

**T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**BİLECİK İLİ SÖĞÜT İLÇESİ VE CİVARINDAKİ KİLLERİN
MÜHENDİSLİK ÖZELLİKLERİ VE ENDÜSTRİYEL AÇIDAN
KULLANIMININ DEĞERLENDİRİLMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Tayfun POYRAZ

Enstitü Anabilim Dalı : JEOFİZİK MÜHENDİSLİĞİ

Tez Danışmanı : Dr. Öğr. Üyesi Şefik RAMAZANOĞLU

Mayıs 2019

T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**BİLECİK İLİ SÖĞÜT İLÇESİ VE CİVARINDAKİ KİLLERİN
MÜHENDİSLİK ÖZELLİKLERİ VE ENDÜSTRİYEL AÇIDAN
KULLANIMININ DEĞERLENDİRİLMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Tayfun POYRAZ

Enstitü Anabilim Dalı : JEOFİZİK MÜHENDİSLİĞİ

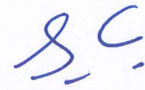
Bu tez 27.5/2019 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oybirliği / ~~oyçokluğu~~ ile kabul edilmiştir.



Dr. Öğr. Üyesi
Şefik RAMAZANOĞLU
Jüri Başkanı



Prof. Dr.
Murat UTKUCU
Üye



Dr. Öğr. Üyesi
Şerafeddin ÇAKIR
Üye

BEYAN

Tez içindeki tüm verilerin akademik kurallar çerçevesinde tarafımdan elde edildiğini, görsel ve yazılı tüm bilgi ve sonuçların akademik ve etik kurallara uygun şekilde sunulduğunu, kullanılan verilerde herhangi bir tahrifat yapılmadığını, başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunulduğunu, tezde yer alan verilerin bu üniversite veya başka bir üniversitede herhangi bir tez çalışmasında kullanılmadığını beyan ederim.

Tayfun POYRAZ
06.05.2019

TEŞEKKÜR

Bu çalışmada ile Bilecik İli Söğüt İlçesi ve civarındaki killerin mühendislik özellikleri ve endüstriyel açıdan kullanımının değerlendirilmesi incelenmiştir.

Arazi çalışmalarında numunelerin alınması sırasında yardımlarını eksik etmeyen Hüseyin GÜNEŞ, İbrahim ÖZTÜRK' e verilerin elde edilmesi aşamasında Hacettepe Üniversitesi Jeoloji Mühendisliği Öğretim Üyesi Prof. Dr. Murat ERCANOĞLU, Süleyman Demirel Üniversitesi öğretim Üyesi Dr. Öğr. Üyesi Ziya ÖNCÜ ve Hakmak İş Makinaları İnşaat İç ve Dış Ticaret Limited Şirketi Genel Müdürü Rüçhan HAKTANIR Bey ile Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi Öğretim Üyesi Dr. Öğr. Üyesi Sinan TEMEL'e teşekkürlerimi sunarım.

Tez çalışması sırasında bilgi ve tecrübeleri ile bana yön veren tez danışmanım Dr. Öğr. Üyesi Şefik RAMAZANOĞLU'na, mesai arkadaşlarıma, arkadaşlarıma, dostlarıma, sevdiklerime ve öğrencilerime destekleri için çok teşekkür ediyorum.

Hiçbir zaman desteklerini ve sevgilerini esirgemeyerek bana güç veren eşime ve oğluma minnet ve şükranlarımı sunarım.

İÇİNDEKİLER

TEŞEKKÜR.....	i
İÇİNDEKİLER	ii
SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ.....	vi
ŞEKİLLER LİSTESİ	vii
TABLolar LİSTESİ	viii
GRAFİKLER LİSTESİ.....	x
HARİTALAR LİSTESİ	xi
RESİMLER LİSTESİ	xii
ÖZET.....	xiii
SUMMARY	xiv

BÖLÜM 1.

GİRİŞ	1
1.1. Amaç ve Yöntem.....	2

BÖLÜM 2.

BÖLGESEL JEOLojİSİ ve STRATİGRAFI	4
2.1. Bilecik İli Genel Jeolojisi	4
2.2. Stratigrafi Birimleri	5
2.2.1. Temel karmaşığı	7
2.2.1.1. Çaltı metamorfiti.....	7
2.2.1.2. Söğüt granitoyidi	7
2.2.1.3. Karasu spiliti.....	8
2.2.2. Bayırköy formasyonu.....	9
2.2.3. Bilecik kireçtaşı.....	10

2.2.4. Gökçekaya formasyonu.....	11
2.2.5. Yeniköy volkaniti	12
2.2.6. Geçitli formasyonu.....	12
2.2.7. Küre formasyonu.....	13
2.2.8. Avdan kıltaşı-kumtaşı üyesi	13

BÖLÜM 3.

KİLLER HAKKINDA GENEL BİLGİ.....	17
3.1. Kil Mineralojisi ve Kimyasal Bileşimi.....	19
3.2. Kil Minerallerinin Sınıflandırılması.....	20
3.2.1. Allofan grubu kil mineralleri.....	24
3.2.2. Kaolinit grubu mineralleri	24
3.2.3. Halloysit mineralleri.....	26
3.2.4. Smektit grubu mineralleri.....	27
3.2.5. İllit mineralleri.....	28
3.2.6. Vermikülit mineralleri	29
3.2.7. Klorit mineralleri.....	30
3.2.8. Sepiolit-paligorskit-attapulgit mineralleri	30
3.2.9. Karışık (karma) tabakalı (mixed-layer) kil mineralleri	31
3.3. Kil ve Özellikleri	32
3.4. Kil Yataklarının Oluşumu.....	32
3.5. Killerin Kimyasal ve Mineralojik İçeriği	35
3.6. Kil Yataklarının Aranması ve Değerlendirilmesi	38
3.7. Kil Yataklarının İşletilmesi.....	40
3.8. Kil Minerallerinin Kullanım Alanları ve Sınıflandırılması	42
3.8.1. Kullanım alanlarına göre sınıflandırılması.....	44
3.8.2. Endüstriyel killerin genel özellikleri	47
3.8.3. Türkiye’deki kaolenlerin özellikleri.....	49

BÖLÜM 4.

MATERYAL VE YÖNTEM.....	52
4.1. Atterberg Limitleri	52

4.1.1. Likit limit W_{LL}	53
4.1.2. Plastik limit W_{PL}	54
4.1.3. R�tre limit	55
4.2. X – Işını Floresans Spektroskopisi (XRF)	57
4.3. Ultrasonik Test Cihazı	58
4.3.1. Ultrasonik yöntem (ultrases hızı yöntemi)	59
4.3.1.1. Ultrasonik hız değerini etkileyen faktörler	60
4.3.1.2. Ultrasonik hız ölüm yöntemleri	61
4.3.2. Sismik dalga �eşitleri	63
4.3.2.1. Hacim dalgaları.....	63
4.3.2.2. Yüzey dalgaları	65
4.3.2.3. Kayaçların sismik hızları	67
 BÖLÜM 5.	
ARAşTIRMA BULGULARI VE TARTIşMA	70
5.1. Numunelerin Bulunduğu Lokasyonlar	70
5.2. Plastisite Bulguları	70
5.3. Sismik Bulgular	72
5.4. XRF Bulguları	76
5.4.1. KAL Ocağı Xrf Bulguları.....	77
5.4.2. YÜT ocağı xrf bulguları	79
5.4.3. T�T ocağı xrf bulguları.....	82
5.4.4. Avdan ocağı xrf bulguları.....	85
5.4.5. GM ocağı xrf bulguları.....	86
5.4.6. Çin Yak ocağı xrf bulguları	87
5.4.7. ��T ocağı xrf bulguları.....	88
5.4.8. KOÇ ocağı xrf bulguları.....	89
5.4.9. Tüm numunelerin doğrusal regresyon bulguları	89
 BÖLÜM 6.	
SONUÇ VE �NER�LER	92

KAYNAKÇA	95
ÖZGEÇMİŞ	102



SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ

MTA	: Maden Tetkik ve Arama Enstitüsü
V _p	: P (boyuna) dalga hızı
V _s	: S (enine) dalga hızı
XRF	: X ışını floresans

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 1.1. İnceleme Alanı Yer Bulduru Haritası	2
Şekil 2.1. Bilecik İli Jeoloji Haritası [2].	4
Şekil 2.2. Bilecik İli Jeoloji Haritası Açıklaması	5
Şekil 2.3. Söğüt İlçesi ve Dolayının Genelleştirilmiş Stratigrafi Kesiti [1].....	6
Şekil 2.4. Çaltı Akçaalan Mevkii Jeoloji haritası ([1] den değiştirilerek oluşturulmuştur).	15
Şekil 3.1. Tetrahedral yapı ve ağları (a-b), oktahedral yapı ve ağları (c-d)	20
Şekil 3.2. Kaolinit mineralinin yapısı [25].	20
Şekil 3.3. Kaolini (a), İllit (b) ve Montmorillonit (c) minerallerinin yapısı [34]....	29
Şekil 4.1. Cassagende deney cihazı kesit ve boyutları [48].	53
Şekil 4.2. Su muhtevası ile kıvrımların değişimi.....	53
Şekil 4.3. Plastisite diyagramı (Cassagrande plastisite kartı) [47].	56
Şekil 4.4. PANalytical Axios marka XRF cihazı	57
Şekil 4.5. XRF Çalışma Şeması [52].	58
Şekil 4.6. Sismik hız ölçümünün numune üzerindeki şematik gösterimi	59
Şekil 4.7. Pundit Ultrasonik ses cihazı.....	59
Şekil 4.8. Doğrudan Ölçüm.....	62
Şekil 4.9. Yarı Doğrudan Ölçüm.....	62
Şekil 4.10. Dolaylı Ölçüm.....	62
Şekil 4.11. Nokta kaynaktan boyuna dalga yayılması	64
Şekil 4.12. Düzlem dalga durumunda boyuna dalga yayılması	65
Şekil 4.13. SH dalgalarında partikülün yer değiştirmesi.....	65
Şekil 4.14. SV dalgalarında partikülün yer değiştirmesi.....	65
Şekil 4.15. Love dalgalarında partikülün yer değiştirmesi	66
Şekil 4.16. Rayleigh dalgalarında partikülün yer değiştirmesi	66
Şekil 5.1. Lokasyon Haritası	70

TABLolar LİSTESİ

Tablo 3.1. Kil Minerallerinin Kimyasal Bileşimi [28].....	21
Tablo 3.2. Degens'e göre killerin sınıflandırılması	22
Tablo 3.3. Grim R.E' ye göre killerin sınıflandırılması [25].....	23
Tablo 3.4. R.L. Bates'e göre killerin sınıflandırılması	23
Tablo 3.5. Türkiye'de refrakter malzeme kullanımının çeşitli sanayii kollarına göre dağılımı	42
Tablo 3.6. Kalitelerine ve kimyasal özelliklerine göre kaolenlerin kullanım yerleri	43
Tablo 3.7. Ball kili ve kaolin özellikleri	45
Tablo 3.8. Bazı ball killerinin % kimyasal kompozisyonları [22].	46
Tablo 3.9. Kaolinlerin Fiziksel Ve Kimyasal Özellikleri [46].....	48
Tablo 3.10. İdeal Kaolin Bileşimi	48
Tablo 3.11. Türkiye kaolin ürün standartları [46].....	49
Tablo 3.12. Çeşitli kaolenlerde istenen ürün özellikleri [46].....	50
Tablo 3.13. Seramik, beyaz çimento kaolenleri ve refrakter killerinin kimyasal özellikleri [46].	50
Tablo 3.14. Kaolinlerin Başlıca Kullanım Alanları	50
Tablo 4.1. Çeşitli kayaçlar için (Vp) P-Dalga hızlar [68]	68
Tablo 4.2. Çeşitli malzemeler için P ve S dalga hızları [69].....	69
Tablo 5.1. Kıvam indisine göre numunelere ait kıvam sonuçları	71
Tablo 5.2. Kıvam İndislerine Göre Zemin Sınıflandırılması [51].	71
Tablo 5.3. Ölçüm yapılan 77 numuneye ait ultrasonik ses hızı, yoğunluk, poisson oranı, zemin sıkılığı ve sökülebilirlik.....	72
Tablo 5.4. Poisson Sınıflaması ve hız oranı karşılaştırması [70] [71].	73
Tablo 5.5. P dalgası hızı ile zeminlerin ya da kayaçların sökülebilirlikleri [73]	74
Tablo 5.6. Ölçülen numunelerin sökülebilirlik sınıflamasına göre miktarları	74

Tablo 5.7. Ölçüm yapılan 77 numuneye ait XRF kantitatif analizleri	76
Tablo 6.1. Fe ₂ O ₃ içeriği < % 3 olan Kil Numuneler.....	93



GRAFİKLER LİSTESİ

Grafik 5.1. Tüm ocakların Al_2O_3 -Vp hız dağılımı	75
Grafik 5.2. Tüm ocakların Al_2O_3 -Vs hız dağılımı	75
Grafik 5.3. Tüm KAL ocağı Al_2O_3 - SiO_2 - Fe_2O_3 Grafiği	78
Grafik 5.4. YIT ocağı Al_2O_3 - SiO_2 - Fe_2O_3 Grafiği	80
Grafik 5.5. TIT ocağı Vp-Vs Grafiği	82
Grafik 5.6. TIT ocağı Al_2O_3 - SiO_2 - Fe_2O_3 Grafiği.....	83
Grafik 5.7. TİT ocağı Vp hızı-SiO ₂ ilişkisi	83
Grafik 5.8. Al_2O_3 ve Fe_2O_3 ilişkisi	89
Grafik 5.9. SiO_2 ve Fe_2O_3 ilişkisi	90
Grafik 5.10. Ocaklara ait verilerin ortalamalarına göre Vp ile % SiO_2 ilişkisi.....	90
Grafik 5.11. Ocaklara ait verilerin ortalamalarına göre Vp ile % Al_2O_3 ilişkisi.....	91
Grafik 5.12. Ocaklara ait verilerin ortalamalarına göre Vp ile % Fe_2O_3 ilişkisi.....	91

