötr volkaniklerin bulunduğu bölgelerdir. Özellikle beyaz renkli asidik tüflerin ve riyoitlerin bulunduğu bölgeler önemlidir. Asit volkanik ve magmatiklerin yaygın olduğu bölgelerde bataklık, turba ve linyit gözlenen kısımlar kaolen aranmasında özellikle ele alınmalıdır. Ayrıca serpantin, fillat ve killi şist gibi geçirimsiz tavan kayalar altında katılaştıran asit plütonik ve subvolkanik kayalarda hidrotermal kaolen oluşumu yaygındır. Serpantinlerin opalleşmesi ve hematitçe zenginleşmiş olması derinlerde kaolen bulunduğunun işareti sayılır. Kükürt, alümit ve manyezit gibi oluşumlar da kaolen yataklarının habercisi olabilir. Aynı bir tektonik hat üzerinde yükselen karbonik asitli sular bu zonda yerleşmiş granit ve andezit gibi kayalarda kaolen, serpantin ve bazik kayalarda manyezit yatakları meydana getirebilirler. Masif havza kontaktlarında kaolen ve manyezit filonları birbirlerini takip edebilir [39].

7.3 Kaolenin Kullanım Alanları

Kaolen, sanayide geniş çapta yararlanılan bir materyaldir ve her gün yeni bir kullanım alanı bulunmaktadır. Çok geniş bir pH dizisinde kimyasal bakımdan atıl olması, beyaz oluşu, yumuşak oluşu, abrasif özellikler göstermesi, ısı ve elektrik iletme açısından çok düşük bir iletkenlik özelliğine sahip olması, rakip materyallerin büyük bir kısmından ucuza mâl olması, çok iyi kaplama niteliği olması nedeniyle eşsiz bir endüstriyel mineraldir [1, 40].

Tarihte, kaolen ilk olarak seramiklerde kullanılmış olup, bu kullanım alanı bugün için örneğin kağıt, boya ve kauçuk imalatı için pazarlanan miktarla mukayese edildiğinde belki çok önemsiz bir tonajı tüketmekle birlikte, en bilinen uygulama alanı olmaktadır [1].

Kaolenin başlıca kullanım alanları;

Kağıt sanayi: Kağıt sanayinde kullanılan kaolen, dolgu maddesi olarak veya kağıt yüzeyinin kaplanması amacıyla tüketilmektedir. Kağıt sanayiinde kaolen kullanılmasının nedeni; bu materyalin tabakaların yüzeyinde oluşabilecek minik çatlakları doldurması, sathı düz hale getirmesi, parlaklık, düzlük, opasite ve baskı yapabilme kapasitesinin bu sayede artmasıdır [41]. Kağıt hamurundan daha ucuz olan kaolen, kağıt üretim maliyetinde önemli ölçüde azalmaya sebep olmaktadır. Dünya da kaolen tüketimi açısından en büyük yeri kağıt endüstrisi tutmaktadır. Günümüzde, yayınlanan renkli magazinlerde kullanılan kağıdın %30 oranında kaolenden oluşmaktadır.

Kauçuk sanayi: Gerek doğal gerekse sentetik kauçuğun yapılmasında dolgu maddesi ve genişletici olarak kaolenden yararlanılmaktadır (Örneğin marley döşeme kaplaması yapımında). Kaolen, kimyasal bakımdan atıl olması nedeniyle; boyalarda genişletici, kaplayıcı olarak kullanılmaktadır.

Seramik sanayi: Porselen, sıhhi tesisat, karo, ızalatör ve refrakter tuğla ve süs eşyaları yapımlarında kullanılmaktadır.

Boya sanayi: İç ve dış cephe boyalarında, metalik lateks boyalarda beyaz renk sağlamak için kaolen kullanılmaktadır.