HARİTALAR LİSTESİ

Harita 5.1. KAL ocağı % Fe_2O_3 dağılımı.....	78
Harita 5.2. KAL ocağı % Al_2O_3 dağılımı.....	79
Harita 5.3. KAL ocağı % SiO_2 dağılımı.....	79
Harita 5.4. YIT ocağı % Fe_2O_3 dağılımı	81
Harita 5.5. YIT ocağı % Al_2O_3 dağılımı	81
Harita 5.6. YIT ocağı % SiO_2 dağılımı	82
Harita 5.7. TIT ocağı % Al_2O_3 dağılımı	84
Harita 5.8. TIT ocağı % SiO_2 dağılımı.....	84
Harita 5.9. TİT % Fe_2O_3 dağılımı	84
Harita 5.10. AVDAN % SiO_2	85
Harita 5.11. AVDAN % Al_2O_3	85
Harita 5.12. AVDAN % Fe_2O_3	85
Harita 5.13. GM % SiO_2 dağılımı	86
Harita 5.14. GM % Al_2O_3 dağılımı	86
Harita 5.15. GM % Fe_2O_3 dağılımı	86
Harita 5.16. Çin Yak % Al_2O_3 dağılımı	87
Harita 5.17. Çin Yak % SiO_2 dağılımı	87
Harita 5.18. Çin Yak % Fe_2O_3 dağılımı	87
Harita 5.19. ÇİT % Al_2O_3 dağılımı	88
Harita 5.20. ÇİT % SiO_2 dağılımı	88
Harita 5.21. ÇİT % Fe_2O_3 dağılımı	88

RESİMLER LİSTESİ

Resim 5.1. Kıvam limitleri ölçümü.....	71
Resim 5.2. Küre KAL Ocağı Görüntüsü ve Profiller.....	77
Resim 5.3. YİT Ocağı Görüntüsü ve Profiller	80



ÖZET

Anahtar kelimeler: Kil, seramik, Avdan kili, sıkışma dalga hızı (Vp), killerin sismik hızı, killerin xrf sonucu

Endüstriyel hammaddeler arasında kil mineralleri kullanım alanları açısından yaygın alanlar bulmaktadır. Özellikle ülkemizdeki mevcut işletmeler açısından ve hammaddeye yakınlık üretim maliyetleri açısından çok önemlidir. Bu nedenle kil minerallerinin bulunduğu Söğüt bölgesi ve civarı killerin de araştırılarak özelliklerinin belirlenmesi gerekmektedir. Bölgedeki kil ocak işletmelerinin uzun yıllar öncesinden açık ocak işletmeciliği ile aktif olarak işletildikleri bilinmektedir. Ocaklarda yapılan yanlış ocak işletmeciliği neticesinde ocakların verimlilikleri azalmaktadır.

Bilecik ili Söğüt ilçe killerin mühendislik özellikleri XRF, sismik hızlar ve zemin özelliği incelenmiştir. Elde edilen değerler ile endüstriyel kullanımdaki kil minerallerinin içerik değerleri karşılaştırılmıştır. Veriler çeşitli grafik, harita ve regresyon işlemleri ile ilişkiler kurulmuştur. Her ocağın P dalga hızı(Vp), SiO₂, Al₂O₃ ve Fe₂O₃ değerlerinin ortalamaları alındığında ve varyans değerleri araştırıldığında Vp - SiO₂ arasında $r^2 = -0,7266$ değeri, Vp - Al₂O₃ arasında $r^2 = -0,2546$ değeri, Vp - Fe₂O₃ arasında $r^2 = 0,6712$ değeri, Al₂O₃ - Fe₂O₃ arasında $r^2 = -0,4632$ değeri, SiO₂ - Fe₂O₃ arasında $r^2 = -0,802$ değeri hesaplanmıştır. Bulunan ilişkiler ocaklardan alınan numunelerin kullanım alanlarını belirlemek için kullanılmıştır.

Yapılan çalışma ile bölgedeki killerin özellikle seramik sanayii ve refrakter sanayiinde hammadde olarak kullanıma uygun oldukları gerekli zenginleştirme işlemleri yapılması durumunda ise ekonomik değerlerini arttırarak diğer endüstri alanlarında da değerlendirilebileceği kanaati oluşmuştur.

THE EVALUATION OF CLAYS IN AND AROUND OF SÖĞÜT DISTRICT OF BİLECİK PROVINCE IN TERMS OF ENGINEERING FEATURES AND INDUSTRIAL USE

SUMMARY

Keywords: Clay, ceramic, Avdan clay, compressional wave velocity (Vp), seismic velocity of clays, xrf result of clays

Among the industrial raw materials, clay minerals find more common usage areas. Especially in terms of the existing enterprises in our country, the proximity to raw materials and production costs, clay minerals are very important. Therefore, it is necessary to determine the characteristics of the clays of Söğüt and its vicinity. When the average P wave velocity (Vp), SiO₂, Al₂O₃ and Fe₂O₃ values of each quarry were taken and variance values were investigated Vp - SiO₂ between $r^2 = - 0.7266$ value, Vp - Al₂O₃ between $r^2 = - 0.2546$ value, Vp - Fe₂O₃ value between $r^2 = 0.6712$, Al₂O₃ - Fe₂O₃ between $r^2 = - 0.4632$ value, SiO₂ - Fe₂O₃ between $r^2 = - 0.802$ value was calculated. It is known that the clay cookers in the region have been actively operated with open pit operations for long years. As a result of the wrong quarry operations in the quarries, the efficiency of the quarries is reduced.

Engineering properties of Söğüt district clays of were investigated in terms of XRF, seismic velocities and soil characteristics. The obtained values and the content values of clay minerals in industrial use were compared. Data were related with various graphs, maps and regression processes. The relationships found were used to determine the usage areas of the samples taken from the quarries.

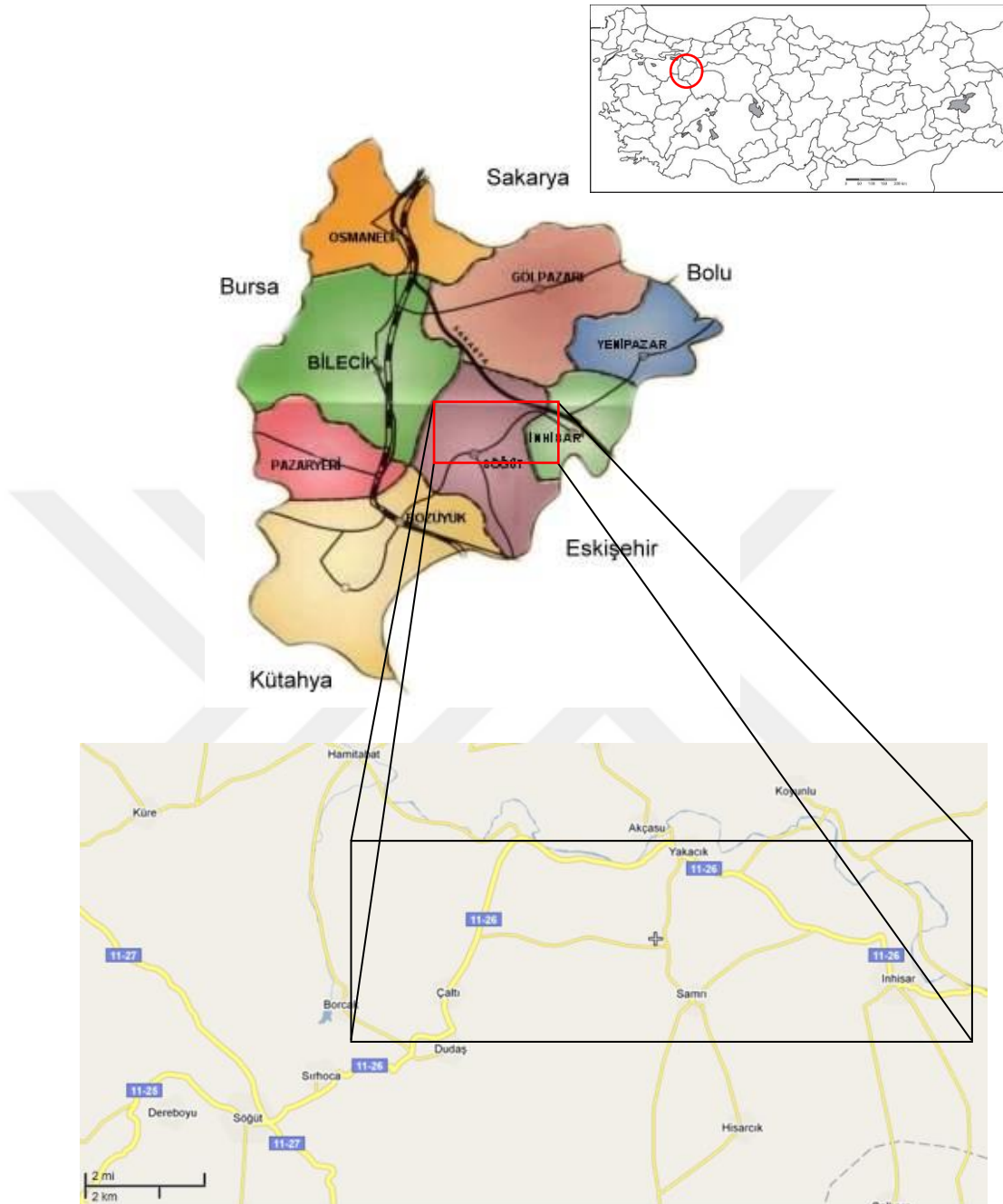
It is believed that the clays in the region are suitable for use as raw material especially in ceramic and refractory industries, and after the necessary enrichment processes, it can be evaluated in other industrial areas by increasing their economic values.

BÖLÜM 1. GİRİŞ

Kil mineralleri günümüzde birçok endüstri dalında hammadde olarak kullanılmaktadır. Seramik üretimi için kullanılan hammaddelerin büyük çoğunluğunu ise kil ve kil grubu mineraller oluşturmaktadır. Ülkemizde seramik endüstrisi de kil minerallerinin yaygın olarak kullanıldığı bir sektör durumundadır. Kil ve kil grubu minerallerin yoğun olarak bulunduğu bölgelerden biri de Bilecik İli Söğüt ilçesi ve dolaylarıdır.

İnceleme alanı Bilecik Söğüt İlçesi olup, Adapazarı H24-c3, H24-c4, H24-d3, H24-d4 paftalarında bulunmaktadır. Kuzeyde ve doğuda Sakarya Nehri ile sınırlanmış olup, batıda Küre Köyü'ne kadar olan yaklaşık 125 km²' lik bir alanı kapsamaktadır (Şekil 1.1.).

İnceleme alanının en yaşlı birim olarak Paleozoyik yaşlı metamorfik şist, granit ve granodiyoritler göze çarpmaktadır. Daha sonra sırası ile Üst Jura Kretase yaşlı kireç taşları, Paleojen yaşlı kireçtaşları ve volkanik tüf, Neojen yaşlı killi, kömürlü gölsel çökeller ve Kuvaterner yaşlı taraça ve alüvyon gelmektedir [1].



Şekil 1.1. İnceleme Alanı Yer Bulduru Haritası

1.1. Amaç ve Yöntem

Çalışmada amaçlanan; Söğüt Bölgesindeki ocaklardan çıkarılan ve seramik sektöründe yoğun bir oranda kullanılan kil minerallerinin mühendislik özelliklerinin ortaya çıkarılarak hangi sektörde kullanılabileceğinin saptanmasıdır. Bu amaçla bölgedeki ocaklardan düşey oluk yöntemi ile numuneler alınarak, bu numunelerin

XRF sonuçları ortaya çıkarılıp, sismik hızlar yardımı ile mühendislik özellikleri belirlenip hangi sektörde kullanılacakları hakkında bilgiler sunulacaktır.

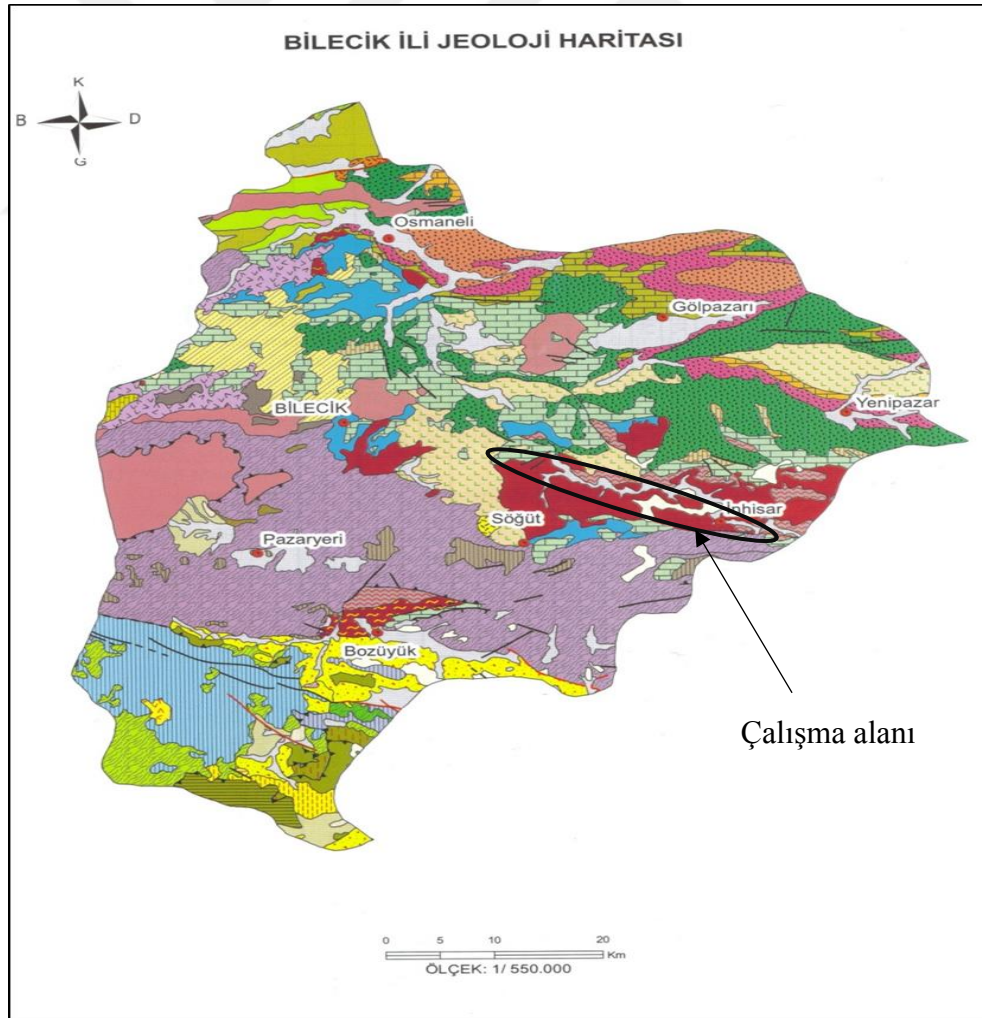
Bu nedenle bölgedeki 8 kil ocağından örselenmemiş numuneler alınıp her numune üzerinde XRF analiz değerleri, sismik hız ve kıvam limitleri tespit edilmiştir. Bulunan değerler arasında ilişkiler irdelenerek Bilecik ili Söğüt İlçesi civarında bulunan ocaklardaki killerin özellikleri belirlenip hangi endüstri alanında kullanıma uygun oldukları tespit edilmiştir.



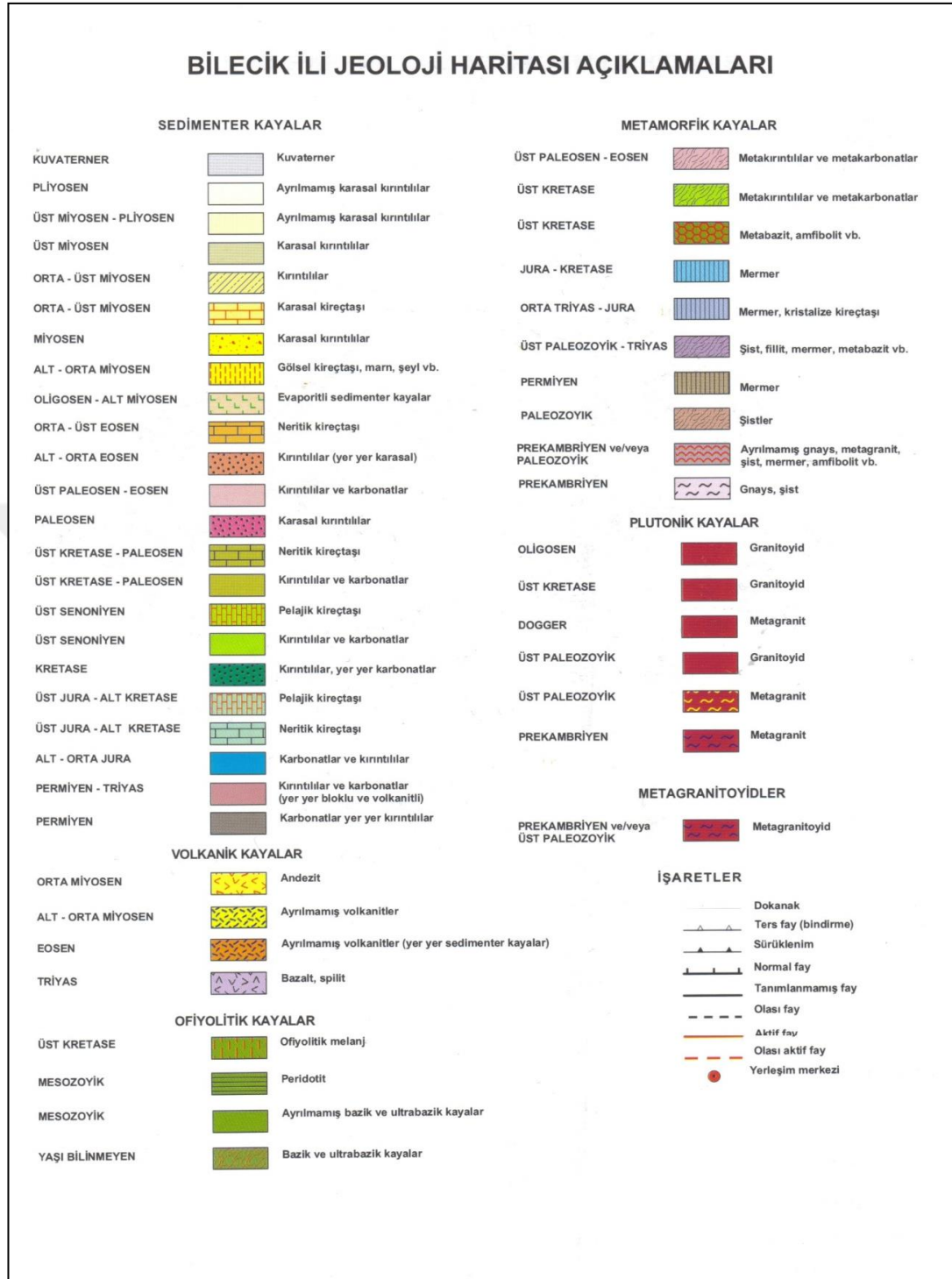
BÖLÜM 2. BÖLGESEL JEOLojİSİ ve STRATİGRAFİ

2.1. Bilecik İli Genel Jeolojisi

Bilecik ilinin temelini oluşturan paleozoik yaşlı başkalaşım kitleleri, özellikle güneyde (Bozüyük-Dodurga) ve batıda (Merkez ilçe Pazaryeri) oldukça yaygındır. Gnays, Şist ve mermer gibi kütleler arasına granit (magmatik kütle) sokulumu vardır. Bu ilişki en güzel Söğüt ilçesi yöresinde görülmektedir [2].



Şekil 2.1. Bilecik İli Jeoloji Haritası [2].



Şekil 2.2. Bilecik İli Jeoloji Haritası Açıklaması

2.2. Stratigrafi Birimleri

Jura öncesi yaşlı temel karmaşığın adı altında değerlendirilen Çaltı metamorfiti, Söğüt granitoyidi ve Karasu spiliti, Alt Jura yaşlı Bayırköy Formasyonu, Orta Üst Jura

2.2.1. Temel karmaşığı

Temel karmaşığı spilit volkanizmasından oluşan ve geniş alanları kapsayan magmatik-metamorfik kayaçlardan oluşmaktadır. Bu birim “Çaltı metamorfiti, Söğüt granitoyidi ve Karasu spiliti” olarak 3 birim olarak Neojen havzasının kaynak kayaçlarını oluşturan ve birbirleri ile olan ilişkileri olduğu bilinmektedir.

2.2.1.1. Çaltı metamorfiti

Çaltı metamorfitleri, Söğüt ilçesinin güneyinde yüzeylenmekte olup yeşil şist fasiyesinde metamorfizmaya uğramışlardır. Çaltı metamorfitlerini oluşturan birimler fillit, mika şist, epidot –aktinolit-klorit şist, metakumtaşı ve kuvarsittir. Yer yer rekristalize kireçtaşı blokları içeren grovak ve spilitten oluşan Karakaya Formasyonu, Çaltı metamorfitleri üzerinde uyumsuz durumda olarak yer almaktadır. Temel karmaşığı üzerine otokton olarak konglomera, kumtaşı ve marndan oluşan Bayırköy Formasyonu ve Bilecik kireçtaşı uyumsuz olarak çökelmiştir. En üstte ise uyumsuz olarak Yeniköy andeziti ve Küre Formasyonu bulunmaktadır [5].

Metamorfitlerin, magmatik kayaçlarla olan dokanaklarında, hornfels türü kontakt metamorfik kayaçlar gelişmemiştir [3]. Ayaroğlu (1979) ise, Bozüyük-Söğüt yöresindeki metamorfitlerin, bölgedeki kil ve kumlu oluşuklarla granitik intrüzyon ürünlerinin bölgesel metamorfizmaya uğraması ile oluştuğunu ve ana element analizlerine dayanarak bunların orto ve para olmak üzere iki ayrı kökenli olduğunu ileri sürmüştür. Araştırmacılara göre metamorfizma şiddeti, kuzeyden güneye doğru artmaktadır [6].

2.2.1.2. Söğüt granitoyidi

Neojen havzasının esas kaynak kayaçları durumunda olan birim, egemen kütle olan granidiorittir. Bunun yanı sıra granit, alkali feldspat granit, diyorit ve damar kayaçlarından oluşmaktadır.

Bölgede geniş alanda mostralara veren granitoyitler beyaz, gri pembemsi gri ve kırmızımsı pembe renklerde olup orta iri tanelidir. Aşırı derecede bozunmaya uğramış ve bu nedenle yer yer toprak oluşumları halinde gözlenirler. Granitoyitler içinde, gnaysik görünümlü kesimlerin varlığı ise magmatik oluşumların olabileceğini göstermektedir.

Bölgede Asartaşı tepe, Yukarı mahalle, Çaltı deresi ve Borçak dere yamaçları ile Küre köyü civarlarında izlenen aplit ve pegmatit damarları, ana sokunum kütesini (granitoyit) sıkça kesmişlerdir.

Bölgesel metamorfizmanın, pelitik ve psammitik kayalardan oluşan çökelleri, "yeşil şist fasiyesine" kadar etkilediği belirlenmiştir. Granit intrüzyonu, hornfels yerine kontakt şisti geliştirerek, kimi yeni mineralojik ve yapısal değişimlere yol vermiştir. Bu nedenle kontakt kayaları, bölgesel metamorfizma kayalarına benzemiştir [7].

Siyah renkli mikrokristalin diyorit ise Gençöglü (1988) tarafından, yalnızca Çaltı köyü kuzey yamaçlarında ve Yeniköy kuzeyinde çok küçük lokasyonlarda izlenmiş ve bunların eski bir temele ait kalıntılar olma olasılığı ifade edilmiştir.

Genelde mikrokristalin bileşenlerinin olduğu granitoyid kütesinin kayaç birimleri, granodiyorid yaygın olmak üzere alkalifeldspatgranit, granit, alkalifeldspatgranit-pegmatit, granit pegmatit ve aplit karakterindedirler.

Aplit ve pegmatit damarlarında genel olarak çatlaklara bağlı hidrotermal getirimlerin neden olduğu demir boyamaları ve kaolinleşmeler de söz konusudur [3].

2.2.1.3. Karasu spiliti

Yeşilimsi siyah renkte gözlenen Karasu Spiliti, Neojen havzasının kuzey batısında mostra vermiştir. Gençöglü (1988) araştırmasında, Karasu'nun erozyona uğrattığı bu bölgede son derece dik, çok iyi aşınmış yükseltiler şeklinde gözlenen bu birimin mağmatitler ve metamorfitle dokanaklarına rastlandığını, ancak dokanaksız olmalarına karşın, oluşum ve jeolojik evrimlerindeki ilişkiler nedeniyle literatürde

spilitik volkanizma ile mağmatitler ve metamorfitlerin genelde ayırt edilmeden bir bütün olarak yorumlandığını, bu nedenle de Karasu spilitinin temel karmaşığı içerisinde değerlendirildiğini, birimin üzerine ise yer yer Bayırköy Formasyonu, Bilecik kireçtaşı veya direk Neojen çökellerinin uyumsuz geldiğini belirtmiştir.

Bugün, Kazdağı doğusu, Balya üzerinden Marmara denizine, Bursa doğusu Yenişehir üzerinden Bilecik'e kadar buradan da Sivrihisar kuzeyinden Ankara, Amasya ve Refahiye'ye kadar uzanan bir zon içerisinde gözlenen ve araştırmacılar tarafından çeşitli karakterlerde tanımlanmış olan Karakaya Formasyonu içinde değerlendirilen spilitler ilk kez Bingöl (1973) tarafından Alt Triyas yaşlı, genellikle Permo-Karbonifer yaşı veren rekristalize kireçtaşı bloklarını kapsayan, çok az metamorfik spilit ve grovak şeklinde tanımlanmıştır [8]. Altınlı (1973a) ise spilit volkanizmasının yaşını Üst Permian veya daha genç olarak tanımlamıştır [9].

Plajiyoklas ve ojit başlıca bileşenleridir. Ayrıca kalsit ve klorit oluşumları yaygındır. Plajiyoklaslar “albit” karakterinde mikrolitler biçimindedir.

Karbonatlaşma az gelişmiştir. Ojit iri fenokristaller şeklindedir. Oluşum plajiyoklas, ojit mikrolitleri, kriptokristaller ve volkanik camdan meydana gelmiştir.

2.2.2. Bayırköy formasyonu

Bayırköy Formasyonu Batıda yalın, doğuda değişken kaya türlerinden oluşan bu formasyon, ilk defa Granit (1960) tarafından tanımlanmış ve Bayırköy Kumtaşı olarak isimlendirmiştir. Altınlı (1973) daha sonra bu birime, kumtaşından başka çökel kayaları ile de girik durumlar gösterdiği gerekçesiyle, Bayırköy Formasyonu adını kullanmıştır. Bayırköy Formasyonu batıda Bayırköy dolayından başlar ve Sarıcakaya doğusuna doğru, yer yer kesinlikler göstererek devam eder. Birim genellikle kumtaşı özelliğindedir. Yer yer de kilaşı, kumlu kireçtaşı, kireçtaşı da içermektedir. Bayırköy Formasyonu Orta Sakarya Karışık Grubu üzerine transgresif aşmalı olarak gelir. Bu durum Aşağıköy'de, Adabayıra Tepe'de ve Enez Dere'de iyi izlenir. Bayırköy

Formasyonunda en fazla 1280 m kalınlık ölçülmüştür. Bayırköy Formasyonu Liyas yaştadır [9] [10] [11].