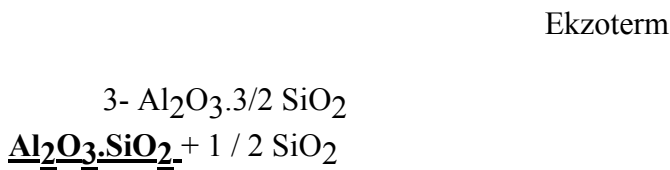
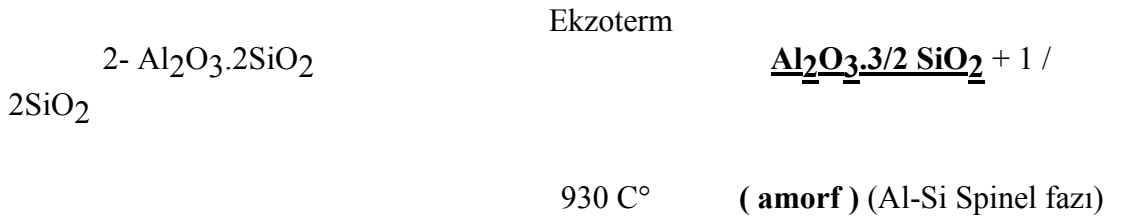
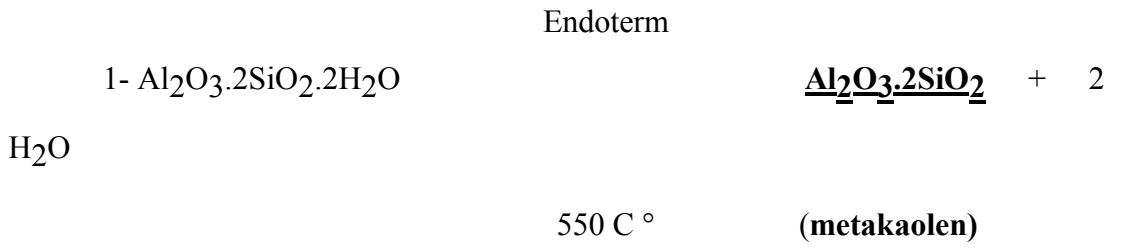
Plastik sanayi: PVC yapımında, özellikle plastik kablo imalinde dolgu maddesi olarak kullanılmaktadır.

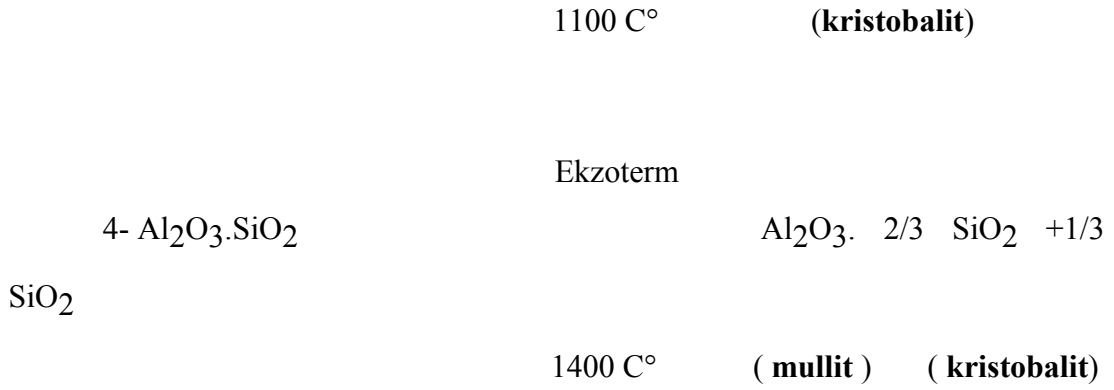
Diğer kullanım alanları: Beyaz çimento, Deterjan, Gübre, Mürekkep, Alçı, Yapıştırıcılar, Filtre, İlaçlar, Kozmetik, Gıda maddeleri, Kimyasallar, Lastik, Ağartıcılar, Kalem, Adsorbentler, Tekstil, Döküm çalışmaları, Cam elyaf yapımı, Çatı granülleri ve ham petrol parçalama katalizörü olarak değişik sektörlerde kullanım alanlarına sahiptir [1, 40, 42, 43].

7.4 Kaolenin Kimyasal Özellikleri

Kaolen hidroskopik suyunu 200 °C 'nin altında bırakır, 500 – 600 °C 'lerde ise kimyasal bağlı suyunu uzaklaşması sonucu silis ve alümina içeren yeni yapı “Metakaolen” olarak adlandırılır [42].

Sıcaklık artışına bağlı olarak kaolen bünyesinde oluşan değişimlere 950 – 1100 °C arasında bünyede serbest Alümina (Al₂O₃) gözlenmektedir. Kaolenin ısı karşısındaki tepkimeleri ve oluşan yeni yapılar sırasıyla aşağıda verilmektedir [39].