Litolojik özellikleri, yanal ve düşey değişimleri, stratigrafik ilişkileri önceki araştırmacılar tarafından ayrıntılı olarak belirlenen Bayırköy Formasyonu yersel olarak istifte görülen bol fosilli kireçtaşı ve marn düzeyleri dışında fosil içeriği yönünden oldukça fakirdir [12].

2.2.3. Bilecik kireçtaşı

Bilecik kireçtaşı birimi tamamen kireçtaşından oluşmuştur. Gençoğlu (1988) tarafından yapılan incelemede tüm orta Sakarya bölgesinde yaygın olan birimin inceleme alanında da Neojen havzasını sınırlar biçimde yayılımlar gösterdiği, Katlıç köyü kuzey ve güney yamaçlarından Erenköy'e kadar, ayrıca Yeniköy ile Kızıldamlar civarında ve Çaltı köyü batı ve güneyindeki yükseltilerden Samrı köyü ve İnhisar'a kadar olan alanlarda izlendiğini ve bu birimin çoğunlukla dik yarlı masa tipinde tepeler şeklinde olduğunu, topografik görünümü ve yapısı ile her yerde tipik olmasına karşın en iyi Çaltı köyü Güneykaya tepede izlendiğini belirtmiştir.

Bilecik Kireçtaşı üzerine de Alt Kretase'nin üst bölümlerinden başlayan çökeller açısız uyumsuzlukla gelmektedir. Bilecik Kireçtaşı'nda 740 m kalınlık ölçülmüştür. Birim, Üst Jura ve Alt Kretase yaştadır. Granit (1960), Eroskay (1965)'in bu yaşı gösteren fosil bulguları vardır. Bilecik Kireçtaşı paleontolojik bulgu ve mikrofasiyes özelliklerine göre, ılığ ve sıcak bir denizel ortamda çökelmiş olmalıdır [10] [11] [13].

Birimin paleontolojik bulgu ve mikro fasiyes özelliklerine göre ılığ sıcak ve sakin bir self ortamı özelliği gösterdiği belirtilmiştir [7]. Rekristalize kireçtaşı ve çeşitli özelliklerde sparit karakterindedir. Sparitler ise oolitli-intrasparit, pelletli-oosparit ve pelletli-fosilli-intrasparit karakterindedir. Ayrıca kalsitlerde büyümeleri görmek mümkündür. Dokusal yönden olgunlaşma yaygın olmasına rağmen yarı olgunlaşma da tanımlanabilir.

Gittikçe derinleşen bir ortamda çökelmiş bu birimin alt düzeyleri beyaz-pembe yer yer gri renkli, orta tabakalı kumlu kireçtaşlarından, üst düzeyleri ise sütlü kahve-gri renkli, sert dokulu, ince tabakalı, yer yer marn ara katkılı kireçtaşlarından oluşmaktadır [14].

2.2.4. Gökçekaya formasyonu

Tüf, kumtaşı ara katkılı ve tüfit mercekli killi kireçtaşı ve kumtaşı istiflerinden oluşan birimdir. En az mostra veren (max. 1 km) formasyon olup, Katlıç köyü güney yamaçlarında, Yeniköy doğusundaki Gökçekaya tepe ve Bilecik yolu üzerinde Akdizler mevkiinde yer alır. Gençöğlu'na (1988) göre formasyonun adı litolojik özelliklerin en iyi gözlemlendiği Gökçekaya tepe'den alındığını ve buradaki kalınlığın kabaca 100 m olduğunu belirlemiştir.

Ayrıca Katlıç köyü güneyindeki Bilecik kireçtaşları eteğinde, açısal uyumsuzlukla bulunan birimin, kırmızı, pembe, ince-orta katmanlı, laminalanma gösterebilen, sert ve tıkmaz, killi kireçtaşından oluştuğu ve bu kireçtaşlarının pembe renkli, ince katmanlı iyi pekişmiş, tüf kumtaşı arakatkıları ve aynı özellikteki tüfit merceklerini de içerdiği belirtilmiştir.

Kireçtaşları: Mikrit karakterindedir ve tipik mikritin yanı sıra biyomikritik, tüflü-biyomikritik, tüflümikrit, tüflü-litomikrit tanımlanmıştır. Bu kayaçlarda boylanma iyi veya orta, tane şekli yuvarlak, kil oranı yüksektir. Aynı zamanda tüf içeriği ve laminasyonları gözlenebilmektedir. Tüflü mikritlerde zeolit ve klorit minerallerine rastlanmıştır. Ayrıca Yeniköy volkanitlerine yakın bölgelerde, demir getirimleri gözlenmiştir.

Kumtaşları: Andel'e (1958) göre grovak ve subgrovak Travis'e (1970) göre litik kumtaşı ve kuvarslı kumtaşı karakterlerindedir [15] [16].

Tüfler: Karbonatlarla birlikte ince bantlar veya laminalar şeklinde kırmızı renkli camsı kül tüfleri tanımlanmıştır.

2.2.5. Yeniköy volkaniti

Andezit karakterinde olan volkanitler, aşırı derecede yer yer tamamen kaolinleşmiş ve yörede kaolen kaynağı olarak işletilmektedirler. Volkanitlere, dayklar şeklinde Yeniköy civarındaki Gökçekaya Formasyonu içerisinde ve Küre Neojen baseninin kuzeyinde dağınık biçiminde rastlanılmış, Akdizler mevkiindeki kaolen ocakları şeklinde işletilen volkanitlerin Bilecik kireçtaşlarını kestiği ve çok az zayıf bir pişme zonu oluşturduğu gözlenmiştir.

Volkanitlerin, çatlak ve kırık sistemlerine bağlı hidrotermal getirimlerle kaolinleşmiş ve bu nedenle beyaz, kirli sarı renkte olduğu ayrıca demir getirimi ile yer yer kırmızıya boyandığı gözlenmiştir [3].

Yeniköy volkaniti aşırı derecede bozunmuş andezit karakterinde olup vitrofir-porfirik doku göstermektedir. Ana bileşenlerini plajiyoklas, amfibol ve opak mineralleri oluşturur. Plajiyoklaslar genelde mikrolitler ve bazen fenokristaller şeklinde bulunmaktadır. Hidrotermal aktiviteler sonucu fazla miktarda veya tamamen kil minerallerine (kaolinit) dönüşmüşlerdir [17].

2.2.6. Geçitli formasyonu

Gürpınar (1970), Sakarya batısında Vezirhan Formasyonu üzerinde, açılı diskordanslı kireçtaşı birimlerinde ibreziyen faunası bulmuştur. Aynı bölgenin güneyindeki arazide Erşen (1970) ise lütesiye faunasını tespit etmiştir. Orhan (1972), Osmaneli kuzeyindeki Mekece Boğazı'nda üst kretase üzerine açılı diskordansla gelen birime Ciciler Formasyonu adını verip, orta üst lütesiye 3 üye ayırtlamış ve bu üyelerden birisine nummulitli kireçtaşı olarak belirtmiştir. Demirkol da (1973) Gemiciköy dolayındaki Bilecik kireçtaşı üzerine açılı diskordansla gelen birime "Geçitli kireçtaşı" adını vermiştir [18] [19]. Yaşının fosil topluluğuna göre orta-üst lütesiye olduğunu belirtmiştir. Araştırmacı bu birimin sığ, daha çok düşük, bazen yüksek enerjili intratilitoral ortamda çökeldiğini ve krem-kirli sarı, orta-sert, kaba dokulu bir katman olduğunu ifade etmiştir [20] [7].

Bu formasyonu oluşturan kireçtaşlarında çeşitli foramiferler, mercanlar oldukça bol olarak gözlenmektedir. Sparit çimento ise yer yer yoğunlaşmaktadır. Boşluklarda kalsit ve kalsedon oluşumları belirlenmiştir. Nadir olarak volkanik kayaç parçacıklarına da rastlanılmaktadır. Boylanma kötü, taneler köşeli ve istiflenme iyi gelişmiştir.

2.2.7. Küre formasyonu

Neojen yaşlı gölssel baseni daha çok flüviyatil getirimlerle oluşturulan, alt merkezi kıltaşı-konglomera çökelleri, üst kıltaşı-kumtaşı çökelleri ve son ürün kimyasal karbonat çökelleri ile flüviyatil getirimlerin kendi çökelleri ayrı ayrı incelenmiş, özellikleri saptanmış fasiyes konumları belirlenmiştir. Formasyona yayılımın en fazla ve en iyi gözlemlendiği bölgedeki en büyük yerleşim merkezi olan Küre köyünün ismi verilmiştir [3].

2.2.8. Avdan kıltaşı-kumtaşı üyesi

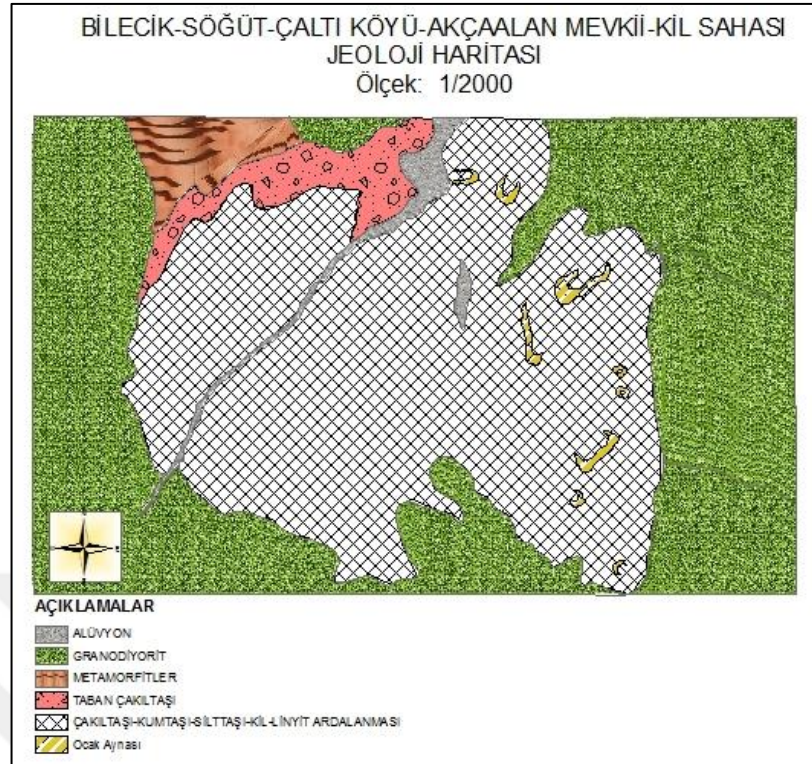
Çakıl mercekli, konglomera seviyeli, killi kireçtaşlı tüfit ara katkılı kıltaşı kumtaşı ardalanmasında oluşan ve kömür içeren birimdir. Neojen birimleri, şist, gnays, granit, aplit çakıllarından oluşmuş ve iyi çimentolanmamış bir çakıltası seviyesiyle başlayıp, yukarıya doğru killi, kumlu, linyitli bir seri olarak devam etmektedir. En üstte yine çakıltaşları yer almaktadır [21].

Neojen gölssel havzasının orta bölümünü oluşturan ve kil katmanları nedeni ile ekonomik değere sahip olan ocakların bulunduğu üye, farklı dört sahada yüzeylenmektedir. Yörede ve literatürde kil sahaları olarak değerlendirilen bu bölgeler Sakızbeli Mevkii kil sahası, Çiğdemlik-Alan kil sahası, Akçaalan kil sahası ile üyenin en iyi ve en geniş gözlemlendiği Küre bölgesidir. Bunlardan Küre yöresi hariç diğer bölgeler, küçük yayımlı hafif erozyonal yüzeyli topografik alanlardır. Küre bölgesinde ise birim daha geniş alanlarda yüzeylenmektedir. Bu sahada morfoloji, küçük derelerin birleşerek geniş bir erozyonal yüzeyle Sakarya'ya ve Karasu'ya açılması sonucu aşırı derecede erozyona uğramış ve engebe kazanmıştır.

Küre Neojen Alanı: Bu bölgede, havzaya güney ve kuzeybatıdan malzeme taşıyan bol boşalımlı flüviyal getirimler etkili olmuştur. Bu getirimlerden güney havza içerisine doğru gelişen bir alüviyal yelpaze, havzayı besleyen en önemli malzeme ve su kaynağını oluşturur. Bu yelpazenin örgülü kanalları, göl derinliklerine doğru etkilerini azaltarak sürdürmüşlerdir [17].

Bu yöredeki getirimler, havza içinde paralel set oluşturacak şekilde, iki havza temel yükseltisi tarafından engellenmiş ve bölgedeki hemen hemen tüm sedimanter kil ocakları, Avdan kil mevkii olarak bilinen bu setin önünde dizi halinde sıralanmışlardır. Bu lokasyonlarda birim; mavi, mavimsi gri, gri rengi ile tipiktir. Birim, bolca çakıl mercekleri içeren konglomera ve ince killi kireçtaşı, arakat kili, kilaşı-kumtaşı ardalanması şeklinde, kılavuz seviye olan kömür bandına kadar devam eder. Kömür damarının hemen üzerinde kalınlığı kenarlarda 10 cm'den başlayıp merkezi kısımlarda 1 m'yi aşabilen silt-şeyl ardalanması bulunmaktadır [17].

Kömür seviyesi güneydoğuya doğru olan ocaklarda kalın (0,5–2 m) ve ince kil arakatkılı iken, kuzeybatıya doğru çatallanıp birbirine yakın ince iki bant (10–25 cm) olarak gözlenir. Köksoy (1985), genelde kömür damarının, daha ince damarcıklara ayrılmasını havzanın ani olarak çökmesi sonucu oluşacağını belirtmiştir [22]. Yöredeki bu çöküntü alanı, yersel ve küçük boyuttadır. Kömür damarları, doğal setin uçlarındaki ocaklarda, ortadan kalkmakta ve yerine çok ince bitüm seviyelerine veya organik maddece zengin kile bırakmaktadır. Bu kılavuz kömürlü seviyenin altında ise ekonomik değere sahip işletilen, masif ve yer yer konvolütler içerebilen kumlu kilaşı gelmektedir. Bu birimde aşağıya doğru kum oranı artmaktadır. İşletilen seviye olan kömürün altındaki killi kumtaşına kadar, üstte kalın kilaşı-kumtaşı, konglomera istif, mavi, mavimsi gri rengi ile tipiktir. Buradaki hakim istif olan kilaşları, pekişmiş, yarı pekişmiş katmanlı ve yarılmı göstermektedir. İllit kristallerince zengin seviyeler ve organik madde içeren bu kilaşları genelde yağsı özelliktedir. Bu kilaşları ayrıca ince yarı pekişmiş kum, kumlu çakıl mercekleri ve seviyeleri ile serbest çakıl taneleri içerebilmektedir. Kilaşları ile arakatkılı sert ve tıkmaz kumtaşı ve bazen konglomeratik seviyeler ise, kalın katmanlı, yanal ve dikey yönlü, kısa mesafelerde birbirlerine geçiş gösterebilen karakterlerdedirler [17] [21].



Şekil 2.4. Çaltı Akçaalan Mevkii Jeoloji haritası ([1] den değiştirilerek oluşturulmuştur).

Çakıl ve kaba kum bileşenleri genelde magmatik kayaç ve daha az metamorfitten türemişlerdir. Çimento malzemesi, karbonat, kum, silt ve kildir. Yer yer bitki fosilleri görülmektedir. Bu birimlerin kesit içerisinde, makro olarak tanınması imkansızdır. Ancak mikroskobik düzeyde belirlenebilen yine mavi renkli, ince katmanlar halinde, sert ve tıkHz bileşenleri gözle ayırt edilemeyen ve laminasyon gösterebilen birkaç killi kireçtaşı katmanları da görülmüştür. Ayrıca sarı-kahverengi renkli çok ince katmanlı bol bitki fosilleri içerebilen siltli kilaşı tabakaları, birkaç seviye halinde tüm ocaklarda gözlenmektedir. Kömür bantları arasında ve-veya üzerinde bol miktarda organik madde içeren siyah, mavimsi siyah renkli, plastisitesi yüksek, yağsı kil katmanları bulunmaktadır. Kömür bandının üst dokanağında, laminalı silttaşı izlenebilmektedir.

Kılavuz seviye olarak nitelenebilen kömür bandının altındaki ekonomik değere sahip olan, kumlu kilaşı ise masif, sert, tıkHz üst seviyeleri kahverengi, alta doğru yeşilimsi renge doğru geçiş gösteren ve kum oranının arttığı birimde yer yer nadiren çok küçük yayımlı, konvolütlere rastlamak mümkün olmuştur. Ayrıca bu seviyelerde demir yumrucuklarını da gözlemek mümkündür.

Üye, ocakların bulunduğu Avdan mevkiindeki tipik mavi, gri rengini kuzey ve batıya doğru alt seviyelerde koruyabilmektedir.

Avdan kıltaşı-kumtaşı üyesinin Akçaalan, Çiğdemlik-Alan ve Sakızbeli mevkiindeki karakteri ve görünümü Küre bölgesinden biraz daha farklıdır. Granitik ve metamorfik temel içerisinde gelişmiş sedimantasyonla eş eğim atımlı normal fayların derinleştiği bu küçük kil sahalarında birimlerin litolojik ve sedimantolojik özellikleri aynı karakterdedir. Bu mevkilerde kılavuz seviye olan kömür tabakaları Sakızbeli ve Akçaalan mevkiinde yine görülmektedir. Çiğdemlik -Alan mevkiinde ise kömürün yerini organik maddece zengin plastik kil seviyeleri almaktadır. İnce kömür bantlarının hem üzerinde hem de altlarında katman kalınlıkları 0.1–1.2 m. arası değişen, Avdan mevkiindeki işletilen kil taşından daha kaliteli ve değişik özelliklerde sarımsı, gri, bej, kahverengi, yeşilimsi gri, yeşil renkli kıltaşı katmanları, kumtaşları ile ardalanmalı bulunmaktadır. Bu mevkilerdeki kil taşı katmanlarının devamlılıkları azdır, kalınlıkları ve kaliteleri yanal dikey yönde değişebilmektedir. Özellikle Sakızbeli mevkiindeki kıltaşı katmanlarının yanal olarak kumtaşı ve konglomeraya geçtiği gözlenebildiği gibi kalın kıltaşı katmanları içerisinde kumlu ve çakıllı seviyelere de rastlanılmaktadır.

Kıltaşları içerisinde lamina, ince bantlar, nodüller ve jeller şeklinde koyu gri renkte silis çökelleri tespit edilmiştir. Ayrıca bu sahalarda Avdan mevkiinde de demirli yumrulara sık rastlanılmaktadır. Yine kalın kil katmanları içerisinde devamlı veya kesikli demirce zengin, sarı, kahverengi seviyeler gözlenebilmektedir. Tüfitler ise yalnızca Sakızbeli mevkiinin doğusunda yer alan ocaklarda birkaç tabaka halinde görülmektedir. Bu tüfitlerde yaygın bir killeşme söz konusudur. Bunların kaynağı ve Neojen gölsel basenin doğu sınırı olarak değerlendirilen Sakızbeli mevkiinde gözlenmesinin nedeni bu bölgenin doğuya doğru çalışma alanının dışında yer alan, Altınlı (1973a) tarafından belirtilen Sarıcakaya volkanitleridir. Neojen gölsel basene sediman taşıyan akarsular, zaman zaman bu volkanizmanın tüflerini, erozyona uğratarak havzaya taşımış ve tüfit karakterinde depolanmasına neden olmuşlardır. Bu birim, flüviyal etkiyle açık gölsel kenar fasiyeste çökelmiştir.

BÖLÜM 3. KİLLER HAKKINDA GENEL BİLGİ

Ülkemizde kil madenlerinin ruhsatlandırılması 6 Kasım 2010 yılında 27751 sayılı Resmi gazetede yayınlanan Madencilik Faaliyetleri Uygulama Yönetmeliğine göre Madde 5 (Maden ruhsatlarının gruplandırılması) başlığında IV. Grupta yer alan Endüstriyel Hammaddeler grubunda değerlendirilir.

Kil, bir kayaç terimi olarak, sedimanter kayaçların ve toprakların mekaniksel analizlerinde tane iriliğini ifade eden bir terim olarak kullanılmaktadır. Wentworth tarafından 1922’de tane büyüklüğü 4 mikrondan ($1/256$ mm) daha küçük taneciklere kil denmesi teklif edilmiştir [23]. Kil terimi jenezi belirtmez. Bu terim, hem hidrotermal faaliyetin sebep olduğu bozunma mahsulleri için hem de sedimantasyon yolu ile çökelmiş malzemeler için kullanılır. Genel olarak kil, belirli bir kristal yapısına sahip, doğal, toprağımsı, ince taneli, belirli miktarda su katıldığı zaman plastikliği artan bir malzemedir. Killer, başlıca kil minerali olarak bilinen bir mineral grubunun bir veya daha fazla üyesinin son derece küçük, kristal yapısına sahip parçacıklarından oluşur [24].

Kil mineralleri farklı iki temel yapıtaşından oluşmuştur. Bunlardan birincisi oktahedral (düzgün sekizyüzlü) olup, merkezde alüminyum, demir ve magnezyum atomlarından biri, köselerde ise merkez atomundan esit uzaklıkta oksijen veya hidroksiller bulunmaktadır. İkinci yapıtaşı ise tetrehedral (düzgün dörtyüzlü) kristal şekline sahiptir (Şekil 3.1. ve Şekil 3.2.) [25].

Kil mineralleri esas itibariyle alüminyum hidrosilikatlarıdır. Bazı minerallerde alüminyumun yerini tamamen veya kısmen Fe veya Mg alır. Alkali mineraller veya alkali metaller kil minerallerinin esas bileşenleri olarak bulunurlar. Bazı killer tek bir kil mineralinden meydana gelmiştir. Fakat çoğu birkaç mineralin karışımıdır. Killer

içinde kil mineraline ilaveten kuvars, kalsit, feldspat ve pirit gibi mineraller “kil olmayan malzeme” olarak bulunurlar. Birçok killer de organik maddeleri ve suda çözünebilen tuzları ihtiva ederler [24].

Kil mineralleri tabaka yapılı alüminosilikatlarıdır. Plastik özellikleri tabakalarının plaka şeklinde olması ve bu plakaların birbiri boyunca su sayesinde kayma özelliğine dayandırılır.

Killer kimyasal bileşimleri bakımından çok değişkendirler. Saf kaolinit ile fazla miktarda yabancı maddeleri ihtiva edenler arasında değişik bir sıralanma gösterirler. Killerin kimyasal analizleri nadiren kil minerali tiplerini birbirinden ayırt etmede kullanılırlar. Fakat X ışınları difraksiyonu ve diferansiyel termik analizler gibi tanıma metodları için iyi bir yardımcıdır. Kaolin tipi mineraller genellikle montmorillonit, illit ve klorit tipi minerallerden $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ oranı ile ayrılırlar. Bu oran iyi kaolin veya kaolinit killerinde yaklaşık 2/1 olup, diğerlerinde ise 3/1 dir. Kimyasal analizler örneğin seramiğin çeşitli kullanım alanlarında demir içeriğinin çok düşük olması veya bazı refrakterlerde alüminyum içeriğinin belirli bir yüzdenin üstünde olması gerektiği hallerde önem kazanmaktadır.

Kaolin grubu mineralleri sulu alüminyum silikatlarıdır ve teorik olarak saf kaolin $2\text{H}_2\text{O}.\text{Al}_2\text{O}_3.2\text{SiO}_2$ şeklinde ifade edilebilir. Ancak, kaolenlerin yapısında genel olarak diğer kil mineralleri, kuvars, feldspat, kalsit, jips, pirit, organik maddeler, suda çözünen tuzlar gibi safsızlıklar bulunduğu için bu oranlar değişkenlik göstermektedir. Kaolinit en çok rastlanan kaolin mineralidir. Dikit ve nakrit bazı hidrotermal çökeltiler hariç nadiren bulunur [26].

Halloysitin kimyasal bileşimi $\text{Al}_2\text{O}_3.2\text{SiO}_2.4\text{H}_2\text{O}$ şeklindedir. Halloysit 60 °C de suyunu kaybetmekle metahalloysite dönüşür. Kaolinit 1000 °C civarında ısıtılırsa, mullit kristalleri oluşur.

Montmorillonit teorik olarak $\text{Al}_2\text{O}_3.2\text{SiO}_2. \text{H}_2\text{O}. n\text{H}_2\text{O}$ 'dur. Fakat teorik formül şebeke yapısına giren ilavelerle değişebilir. Alüminyum, çinko ile yer değiştirdiği zaman

sosonit, demir ile yer değiştirdiği zaman nontronit, Mg ile yer değiştirdiği zaman hektorit meydana gelir. Hektorit aynı zamanda lityum da ihtiva eder.

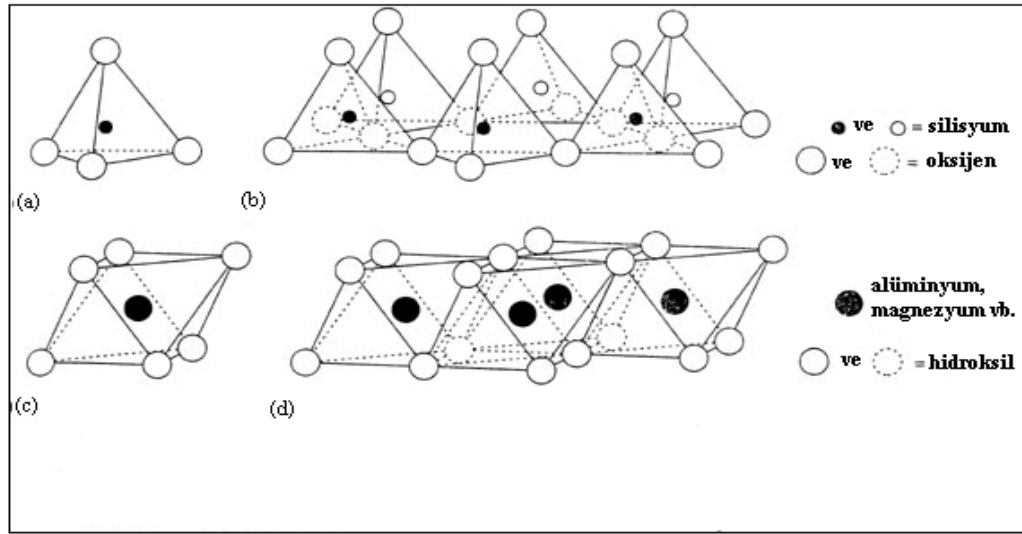
İllit, mikaya benzer kil minerallerine verilen genel bir isimdir. Potasyum iyonlarının birim tabakaları arasında köprü vazifesi görmesi ve bunları bağlamalarından dolayı genişlemezler. Kloritlerin yapısını münavebeli mika ve brusit tabakaları sağlar. Sepiolit bir sulu magnezyum silikatıdır. Yapı bakımında atapuljitten ayrılır.