Kaolenin yüksek sıcaklıkta oluşturduğu en önemli faz Mullit (3Al₂O₃.2SiO₂) dir. 50 °C 'nin üzerinde başlayan bu oluşum, sıcaklığın artması ile birlikte artmaktadır. Silikanın alüminayla tepkimesinden doğan bu faz 1400 °C 'ye kadar izlenmektedir. 1200 °C 'nin altında oluşan birincil mullit fazı küçük kristallidir, 1200 – 1400 °C 'lerde ise büyük kristalli ikincil mullit fazına dönüşür.

Silikanın kaolendeki değişimleri ile ilginçtir. Kaolenin mullit dönüşümü sırasında silis önce metal – kaolen içeriğinde iken spinel faza geçer. Daha sonra alümina ile birlikte mullit'i oluşturur. 1200 – 1350 °C 'lerde kalan silis kristobalite dönüşür. Sıcaklık arttıkça kristobalit kristalleşmeside artmaktadır.

1200 – 1250 °C 'lerde amorf SiO₂ 'in varlığı da gözlenmiştir. Bu silika safsızlıklarla birleşerek cam oluşturmaktadır. Kaolen bünyesindeki safsızlıkların, tepkime ürünlerinin niteliğine büyük etkisi olmaktadır. Safsızlık olarak illit, fluorit, Montmorillonit, mika ve kuvarsın 1200 °C üzerinde camsı faz oluşumu sağladıkları saptanmıştır. Sıcaklık 1400 °C 'e ulaştığında ise mullit yerini silimanite (Al₂O₃.2SiO₂) bırakmaktadır.

Bu sonuçlara göre, saf kaolenin yüksek sıcaklıkta pişirilmesi sonucu % 25 kristobalit, % 45 mullit ve camsı faz oluşmaktadır. Teorik kaolenden hesaplanacak mullit bu orandan % 20 fazla olmaktadır. 1725 – 1790 °C 'lerde erimektedir [39].

KAOLEN SINIFI			
ÖZELLİKLER	1. SINIF	2. SINIF	3. SINIF
İNCELİK, 45 µm elek Üzerinde kalan kısım, Ağırlıkça, % en çok	1	2	3
Ateş zayıyatı, %	En az 12.0	En az 10.5	En az 8 En fazla 15
Al ₂ O ₃ , % En az	36.0	30.0	24
Fe ₂ O ₃ , % En çok	1.0	1.5	2.0
TiO ₂ , % En çok	0.7	1.5	2.0
(Fe ₂ O ₃ +TiO ₂), % En çok	1.5	2.5	3.0
SO ₃ , % En çok	0.5	1.0	2.0
Şekillendirme Suyu, % En az	22	22	20
Kuruma Küçülmesi, % En fazla	8	8	Aranmaz
Pişme Küçülmesi, 1350 °C' da % En fazla	18	18	Aranmaz

Şekil 7.1 Kaolenlerin Fiziksel Ve Kimyasal Özellikleri (TS 5396 / Aralık 1987 tarihli seramik Sanayinde Kullanılan Kaolen Standartlarından alınmıştır) [44].

7.5 Türkiye ve Dünya Kaolen Yatakları

Türkiye kaolenleri, özellikle hidrotermal kaolen yatakları şeklinde oluşmaları ile karakteristiktirler. Bugün, üretim yapılan birçok kaolen yatağı, Neojen karasal tüflü formasyonlar içinde yer almakta ve bunların oluşumları büyük ölçüde bozunma öncesi ve sonrası tektonik hareketlerle kontrol edilmektedir.

Türkiye kaolen yatakları, genel olarak andezit-dasit riyolitik lav ve tüflerin alterasyonu ile oluşmuş olup değişik oranlarda alünit minerali içermektedir. Toz halinde çok ince taneli kuvars ve feldspat ihtiva eden bu kaolenize tüflerin içindeki kaoleni yüzdürmek ve silisten ayırmak genellikle imkansızdır. Yurdumuzda bir diğer sorunda hidrotermal yataklarda sıkça görülen, seramik sanayi için problem olan alünit + kaolen parajenezinin yaygın olmasındadır. Ayrıca altere olmuş kaolen yatakları haricinde, yıkanabilir kaolen yatakları da ülkemizde oldukça azdır [1, 42].

Türkiye kaolen rezervi, MTA Genel Müdürlüğü'nün yapmış olduğu çalışmalara göre 100 milyon tonun üzerindedir. Rezerv içerisinde en büyük bölge Balıkesir – Sındırgı – Düvertepe bölgesi olup seramik ve çimento sektöründe kullanılmaktadır [1]. Türkiye kaolen yatakları, genellikle hidrotermal kökenli kaolen yataklarıdır.