Poligorsikit, sepiolitteki Mg iyonlarının kısmen Al iyonları ile yer değiştirmesi sonucunda oluşan ve sepiolit ile atapuljit arasındaki mineral grubuna verilen isimdir [24].

3.1. Kil Mineralojisi ve Kimyasal Bileşimi

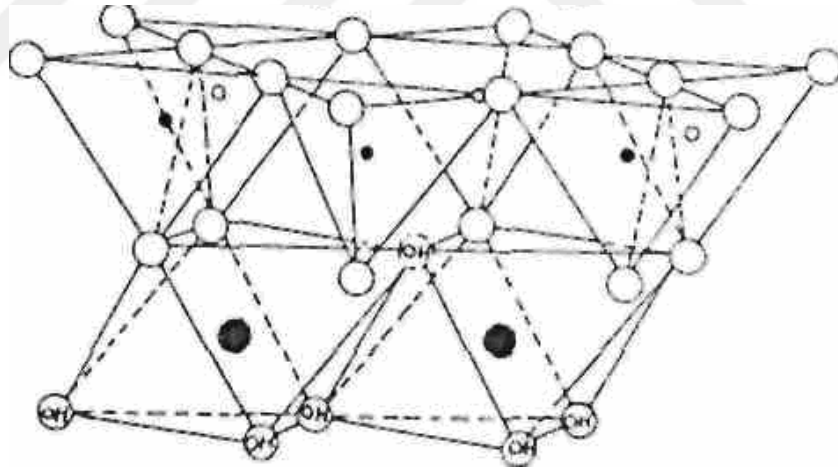
Silika-oksijen tabakasında; silikon atomları dört oksijen atomu ile koordine olmuştur. Oksijen atomları düzenli tetrahedra yapıda silika atomu merkezde olacak şekilde dört köşeye yerleşmiştir. Tabakada, her tetrahedrandaki dört oksijen atomunun üç tanesi diğer üç komşu tetrahedra ile paylaşır. Silika-oksijen tabakası “tetrahedral tabaka” ya da “silika tabakası” olarak adlandırılır [27].

Al-,Mg-O,OH tabakasında; Al veya Mg atomları altı oksijen atomu ile koordine olmuştur veya düzenli oktahedranın altı köşesinde ve Al veya Mg atomlarının çevresine yerleşmiş OH grupları ile koordine olmuştur. Oksijen atomları ve hidroksil grupları, alüminyum veya magnezyum atomları arasındaki düzlemlerde, iki paralel düzleme uzanmış durumdadır. Oksijen atomları ve hidroksil grupları hegzagonal sıkı paket formu oluşturmaktadır. Bu tabaka; “oktahedral tabaka” ya da “alüminyum, magnezyum tabakası” olarak adlandırılır. Ayrıca jibbsit ya da brusit tabaka olarak ta tanınır [27].



Şekil 3.1. Tetrahedral yapı ve ağları (a-b), oktahedral yapı ve ağları (c-d)

Killer organik maddeleri ve suda çözülebilen tuzları ihtiva etmektedir. Killer içinde kil minerallerinden başka kuvars, kalsit, feldspat ve pirit gibi bazı mineraller kil olmayan malzeme olarak bulunmaktadır.



Şekil 3.2. Kaolinit mineralinin yapısı [25].

3.2. Kil Minerallerinin Sınıflandırılması

Kil terimi jenezi belirtmez. Kil, hem hidrotermal faaliyetin sebep olduğu bozuşma ürünleri için hem de sedimantasyon yolu ile çökelmiş taneler için geçerli bir kavram olarak sayılmaktadır. Bu tür küçük parçacıkları oluşturan minerallere göre kimyasal

sınıflamalar yapılmıştır. Bu sınıflandırmalar Şekil 3.1. ve Şekil 3.2.'de verilmiştir. Bazı kil minerallerinin kimyasal analizleri de Şekil 3.3.'de gösterilmiştir [28].

Tablo 3.1. Kil Minerallerinin Kimyasal Bileşimi [28].

	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MgO	CaO	K ₂ O	Na ₂ O	TiO ₂	H ₂ O	TOPLAM
Kaolinit	46,90	37,4	0,66	0,27	0,29	0,84	0,44	0,18	12,95	99,92
Nakrit	44,75	39,48	0,53	0,19	0,13	0,34	0,22	-	14,40	100,94
Dikit	46,86	37,12	1,43	0,09	0,22	0,60	0,07	0,51	12,99	99,89
Halloysit	44,75	36,94	0,31	-	0,11	0,60	-	-	17,42	100,01
Anauxit	54,32	29,96	2,00	0,14	0,32	-	0,37	-	12,64	99,75
Nontronit	40,54	5,19	31,63	0,06	1,92	0,24	0,14	-	20,75	100,47
Klorit	31,44	17,62	-	37,64	-	-	-	-	13,19	99,89
Proklorit	23,69	21,26	26,52	17,60	3,22	-	-	-	7,63	99,92
Sepiyolit	52,50	0,60	2,99	21,31	0,47	-	-	-	21,27	99,14
Atapulgit	57,85	7,89	2,82	13,44	0,30	0,08	0,53	-	16,95	99,86

Kimyasal ve fiziksel tanımlamalar döneminde gerçekleştirilemeyen killerin sınıflandırılması, killerin mineral kavramı adı altında incelenmesiyle gerçekleşmiştir.

İlk defa 1887 de Le Chatelier killerin çok küçük mineral partiküllerinden oluştuğu fikrini öne sürmüş ve aşağıda gösterilen sınıflamayı teklif etmiştir [29].

Killerin farklı sıcaklıklardaki ağırlık kayıplarının içerdikleri minerallerin cinsine göre değiştiğini tespit etmişler ve killeri 5 gruba ayırmışlardır [30].

Halloysit tipi killeri:

Bu grup $H_4Al_2Si_2O_9 + aq$ formülü ile gösterilir. Isıtıldıkları zaman 250 °C de ihtiva ettikleri suyun bir kısmını kaybederler. Kalan bileşim suyu da 400 °C de uçar. 1000 °C de ise bir değişikliğe uğramazlar ve asitlerde erimezler.

Allofan tipi killeri:

Bu grup killeri $SiAl_2O_5 + aq$ şeklinde formüle edilirler. Su 150° C ile 400 °C arasında uçar. 1000 °C de değişikliğe uğramazlar.

Kaolin tipi killeri:

Bu tip killerde bileşim suyu ancak 770 °C'de uçar. 1000 °C'de ise değişikliğe uğramazlar.

Prifolit (pyrophyllite) tipi killeri:

Bu tip killeri bileşim sularını 700 °C – 850 °C arasında kaybederler. 1000 °C'de değişikliğe uğramazlar.

Montmorillonit, steorgilit ve lekeci killeri:

Bu sınıflandırmanın en büyük kusuru olarak belirli olmayan, içeriği şüpheli olan birçok maddeyi 5. grupta bir araya toplamış olması gösterilebilir.

Kil minerallerinin sınıflandırılması konusundaki ilerlemeler ancak kil minerallerinin yapılarının aydınlatılması ile mümkün olmuştur. Kil yapılarının incelenmesinde uygulanan X ışınları, elektron mikroskobu, kesin analiz metodu gibi yeni metotlar ve modern teknikler kullanılarak killerdeki yapıtaşları ayrılabilmiş ve önemli çalışmalar sonucu killeri için farklı sınıflamalar yapılabilmektedir.

Kil minerallerinin sınıflandırılmasında genel bir birliktelik mevcut olmamakla beraber birçok araştırmacı tarafından kabul edilen sınıflandırmalar bulunmaktadır. Bu sınıflandırmalar arasında Degens tarafından yapılan (Tablo 3.2.), Grim R.E. tarafından yapılan (Tablo 3.3.), R.L. Blakes tarafından önerilen (Tablo 3.4.) sayılabilir.

Tablo 3.2. Degens'e göre killerin sınıflandırılması

Tabaka	Grup	Cins
2 Tabakalı olanlar	Kaolinit Grubu a- Eş boyutlu olanlar b- Bir yönde uzamış olanlar	Kaolinit, Dikit Holloysit
3 Tabakalı olanlar	Smektit Grubu İllit Grubu Vermikülit Grubu	Montmorillonit Bediellit, İllit Vermikülit
4 Tabakalı olanlar	Klorit Grubu	Klorit
Zincir yapısı olanlar	Sepiyolit Grubu	Sepiyolit Atapulgit Paligorskit

Kil sınıflama tablosunda görüldüğü üzere kaolinit, bir kil minerali olup, 2 tabakalı ve eş boyutlu özelliğinden dolayı diğer kil minerallerinden ayrılmaktadır. Bu ayrılma kristal yapısından dolayı mineralojik sınıflamadır. Fiziksel özellikleri ve bulunduğu ortam koşulları sebebiyle kaolinleşme, orijinal ana kayacın alterasyon (bozunma) işleminin yerinde gerçekleşmesiyle oluşan cevherleşmedir. Yani bir kaolin yatağını bir kil yatağından ayıran en önemli fiziksel etken, cevherleşme ile orijinal kayacın aynı yerde olmasıdır. Kil yatakları ise taşınarak depolanmış yataklardır. Kaolin ya da kil yatağında ana mineral kaolinit olması halinde, kaolin olarak sınıflandırılabilir. Kil yatağında orijinal birincil mineralin başka mineral olması durumunda kaolinden ayrılarak halloysit, illitik kil, montmorillonitik kil vs gibi isimlerle orijinal kaynaktan itibaren ayrılmaktadır.

Tablo 3.3. Grim R.E' ye göre killerin sınıflandırılması [25].

1. AMORF OLANLAR
Allofan Grubu
2. KRİSTAL YAPIDA OLANLAR
A. İki Tabakalı Olanlar
Bu grupta olan kil mineralleri bir kat silika tetrahedirleri ve bir kat alumina oktahedirlerinden oluşmuştur
1. Eş boyutlu olanlar
Kaolinit Grubu (Kaolinit, dikit, hakrit)
2. Bir yönde uzamış olanlar
Halloysit Grubu
B. Üç Tabakalı Olanlar
Bu grupta olan kil mineralleri iki kat silika tetrahedirleri ve ortada bir kat dioktahedir ve trioktahedirden oluşmuştur
– Genişleyen kristal yapılı olanlar
a. Eş boyutlu montmorillonit grubu
Montmorillonit, savkonit, vermikülit
b. Bir yönde uzamış montmorillonit grubu
Nontronit, saponit, hektorit
– Genişlemeyen kristal yapılı olanlar
İllit grubu
C. Düzenli Karışık Tabakalı Olanlar
Klorit grubu
D. Zincir Yapılı Olanlar
Atapulgit, sepiolit, poligorskit

Tablo 3.4. R.L. Bates'e göre killerin sınıflandırılması

	BİLEŞİM	KÖKEN
A. KAOLİNİT GRUBU		
1- Kaolinit	$\text{Al}_2\text{SiO}_5(\text{OH})_4$	Ayrışma, hidrotermal ayrışma
2- Dikit	$\text{Al}_2\text{SiO}_5(\text{OH})_4$	Hidrotermal ayrışma
3- Nakrit	$\text{Al}_2\text{SiO}_5(\text{OH})_4$	Hidrotermal ayrışma
4- Anaksit	$\text{Al}_2\text{SiO}_5(\text{OH})_4$	Hidrotermal ayrışma
5- Halloysit	$\text{Al}_2\text{SiO}_5(\text{OH})_4$	Ayrışma
6- Endellit	$\text{Al}_2\text{SiO}_5(\text{OH})_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	Ayrışma

Tablo 3.4. (Devamı)

B. SMEKTİT GRUBU		
1- Montmorillonit	$Mg_2Al_10Si_{24}(OH)_{12}(Na,Ca)$	Hidrotermal ayrışma
2- Nontronit	$FeSi_{22}Al_{22}O_{60}(OH)_{12}(Na_2)$	Hidrotermal ayrışma
3- Saponit	$Mg_{18}Si_{22}Al_{22}O_{60}(OH)_{12}(Na_2)$	Hidrotermal ayrışma
BİLEŞİM		
4- Beidellit	$Al_{13}Si_{19}Al_5O_{60}(OH)_{12}(Na)$	Hidrotermal ayrışma
5- Hektorit	$Li_2(Al,Fe,Mg)(Si_2Al_2)O_5(OH)$	Ayrışma
C. İLLİT GRUBU		
1- İllit	$(Al_4Fe_4Mg_6)O_{20}(OH)4Ky(Si_8-yAl_y)$	Ayrışma(Hidromika Grubu)
D. KLORİT GRUBU		
1- Atapulgit	$Mg_5Si_8O_{20}(OH)24H_2O$	Ayrışma, kimyasal çökelim
2- Sepiyolit	$Mg_6Si_8O_{20}(OH)4.nH_2O$	Ayrışma, kimyasal çökelim
3- Allofan	$Al+SiO_2+H_2O$	Ayrışma

3.2.1. Allofan grubu kil mineralleri

Kimyasal bileşimi $XAl_2O_3 \cdot YSiO_2 \cdot 2H_2O$ ’dur. $SiO_2/Al_2O_3 = 0,5-1,8$ arasında değişmektedir. Bu oran ile ters orantılı olarak bünyesinde gipsit ($Al_2(OH)$) içeriği artar. Saf olduğu zaman saydam ve renksiz, yabancı madde karıştığında, mavi, yeşil, sarı ve kahverengidir. X-ışını incelemeleri allofanın bazen amorf, bazen kristalin yapıda olduğunu göstermiştir. Allofanın alkali ve toprak alkali içeriği de diğer killerden çok azdır. Yaygın olarak diğer kil mineralleri ile birlikte bulunduğu gibi diğer kil mineralleri de allofan ile birlikte bulunur.