“Sındırgı – Danaçayır bölgesinde 2004 – 2005 yıllarında Gürbüz Madencilik tarafından yapılan arama çalışmaları sonucunda yeni kaolen oluşumları belirlenmiştir. Bu çalışmalar ışığında bölgenin tahmini rezervi, 2 055 280 ton olarak hesaplanmıştır. Ocaktan üretimi düşünülen kaolen; pazar imkanları doğrultusunda hammadde ihtiyacı olan endüstri kuruluşlarına satışı yapılmaktadır. Sahadaki cevher seramik sektörü için kullanılabilir vasıftadır. Öncelikli olarak Kütahya, uşak ve Bilecik civarındaki Seramik İşletmeleri belirlenmiştir. Hedef pazar olan seramik fabrikaları hammaddelerini genellikle 10 cm kırılmış olarak satın almaktadır. İhracat, Bandırma limanı kullanılarak yapılmaktadır [45].

8. SONUÇLAR VE TARTIŞMA

Bu çalışma kapsamında Balıkesir ilinin güneydoğusunda yer alan Sındırgı ilçesinin Danaçayır köyünde, yaklaşık 30 km² 'lik bir bölgenin jeolojisi incelenmiş ve bölgedeki kaolenlerin mineralojik, petrografik ve jeokimyasal incelemeleri yapılmıştır.

Danaçayır kaolen oluşumu çoğunlukla Pliyosen yaşlı andezit kısmen de dasitik tüflerin hidrotermal alterasyonu sonucu oluşmuşlardır. Buradaki andezit ve dasitik tüf taneleri çok ince olup, yumuşak bir dokuya sahiptir. Danaçayır kaolenleri ve birlikte buldukları kayaçlar (dasitik tüf-tüfit ve tavan opali) aynı piroklast malzemedan türemiştir. Cevherleşme genellikle beyaz, açık gri renkli olup, atmosferik etkilerden dolayı dış yüzeyleri altere olmuş ve kirli beyaz, sarımsı renklere görülmektedir. Yatakta ve yatak çevresinde hidrotermal faaliyeti yansıtan limonitleşme, piritleşme ve silisleşme gözlenir. Silisin çatlak düzlemleri boyunca yüzeye çıkması ile oluşan silika zonlar (silica gossan), hidrotermal kaolen zuhurlarının prospeksiyonunda kılavuz oluşumlar olarak düşünülmektedir.

İnceleme alanımız Anatolid tektonik kuşağında yer almaktadır. Bölgede volkanik aktivite Tersiyer döneminde meydana gelen graben ve horstları oluşturan yer kabuğu hareketi ile uyumluluk göstermektedir. İnceleme alanı da Simav grabeni içinde yer almaktadır.

Sındırgı-Danaçayır bölgesinde gözlenen hidrotermal alterasyon zonları X-ışınları tekniği ile incelenen kil mineralleri ile saptanmıştır. XRD kayıtlarına göre, Danaçayır kaolenlerine ait kil bileşenin esas minerali kaolinittir. Kuvars ise diğer bileşen olarak izlenir. XRD sonuçlarında feldspatlara rastlanılmaması, bu

minerallerin tamamıyla killeştiğini göstermektedir. Feldspatın kaolinite dönüşümü atmosferik veya hidrotermal alterasyonun sonucudur. Andezitler ve tüfler, yüksek yağış miktarı, hızlı drenaj, ılımlı-tropikal iklim ve çözülebilir bileşenleri yıkamak için yeterli su hareketi gibi uygun koşullar altında kolayca kaolinite ve kuvarsa dönüşmüşlerdir.

Elde edilen verilere göre incelenen bölgede, mineralojik olarak % 40 kaolinit ve % 50-60 silis mineralleri şeklinde dağılım mevcuttur. Bu bölge kaolenleri yumuşak olup süzmede diğer bölgelere göre daha yüksek verim elde edilmektedir.

Deneylere esas olan kaolen numunesinin mineralojisini saptamak amacıyla DTA (diferansiyel termik analiz) yapılmıştır. 25-150 °C arasında görülen endotermik reaksiyon hidroskopik suyun uzaklaşmasından ileri gelmektedir. Organik maddelerin 200-450 °C arasında yanması ve kaolenin 500-700 °C arası molekül yapısının bozulması eğrideki piklerden görülmektedir. 900-1000 °C arasında meydana gelen pik ise ekzotermik reaksiyona ait olup kaolenin yeniden krsitallenmeye başladığını göstermektedir. Piklerin uzunluğu aynı zamanda tepkime hızlarıyla da ilişkilidir.

Kaolinit + pirofillit arasındaki kararlılık ilişkilerini inceleyen Hemmi ve Matsudo, asidik hidrotermal koşullar altında gelişen kuvars + kaolinit parajenezinin çözeltilerinin sıcaklığının 250 °C 'den düşük olduğuna işaret edebileceğini belirtmektedir. Bu yaklaşımlar, çalışma alanındaki hidrotermal kaolinleşmenin oluşum koşullarının yorumlanmasına açıklık getirmektedir [46].

Kaolen numunelerinin SEM mikrografları incelendiğinde, partiküllerin oldukça poroz bir textüre sahip oldukları gözlenmektedir. Kristaller arası porozite yüksektir. Kaolinit minerallerinin gevşek veya sıkı paket dokusunun, onların jenetik ortamına işaret edebileceği belirtilmektedir [19, 21]. Hekzagonal kaolinit kristalleri gevşek bir şekilde kitap yapıları oluşturmuştur. Bu durum kaolinizasyonun çok derinlerde vuku bulmadığını, ana kayaç üzerinde yer alan kütlelerin fazla kalın olmadığı ve çok fazla olmayan basınç nedeniyle de poroz yapının korunduğu sanılmaktadır. Ayrıca, tüflerin bünyelerinde mevcut olan poroz yapıda kaolinit

partikül ve kristallerinin daha gevşek bir yapı kazanmasına neden olmaktadır. Benzer ilişkiler, Eskişehir-Kırka yöresi kaolen yataklarında da elde edilmiştir [22].

Danaçayır kaolenleri kimyasal açıdan büyük bir benzerlik sunmaktadır. Alterasyon süresince kaolenler Ca, Mg ve alkalilerce fakirleşme gösterirken, Si, Fe, Cr ve S bakımından ise zenginleşmiştir. Bu sonuçlar, Bilecik-Söğüt [24] ve Eskişehir-Kırka [22] yöresi kaolen yataklarında elde edilen element mobilizasyonlarıyla benzerdir. Ti ve Al ayrışma (weathering), sedimantasyon, diyajenez ve metamorfizma koşullarında duraylı düşünülebilir [25]. Bu yüzden az hareketliliğe sahip Al ve Ti alterasyon süresince immobil davranmıştır.

Danaçayır kaolenleri düşük Al_2O_3 tenörlerine rağmen, düşük demir içeriği nedeniyle bu kaolen zonları seramik sanayinde kullanım şansı bulacaktır. Sorkun Yaylası (Ankara-Güdül) hidrotermal kaolen oluşumları da benzer özelliğe sahiptir. Alt Miyosen yaşlı andezit kısmen de dasitik tüflerin hidrotermal alterasyonu sonucu oluşmuşlardır. SEM mikrografları incelendiğinde hegzagonal kaolinit kristalleri gevşek bir şekilde kitabımsı yapılar sunmaktadır. Kimyasal analizlerinde Al_2O_3 ve Fe_2O_3 tenörleri düşük ve artması beklenmemektedir [47]. Bu kaolen zonları da seramik endüstrisinde kullanılabilir. Bir başka örnek de Balıkesir İli, Sındırgı-Sinandede bölgesi kaolenleri verilebilir. Riyolitik ve dasitik tüflerin hidrotermal alterasyonu sonucu oluşmuş bir cevherleşme mevcuttur. Ana minerali kaolinit olup taneler yumuşak bir dokuya sahiptir. Bu bölge kaolenleri yumuşak olup süzmede diğer bölgelere göre daha yüksek verim elde edilmektedir. Ayrıca bölgede seramik ve çimento kaoleni üretilmektedir [27].

Alterasyon süresince iz elementlerin mobilizasyonu (hareketleri); kaolenlerin element içeriklerinin ana kaya (Dasitik tüf) numunesinin iz element içeriklerine göre değerlendirilmiştir. Buna göre, alterasyon süresince kaolenler Hf, Zr, Ta, Ga, Sr ve Ba gibi elementler fakirleşme gösterirken, Y, Nb ve Rb elementleri bakımından zenginleşme göstermektedir. Th ve U elementleri, alterasyon ve sedimanter oluşumlarda taşınma sırasında duraylılık gösterirler [28]. İnceleme konusu örneklerin Th ve U element içerikleri immobil davranış gösterip, duyarlılıklarını

korumuşlardır. Elde edilen bu sonuçlar, değişik bölgelerdeki çalışmalarla benzer özellik sunmaktadır [28, 29].