3.2.2. Kaolinit grubu mineralleri

Kaolinit grubu kil minerallerinin teorik kimyasal formülü $Al_2Si_2O_7 \cdot 2H_2O$ ve teorik kimyasal bileşimi, SiO_2 %46,54 Al_2O_3 %39,50 H_2O %13,96’dır. Sertliği 22,5 özgül ağırlığı 2,61–2,68 gr/cm dür. Kaolinit içindeki bu suyun, kristal yapıdaki (OH) bağlarından geldiği saptanmıştır. Kaolinit grubu mineralleri saf oldukları zaman beyaz renkli olup, mat görünüşlüdürler.

Kaolinit, dikit ve nakrit grubun önemli üyelerini oluşturmaktadır. Dikit ve nakritin kimyasal bileşimi kaolinit ile aynıdır. Bu yüzden bu mineraller monoklinal, kaolinit triklinal sistemde kristallenmektedir.

Kaolinit grubu mineraller elektron mikroskopta uzun çıkıntılar ve sık sık altı kenarlı yapraklar şeklinde görüldüğü ve yaprakların maksimum yatay uzunluğu (a,b eksenleri

yönünde) 0,3–4 mikron ve kalınlıklarının (c eksenı yönünde) 0,05–2 mikron olduğu kaydedilmektedir. Bu yüzden polarizon mikroskopta incelenmesi güçtür. İyi kristalli kaolinit ile nakrit, dıkit, serisit ve montmorillonit mikroskopta birbirinden ayrılabilir. Kaolinitin sönme açısı 13,5 dıkit optik pozitif ve sönme açısı 14° - 20° ; nakrit optik negatif ve sönme açısı büyüktür. Montmorillonit ve serisitın kırma indisleri kaolinit grubundan büyüktür. Klivajı ise (001) mükemmeldir.

Kaolinit grubu minerallerde, ünite tabakalarının a ve b eksenleri istikametinde devamlı ve c eksenı istikametinde de ünitelerin üst üste istiflendiği tespit edilmiştir ve her bir ünitenin kalınlığı 7 angstromdur.

Kristalde komşu üniteler, tetraeder tabakasının oksijen ve oktaeder tabakanın hidroksil yüzeyi üzerine gelmekle birlikte, üniteler hidrojen bağlar ile oldukça sıkı bağlanmıştır, bu kaolinitin aynı zamanda klivaj planıdır. Bu yüzden kaolinit grubu minerallerin klivajı diğer bazı kil mineralleri kadar kolay değildir. Kaolinit grubu mineralleri onların oksijen yüzeylerindeki bağlar hidrojen bağ değildir ve kaolinit bu yüzden suda onlar kadar küçük parçalar şeklinde dağılmaz.

Literatürde iyi kristalli kaolinitten başka zayıf kristalli kaolinitin mevcudiyeti de kaydedilmektedir. Murray and Lyons 1956'da X-ışınları incelemelerinde, Brindly ve Rabinson 1946, Range 1969'da çeşitli yerlerde kaolinitin dizilimindeki benzer değişimleri bulmuşlardır [31] [32] [33]. Kaolinitin en düzenli oluşumları çoğunlukla hegzogonal ya da yarı hegzogonal kristalli oluşumlardır. Zayıf kristalli kaolinitler iyi kristalli kaolinitlerden daha küçük tane hacminde olduğu ve alüminyum yerine az miktarda titan ve demirin aldığı ileri sürölmüştür. İyi kristalli kaolinit ile zayıf kristalli kaolinit karışımları "flint" killeri olarak da adlandırılmıştır. İngiltere'nin ateş killeri (fire clays) böyle zayıf kristalli killerdir. Alüminyum yerini demirin alması ile zayıf kristalli kaolinitlerde, chamosit ve kaolinit arasında geniş bir karışım dizisi meydana gelmektedir.

Silisçe zengin ve $\text{SiO}_2 / \text{Al}_2\text{O}_3$ oranı bir hayli yüksek olan kaolinit mineralleri "Anauxit" olarak adlandırılmıştır. Bu tip materyalin kaolinit ve kuvars karışımı olduğu saptanmıştır.

Anauxit'in kaolinit yapısında olduğunu, fakat çift silis tetraeder tabakası içerdiğine inanılmaktadır. Çift silis tabakasının boyutlarının ve özelliklerinin kaolinitin aynı olduğu ve bu yüzden X-ışınları incelemelerinde ve optik incelemelerde farklılık meydana gelmediği kabul edilmektedir. Kimyasal analizler, anauxitin silis içeriğinin ve $\text{SiO}_2 / \text{Al}_2\text{O}_3$ oranının değiştiğini göstermiştir. Fransa'da $\text{SiO}_2 / \text{Al}_2\text{O}_3 = 2,7$ olan böyle bir mineral tanımlanmıştır.

3.2.3. Halloysit mineralleri

$\text{Si}_4\text{Al}_4\text{O}_{10}(\text{OH})_8$ ve $\text{Si}_4\text{Al}_4\text{O}_{10}(\text{OH})_8 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ gibi iki bileşimde bulunmaktadır. Az sulu şekli kaolinitin bileşim ve mineral yapısına benzer. Sulu halloysit ise kaolinit minerallerinden farklı olarak, birim hücreleri c eksenine yönünde uzar, dilinimlerin a ve b eksenleri yönünde olduğuna inanılmaktadır.

Halloysitin sulu şekline sulu halloysit veya endellit gibi isimler verilmiştir. Birinci formülde görülen az sulu şekline de metahalloysit denmektedir. Halloysit beyaz, yeşilimsi ve açık mavimsi renklidir, mavimsi yeşilimsi renkli taze numuneleri zamanla toz haline gelerek beyazlaşmaktadır. Sulu halloysit nispeten düşük sıcaklıkta (65°C - 75°C) tekrar eski haline gelmeyecek şekilde suyunu kaybeder metahalloysite dönüşür. Halloysitin tamamen suyunu kaybetmesi için 400°C ye kadar ısıtılması gerekmektedir. Isıtılmış halloysitlerin ağırlık kaybı yaklaşık %25'dir. Tekrar su alma özelliğini kaybetmemiş metahalloysite, tekrar su alarak hacimce bir gelişme görülür. Halloysitin tabii olarak nispeten düşük su içerdiğine ve sulu formun sonradan su alarak meydana geldiğine inanılmaktadır.

X-ışını incelemelerinde sulu halde halloysitin tabaka aralığının 11 angstrom ve dehydrate halloysitin tabaka aralığının 7,2 angstrom olduğu tespit edilmiştir. Aradaki 2,9 angstromluk fark ara su tabakasının kalınlığı olarak düşünülmektedir.

alloysit kristalleri elektron mikroskopta lif ve çubuk şeklinde izlenir. Bu lif ve çubukların aspest liflerinden farklı olarak içi boş tüflerden meydana geldiği saptanmıştır.

3.2.4. Smektit grubu mineralleri

Önceden mantmorillonit grubu olarak adlandırılan smektit grubunun mineralleri çok küçük kristal taneciklerinden meydana gelir. Bu yüzden bu minerallerin kristal yapıları, X-ışınları ve elektron mikroskop incelemelerinden sonra belirlenebilmiştir.

Silika-alümina-silika tabakalarından meydana gelen birimler arası bağların çok zayıf olması sebebi ile grubun mineralleri mükemmel klivaja sahiptir. Yoğunluk 2-3 gr/cm³, sertlikleri ise 1-2 dir.

Smektitlerin göze çarpan yapısal özelliği, ünite tabakaları arasına su ve organik maddeler gibi polar moleküller alabilmesidir. Bunlar kristal hücrelerinin c eksenini istikametinde genişlemesine sebep olur. Üniteler arasındaki polar moleküller tabakası, holloysitten farklıdır.

Dehidrate montmorillonitin c eksenini uzunluğu silikat tabakaları arasındaki değişebilir katyonların büyüklüğüne bağlıdır. Normal şartlarda, Na gibi değişebilir katyon ile bir molekül kalınlığındaki su tabakası olan montmorillonitin c eksenini uzunluğu 12,5 angstrom, Ca⁺⁺ katyonu ve iki molekül su tabakası kalınlığında ise c eksenini 15,5 angstromdur. Tabakalar arası polar moleküllerinin hepsinin tabakayı terk etmesiyle tamamen çöken montmorillonit yapısına, tekrar genişleyebilme özelliği kazandırmak zor ve imkansızdır.

Yapıda meydana gelen bazı yer değiştirmeler göz önüne alınmaksızın teorik formülü $\text{Si}_8\text{Al}_4\text{O}_{20}(\text{OH})_4\text{nH}_2\text{O}$ (tabaka arası su) ve tabaka arasında yer alan su diğer polar moleküller dikkate alınmaksızın teorik bileşimi %66,7 SiO₂, %28,3 Al₂O₃ ve %5 H₂O'dur. Smektit grubu minerallerin bileşimi yapı ağındaki temel unsurlarda meydana gelen bazı yer almalar sebebi ile teorik bileşiminden farklıdır. Oktaeder tabakadaki bütün

alüminyum yerini magnezyum aldığında, bu mineral "saponit" olarak adlandırılmıştır. Eğer alüminyum yerini tamamen demir almışsa ise mineral "nontronit", şayet çinko almış ise mineral saukonit olarak adlandırılır. "Hektorit" mineralinde ise alüminyum yoktur ve magnezyum yerine lityumun almasından meydana gelir. Montmorillonitteki alüminyum diğer atomlarla yer değiştirebilir ve yeni türler oluşur.

Montmorillonit, Saukonit yaprak şeklinde eş boyutlu çok ince ünitelerden meydana gelir. Nontronit, Saponit, Hektorit iğne şeklinde uzun mineraldir.

3.2.5. İllit mineralleri

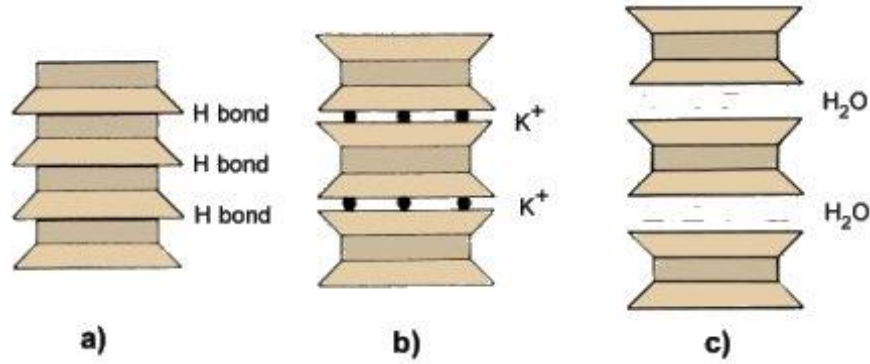
İllit minerallerinin yapı özellikleri genellikle mika minerallerinin yapılarına benzer. Bu yapı iki silis tetraeder tabakası arasında yer alan bir alümina oktaeder tabakasından ibarettir. Mikalarda, ünite tabakalarının a ve b eksenleri yönünde büyümeleri sınırlı değildir ve büyüme birkaç mm' den birkaç cm' ye kadar olabilir. Ünitelerin c ekseni istikametinde kalınlığı 10 angstromdür.

Birim ünitenin tetraederlerin silis alüminyum ile oktaederdeki alüminyum demir ve magnezyum ile yer değiştirir ve kristal hücresinde birim ünite sayıları ve düzenlenmeleri değişerek, değişik mika mineralleri meydana gelir.

Mika minerallerinde, oktaeder ve tetraeder tabakalarda Si^{+4} ve Al^{+3} yerine daha küçük değerlikli atomların almasından meydana gelen şarj eksikliği K^{+} iyonları tarafından dengelenir. Potasyum bağları kuvvetli olduğundan mikalarda, ünite tabakaları arasında herhangi polar moleküller giremez ve bu sebeple, bu minerallerde bir hacim büyümesi meydana gelmez. Ayrıca illit mineralindeki K^{+} iyonu diğer katyonlar ile Ca^{++} , Mg^{++} , H^{+} , ve $(H_3O)^{+}$ ile yer değiştirir. Bu sebeple K_2O içeriği %8–10 arasında olup iyi kristalli mikalardan azdır.

İllitin teorik formülü, $K_{1-1,5} Al_4 (Si_{7-6,5} Al_{1-1,5}) O_{20}(OH)_4$, illit kristallerinin tane boyutu 0,1–0,3 mikron kadardır ve bazı iri kristaller dışında normal polarizasyon mikroskopta görülmez, smektite göre şişmez ve K ihtiva eder. Yoğunluğu 2,6–2,9 gr/cm³ olup,

sertliği 1–2 arasında değişmektedir. Rengi beyaz ve pembemsidir. Elektron mikroskobunda ise, illit kristalleri çok küçük ve kaolinite göre daha az gelişmiş olup, ufak yassı levhacıklar veya düzensiz topluluklar halinde görünür.



Şekil 3.3. Kaolini (a), İllit (b) ve Montmorillonit (c) minerallerinin yapısı [34].

Potasyum mikadan az, su ise mikadan fazladır. Bu nedenle bunlara "Hidromika" da denmektedir.

3.2.6. Vermikülit mineralleri

Vermikülit'in yapısı trioktaedral mika veya talk'a benzer. Kristal ünitesi, iki silis tetraeder tabakası ve aralarındaki oktaeder tabakasından meydana gelir. Teorik formülü, $Mg_6Si_8O_{20}(OH)_4$, olan talk'tan farklı tetraeder tabakadaki silisin bir kısmı Al^{+3} ile yer değiştirmesidir. Vermikülitin katyon değiştirme kapasitesi smektitinki kadardır ve bazen daha büyüktür. Vermikülit in tabi olarak bulunan Mg^{++} ve Ca^{++} gibi değişebilir katyonları Na, K, Rb, Cs, Ba, Li, H^+ ve NH_4^+ katyonlarla değiştirilebilir. Vermikülit, smektitten daha az organik madde absorbe eder.