Tüflerin karakterini belirlemek amacı ile Whinchester ve Floyd (1977) diyagramı kullanılmıştır. SiO_2 ve Zr/TiO_2 değerlerine göre diyagrama düşürülen dasitik tüf numunesinin riyodasit-dasit bileşiminde olduğu belirlenmiştir.

Türkiye kaolen ihracatında son yıllarda belirli bir artış gözlenmekte olup, bu artışın ileriki yıllarda, özellikle çimento sektörüne hitaben daha da artacağı beklenmektedir. Aynı zamanda kaolenin kullanım alanında önemli bir yere sahip olan porselen sanayindeki ihtiyaçların ithalatla karşılanmasını azaltmak için, ülkemizde zenginleştirme tesislerine verilen önem artırılmalıdır. Yapılan araştırma ve analiz sonuçlarının tahminden daha iyi olması bu yöndeki umutları arttırmaktadır. Bilindiği üzere kağıt sanayisinde en elverişli kaolen yatakları ABD'dedir. Bu yataklar yıkanabilir özelliği nedeniyle kolay çözülmektedir. Türkiye ve Sındırgı – Danaçayır bölgesi kaolenlerini incelediğimizde serbest silis oranları yüksektir. Bu nedenle öğütmede en ince boyuta inmede problem yaşanmaktadır. Aynı zamanda ülkemizde çıkan kaolen madeni beyazlık açısından da incelediğimizde, yeterli beyazlığı vermediği için kağıt sanayine girememektedir. Ülkemizdeki kaolenlerin porselen sanayine uygunluğu daha fazladır. Bu nedenle de kaolenlerin zenginleştirme tesisleriyle porselen sanayine daha uygun duruma getirilmelidir.

Danaçayır Bölgesi kaolenlerinin mineralojik incelemesi olarak ilk kez gerçekleştirilen bu tez çalışması, bu amaçla yapılacak olan çalışmalara katkıda bulunması ve kaolenlerin ekonomik değerlendirilmesine yardımcı olması düşünülmektedir. Ayrıca yapılmış olan kimyasal analizler ile eser element analizleri, kaolenlerin kökeni konusunda daha ayrıntılı bilgiler elde edilmiştir.

KAYNAKLAR

- [1] Birkan, Ö.,İşcan, A., “Türkiye Kaolen Yatakları ve MTA’nın Ülke Ekonomisine Katkıları”, Maden Tetkik ve Arama Gen. Md. 50. Yıl Semp., (Ed: M. E. Erden ve M. C. Göncüoğlu). Bildirler, (1985), 84-88.
- [2] Okut, M., Elmacı, M. ve Köse, Z., Balıkesir ili-Sındırgı ilçesi-Düvertepe Kaolen Yatağı Maden Jeoljisi Raporu, Maden Tetkik Arama Enstitüsü (Yayınlanmamış), Balıkesir, (1983-1984).
- [3] Uz, B., Sındırgı - Akhisar Bölgesi Ofiyolit Birliğinin Petrografik-Petrojenetik ve Jeokimyasal İncelemesi, Doçentlik Tezi, İTÜ Maden Fak. Mineraloji ve Maden Yatakları Kürsüsü, İstanbul, (1978).
- [4] Ercan, T., Günay, E. Ve Çevikbaş, A., “Bigadiç (Balıkesir) çevresinin jeolojisi, mağmatik kayaçların petrolojisi ve kökensel yorumu”, Maden Tetkik Arama Enstitüsü Dergisi, 7601, Ankara, (1984), 251-285.
- [5] Okut, M., Kasar, S., Balıkesir İli-Sındırgı İlçesi, Düvertepe Köyü ve Dolaylarındaki Kaolen Etütleri Raporu, Maden Tetkik Arama Enstitüsü (Yayınlanmamış), Balıkesir, (1978).
- [6] Okut, M. ve Gök, S., “Sındırgı ilçesi, Düvertepe Bucağı kaolen yatakları ön etüd raporu”, E.H.M., No:1011, (1975), 19.

- [7] Elmacı, M., Balıkesir-Sındırgı-Düvertepe Kaolen Sahası Çevresinin Jeolojisi, Bitirme Ödevi, Dokuz Eylül Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İzmir, (1984), 49.
- [8] Ercan, T., Günay, E. ve Savaşın M. Y., “Simav ve çevresindeki Senozoyik yaşlı Volkanizmanın bölgesel yorumlanması”, Maden Tetkik Arama Enstitüsü Dergisi, 97/98, Ankara, (1981/1982), 86-101.
- [9] Nebert, K., “Tavşanlı’nın batı ve kuzeyindeki linyit ihtiva eden Neojen sahasının mukayeseli stratigrafisi ve tektoniği”, Maden Tetkik Arama Enstitüsü Dergisi, No: 54, Ankara, (1960), 8 – 10.
- [10] Ehrenberg, S. N., Aagaard, P., Wilson, M. J., Fraser, A. R. And Duthie, D. M. L., Dept-dependent transformation of kaolinite to dickite in sandstones of the Norwegian Continental Shelf: Clay Minerals (1993), 28, 325.
- [11] Wilson, M.J., A Handbook of Determinative Methods in Clay Mineralogy. Blackie, London, (1987), 308.
- [12] Brindley, G.W. and Robinson, K., “An X-ray study of some kaolinitic fireclays”, British Ceram. Soc. Trans. (1947), 46, 49-62.
- [13] Smykatz-Kloss, W., The determination of the degree of (dis-) order of kaolinites by means of DTA. Chemie der Erde, (1974), 33, 358-366.
- [14] Çelik, M., Karakaya, “Kil Minerallerinin Özellikleri ve Tanımlama Yöntemleri”, Selçuk Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi, Doğa Yerbilimleri Dergisi Serisi:3, Konya, (2006).
- [15] Kloss, S. W., Differential Thermal Analysis Application and Results In Mineralogy. Springer-Verlag, (1974), 185pp.

- [16] Mackenzie, R. C., "Saponite from Allt Ribhein, Fiskavaig Bay, Skye, Mineralogical Magazine", (1957), 31, 672-680.
- [17] Çelik, M., Karakaya, N. and Temel, A., "Clay Minerals in Hydrothermally Altered Volcanic Rocks, Clays Clay Mineral", Eastern Pontides, Turkey, (1999), 47/6, 708-717.
- [18] Karakaya, M.Ç., Karakaya, N. and Temel, A., Kaolin occurrences in Erenler Dağı Volcanics, southwest Konya Province, Turkey, International Geology review, (2001b), 43/8, 711-722.
- [19] Keller, W. D., "Classification of kaolins exemplified by their textures in scan electron micrographs", Clays Clay Miner., (1978), 26/1, 1-20.
- [20] Keller, W. D., "Anauxite viewed by scanning electron microscopy", Clays Clay Miner., (1982), 30/5, 391-393.
- [21] Keller, W.D., "Scan electron micrographs of kaolins collected from diverse environments of origin-I", Clays and Clay Min., (1976), 24, 107-113.
- [22] Yalçın, H., "Hidrotermal Kaolinitlerin Morfolojisi ve Kimyası, Eskişehir ve Malatya Yörelerinden Örnekler", V. Ulusal Kil Sempozyumu, 16-20 Eylül, Eskişehir, (1991).
- [23] Noriyuki, F., Küçüksille, N., Yalçı, T. ve Özüçelik, N., Batı Anadolu Bölgesi Kaolin Yatakları, MTA Enstitüsü, Endüstriyel Hammaddeler Dairesi, Teknoloji Dairesi, Ankara, (1980), s:4-6.
- [24] Gençoğlu, H., Bayhan, H. Ve Yalçın, H., "Bilecik-Söğüt yöresi kaolen yataklarının mineralojisi ve kökeni", Ed. D.Boztuğ ve H. Yalçın, IV. Ulusal Kil Semp., Cumhuriyet Üniversitesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Sivas, 20-23 Eylül, Bildiriler, (1989).

- [25] Slack, J. E., and Stevens, B. P. J., Clastic Metasediments of the Early Proterozoic Broken Hill group, New South Wales, Australia: Geochemistry, Provenance and Metallogenic Significance; *Geochimica et Cosmochimica Acta*, v. (1994), 58, p. 3633-3652.
- [26] Winchester, J. A., and Floyd, P. A., ‘Geochemical discrimination of different magma series and their differentiation products using immobile elements’, *Chemical Geology*, (1976), 20, 325.
- [27] Dündar, A., “Türk Seramik Sanayi Hammaddelerinin Kimyası ve Kaliteleri”, Jeoloji Mühendisleri Odası, Seramik Semineri, 17-23 Kasım, (2003).
- [28] Nyakairu G. W.A., Koeberl, C., Kurzweil, H., “The Buwambo kaolin deposit in central Uganda; Minerological and chemical composition”, *Geochimical Journal*, Vol. 35, (2001), 245 – 256.
- [29] Sayın, Ş. A., The geology, mineralogy, geochemistry, and origin of the yenicaya, kaolinite deposits and other similar deposits in western Turkey, A Thesis Submitted for Degree of Doctor of Philosophy in the University of London (unpublished), (1984).
- [30] Okut, M, Demirbaş, M. ve Köse Z., “Kütahya, Emet-Simav yöresi kaolen yatakları”, Maden Tetkik Arama Enstitüsü, EHM No: 1233, (1978), 30.
- [31] Grim, R. E., *Applied Clay Mineralogy*, Mc Graw Hill Book Company, Inc., New York, (1962), 422.
- [32] Akıncı, Ö., Bilecik Bölgesi Kaolen Yatakları ve civarının jeolojisi, Kaolenlerin Seramik Özellikleri, Maden Tetkik ve Arama Enstitüsü Dergisi, No:70, Ankara, (1969), 67-82.

[33] Grim, R. E., Applied Clay Mineralogy: Int. Series in Earth Sciences, Mc Graw-Hill Book Co. Inc., New York, (1968).

[34] Velde, B., Composition and mineralogy of clay minerals, in Velde B., ed., Origin and mineralogy of Clays, Springer - Verlag, New York, (1995), p.334, 8-41

[35] Velde, B., Introduction to Clay Minerals; Chemistry, origin, used and environmental significance, Chapman - Hall Pub, Londra, (1992), 198.

[36] Öngür, T., Yerisıl Dizgelerde Hidrotermal Alterasyon, Yeryuvarı ve İnsan, (1980), 5/3-4, 52-59.

[37] Meyer, C., Helme, J.J., Wall Rock Alteration In Hydrothermal Ore Deposits, ed. Barnes, (1967).

[38] Carroll, D., Weathering of Rocks, Matsuo, S. Trans., pub. Latis, Tokyo, (1970),47.

[39] Seyhan, İ., “Kaolen, Bentonit, Kil ve Tuğla, Kiremit Toprakları Jeolojisi”, MTA Enstitüsü Yayını, Eğitim Serisi No:13, Ankara, (1972).

[40] Murray, H.H., Lyons, S.C., “Correlation of papercoating Quality with degree of crystal Perfection of Kaolinite: in, Clays and Clay Minerals” ed. A. Swineford, Proc. 4th Nat’l Conf., Nat’l Res. Council Pub., (1956), 456, 31-40.

[41] Bundy, W. M., “Kaolin in paper filling and Coating: Applied Clay Science”, (1991), 5, 397-420.

[42] Madencilik Özel İhtisas Komisyonu Raporu, “Endüstriyel Hammaddeler Alt Komisyonu Toprak Sanayi Hammaddeleri, Seramik Killer-Kaolen-Feldspat-Pirofillit-Wollastonit-Talk”, 8. Beş Yıllık Kalkınma Planı, DPT, ÖİK, Ankara, (2001), 622, 39-84.

[43] Murray, H.H., Bundy, W., “Kaolin Genesis and Utilization”, The Clay Minerals Society Special Publication, No:1, ed:Colm Harrey, (1993), 52.

[44] Türk Standartları Enstitüsü 5396-Aralık, “Kaolen-Seramik sanayinde Kullanılan, Türk Standartları Enstitüsü”, Ankara, (1987).

[45] Dündar, A., “Türk Seramik Sanayi Hammaddelerinin Kimyası ve Kaliteleri”,

Seramik Semineri Kitabı, Ankara, (2003), 95-111.

[46] Hemmi K.and Matsudo, H., Stabilization relationships between kaolinite and pyrophyllite in Roseki depozits in Japan, Contr., , (1975), 153, 161.

[47] Sayın, A., Sorkun Yaylası (Ankara-Güdül) Hidrotermal Kaolen Oluşumları, Maden Tetkik Arama Genel Müdürlüğü, MAT Dairesi, Ankara, (2001).