Vermikülit ile kloritin gözle görünür iri mineralleri birbirine benzer. Mikroskopta polarizasyon renkleri ile ayrılabilirler. 110 °C kadar ısıtılmış kloritin X-ışını difraksiyonu 14 angstrom, vermükülitin 11,6 angstromdur. Ancak bu tip vermikülitin çok çabuk su aldığı göz önünde tutulmalıdır. Ayrıca kloritin iyon değiştirme özelliği yoktur. Yeşil, sarı ve kahverengi olan vermikülit mineralinin yoğunluğu $2,5 \text{ gr/cm}^3$ sertliği ise 1,5' dir.

3.2.7. Klorit mineralleri

Klorit mineralleri talk, serpantin, siyah mika ve Mg-Fe'li kil mineralleri arasında bir bileşime sahip olup, bu mineraller ile birlikte bulunur.

Klorit grubu minerallerin yapısı, mika ve brusit tabakalarına benzer tabakaların ardalanmasından meydana gelir. Mikaya benzer tabakalar trioktahedraldir ve genel bileşimi $(OH)_4(SiAl)_8(MgFe)_6O_{20}$, Brusit'e benzer tabakaların genel bileşimi $(OH)_{12}(Mg, Al)_6$ 'dır.

Klorit ünitelerin c eksenini yönünde kalınlıkları 14 angstrom olarak tespit edilmiştir, c eksenini yönünde birbiri üstüne istiflenen tabakalar arasında herhangi bir değişebilir kation veya polar molekül bulunmaz. Bu tabakalar arası zayıf mekanik bağlar bulunduğu kabul edilir. Kaolinit minerallerin de ünite tabakaları arasında ki bağlar da mekanik bağdır.

Klorit minerallerinin klivajı mükemmel olup, yoğunlukları 2,6–3,3 gr/cm³, sertlikleri 2- 3'dür. Renkleri ise yeşil, sarı, beyaz, kırmızı, pembe, kahverengi ve renksizdir.

3.2.8. Sepiolit-paligorskit-attapulgit mineralleri

Elektron mikroskopta lifli yapı gösteren kil mineralleridir. Bu minerallerde ortadaki alüminyum veya magnezyum oktaederleri ile kenarlardaki silis tetraederlerin koordinasyonundan meydana gelir. Bu minerallerin yapı elemanları, amfibollerde olduğu gibi c eksenine paralel olarak çift sıra halinde dizilerek uzun zincirler meydana getirir. Silikat zincirlerindeki zayıf oksijen bağları sebebi ile (110) yüze yine paralel iyi klivaja sahiptir. İdeal bileşim formülü $(OH)_2(OH)_2Mg_5Si_8O_{20}$ dir. Silikat zincirinin boşluklarındaki 4 molekül su düşük sıcaklıkta yapıyı terkeder. Kuru numuneler suya atıldıklarında terkedilmiş suyu tekrar bünyelerine alır.

X-ışınları difraksiyon analizlerine göre bunlar monoklinal hücre yapısına sahiptir. Bu minerallerin dış görünüşleri kağıt veya karton gibidir. Yoğunlukları 2,27–2,32 gr/cm³ olarak hesaplanmıştır.

Paligorskit numunelerinin muhtelif analizleri bunların %6,82-15,44 Al₂O₃, %0,87- 3,8 demir içerdiğini gösterir. Paligorskit genel olarak smektit grubu mineraller ile birlikte bulunur. Sepiolit minerali diğer minerallerden ufak farklılıklarla ayrıldığı ileri sürülmektedir. Sepiolitin teorik bileşim formülü Si₁₂Mg₉O₃₀(OH₂)₄₆H₂O dur. Ortorombik hücre yapısında olduğu kabul edilmektedir. Mineral herhangi bir iyon değişme özelliği yoktur. Kuru numuneleri suya atıldığında çok miktarda su emer. Genellikle beyaz renkli olan sepiolit yaş iken çok yumuşaktır kuruyunca bir hayli sertleşir.

Hesaplanan kuru yoğunluğu 2,0–0,2 gr/cm³ 'tür.

3.2.9. Karışık (karma) tabakalı (mixed-layer) kil mineralleri

Karışık tabakalı yapıya sahip killerin incelenmesi ve tayini zordur. Ancak X-ışını incelemeleri böyle yapıların tayinine imkân vermiştir.

Birçok killi maddeler, birden çok kil minerallerinin karışımından meydana gelir. Bu gibi karışımlarda kil mineralinin tane boyu ve geometrik şeklinde bir değişme yoktur. Karışık tabakalı kil mineralleri, tabaka yapılu ünitelerin her bir tabakası farklı kil minerallerinden meydana gelir. Bu tip ünitelerde birkaç silis tetraeder ve oktaeder tabakasının bulunması sebebiyle bu ünitelerin kalınlıkları diğer killerden çok büyüktür.

Karma yapıların farklı iki tipi vardır: (1) Farklı tabakalar c ekseninde boyunca düzenli bir şekilde istiflenmiştir. Örneğin klorit, mika ve brisit tabakalarının düzenli ardalanmasından meydana gelen düzenli karma tabakalı mineraldir. Böyle yapılar, bileşimi meydana getiren tabakalara benzemeyen ayrı özelliğe sahiptir ve bunlar ayrı cins olarak tarif edilir. (2) Düzensiz karma tabakalı yapılar, bunlar genellikle illit,

montmorillonit, klorit ve vermikülitin karma tabakalarıdır. Böylece meydana gelen kil mineralleri belki illitin ve kaolinitin karışımı olarak tayin edilebilir.

Kararsız özellikte olan bu tabakaların sonradan tesadüfen karışmasından meydana gelen bu minerallere özel bir isim verilemez ve tabakaların karışımı olarak isimlendirilir.

3.3. Kil ve Özellikleri

Kil, bünyesine su aldığı zaman kolayca şekiller alabilen, geçirimsiz, yumuşak, yağlı bir mineraldir. Kil mineralleri tabaka yapılı su içerikli alüminosilikatlarıdır. Kil tabakalarının plaka şeklinde olması ve bu plakalarının birbiri boyunca su sayesinde kayma özelliğinden dolayı killeri plastiklik özellik taşır. Yeryüzünde ve yer kabuğunun az veya daha derin yerlerinde tabakalar halinde ve mineral yataklarında dağılmış kütleler halinde bulunur. Keza göl ve okyanus dibinde, çöllerin altında ve nehir deltalarında rastlanır.

Kil, çok ince taneli bir kayadır. Kilin esas maddesi alüminyum silikat olup türüne göre Mg ve Fe gibi diğer elementleri de içerirler. İnce taneler 2–5 μ olduğundan gözle veya normal mikroskopla ayırt edilmeleri hemen hemen mümkün değildir. Genellikle belirli şartlar altında feldspatların ayrışması, volkanik kütlelerin oldukları yerde bozulması veya yıkanması ile minerallerin değişmesi sonucu meydana geldikleri bilinmektedir [30].

Killerin ergime noktası 1150 °C – 1785 °C aralığındadır. Özgül ağırlıkları ise; kaolen 2,6–2,68 gr/cm³, halloysit 2,0–2,2 gr/cm³, illit 2,76–3 gr/cm³ şeklindedir.

3.4. Kil Yataklarının Oluşumu

Kil yatakları, kaolinlerin killi şist, grovak ve feldspatça zengin kayaların alterasyon örtüsünün aşınma ve taşınması sonucu tatlı su havzalarında çökmesinden oluşur. Kaolin ve kil teşekkülü tektonik ve epirojenetik hareketlerin yavaşladığı, iklimin

yağışlı ve sıcak olduğu devirlerde yaygındır. Aşınma ve taşınma sürati kaolinleşmeyi hazırlayan kimyasal olayların sona ermesine imkan vermezse, oluşan kil ve kaolin yataklarının kalitesi (tane inceliği, plastisite, ateşe dayanıklılık ve homojenite yönünden) düşük olur.

Kil yatakları genellikle ters yerleşimlidir. Jeolojik yaş ile beraber diyajenez etkisi arttığından killer, refrakter killer, boksitler ve şifertona dönüşerek plastisite özelliğini geniş ölçüde kaybederler. İnce seramik killeri ve bağlayıcı killer genellikle neojen, refrakter killer eosen, boksitler ve şifertonlar karbonifer yaşlıdır [35].

Denizel oluşumlu kil yatakları hem killi şistlere dönüşmüş olduklarından hem de ateşe dayanıklılığı azaltan unsurları içerdiklerinden ticari değere sahip değildir. Ancak tektonik olaylar sonucu su yüzüne çıkarak tekrar alterasyon sonucu neojen killerine dönüşebildiklerinde ekonomik değer kazanırlar [36] [35].

Kil minerallerinin oluşabileceği bir ortamın bulunması, kil minerallerinin oluşumunda çok önemli bir etkidir. Şayet ayrışan ve aşınan malzeme bir yerde birikmiyorsa kil yataklarının olması da söz konusu olamaz. Yine, ekonomik bir kil yatağının oluşması için, alçak basınç, durgun bir ortam ve bu durgun ortamın asidik olması gerekir. Kil yataklarının oluşumu sırasında ortam alkali olursa, kil minerallerinden sadece montmorillonit meydana gelir. Ortamda potasyum hakim olacak olursa potasyumca zengin mikalı (muskovit, serisit vb.) kil mineralleri oluşur [36].

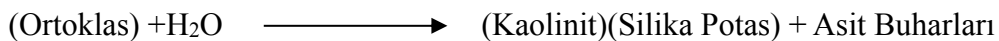
Yüksek kaliteli kil yataklarının oluşumunda humus asitli suların büyük rol oynadıkları linyit-kil ve taşkömürü-şiferton parajenezinden anlaşılmaktadır. Bu asitlerin hem feldspat artıklarını kaolinleştirmesi hem de killerin refrakter özelliğini bozan unsurları eritmesi ve renkli oksitleri uzaklaştırması, killerin kalitesini yükseltmektedir [35].

Killer jeolojik olarak ince ve çok ince tane irilikli primer ve sekonder orijinli muhtelif minerallerden meydana gelir. Killer tabi halde pek çok farklı mineral ihtiva etmekte olup bunlar saf killeri teşkil etmemektedir. Bununla birlikte, tüm killerde mineraller veya mineral sınıfları mevcut olup bunlara kil mineralleri denir.

Killer muhtelif formlarda bulunabilir. Bazıları yumuşak çamur olarak, bazıları yumuşak katı madde olarak ve bazıları da tabakalı taşlar halinde bulunur. Bazı killer yüzeyden çok derinlerde kalın yataklar halinde veya dar şeritler halinde bulunur (refrakter killeri). Diğer killer yüzeye yakın bulunurlar ve bunlar su ile taşınarak birikmiş killerdir.

Tüm kil rezervlerini kumlu formasyonlardan ayırt etmek için “Argilaceous” ve kil olarak oluşum taşlarından da ayırt etmek için “Clastik” olarak sınıflandırılır. Magma’nın yeryüzüne çıkması ile oluşan olaylara volkanizma ve oluşan kayalara da volkanik / yüzey veya ekstruzif kayalar denir. Yeryüzünde ilk teşekkül eden kayalar, volkanik masselerden teşekkül etmiş olup granite, diyorite benzemektedir. Primer kaya oluşumları diye adlandırılan bu kayalar feldspat, mika ve kuvarz ile diğer muhtelif mineralleri ihtiva etmektedir. Jeolojik zamanla bu kayalar hava, su ve diğer tabiat şartlarının etkisi altında değişime uğramıştır. Sert kristalli mineraller tamamıyla ince taneli “sekonder” minerallere dönüşmüştür [35] [37].

1. Hypogenik Değişimler: Yeryüzü altındaki minerallerde ısı veya kimyasal reaktiflerin etkisi altında oluşan değişikliklerdir. Granitin kaolin haline, feldspatın yüksek sıcaklık ve basınç altında kaolinite hidroliz reaksiyon ile dönüşümü gibi;



2. Epigenik Değişimler: Bunlar yüzeyde oluşan reaksiyonlardır. 4 tip oluşum söz konusudur.

- Bünyede bulunan hava, su buharı ve diğer maddelerin etkisi
- Yağmur, akarsular, dolu göller veya deniz şeklindeki suyun etkisi
- Buzullarda olduğu gibi kar ve buzun etkisi
- Bitkiler ve hayvanların büyümeleri ve ölmeleri halindeki etkileri

Ana kayanın mekaniksel ve kimyasal parçalanmasını kapsayan aşınma reaksiyonları 2 tiptir. Kaya içindeki suyun donması ve kayayı parçalaması buna örnektir. Kimyasal parçalanma daha ziyade kayanın yüzey alanının artmasıdır. Dış etkiler altında ana kaya ayrışma uğrar ve gayet ince primer ve sekonder mineralleri oluşur. Mezkûr minerallerin bir kısmı kalır ki bunlara “kalıcı kil” denir. Bazılarında başka yerlere taşınır ki bunlara “biriken kil” denir [35].

Kalıcı killer genellikle hypogenik şartlar altında oluşurlar. Genellikle içlerinde iri taneli primer mineraller bulunur ve bazı durumlarda çok derinlere kadar değişime uğramışlardır.

Birikmiş killer en fazla bulunan kil tipi olup karakterleri taşınma ve birikme şekline göre değişir. Bu sınıfa giren kil tipleri şunlardır [35].

- Fluvial: Bunlar bir nehrin akış vadisi boyunca çökelen killerdir.
- Glacial: Bunlar büyük buzul (glacie) ile taşınmış killerdir.
- Estuarine veya delta: Bunlar bir nehrin ağzında oluşmuşlardır.
- Lacustrine: Bunlar taze su göllerinde biriken killerdir.
- Marin: Denizde veya okyanusta çökelen killerdir.
- Aeolian: Hava ile taşınan killerdir.

3.5. Killerin Kimyasal ve Mineralojik İçeriği

Killer nadiren saf bulunur. Bazı killerde tek mineral hakim olmasına rağmen beraberindeki yabancı maddeler materyalin özelliklerini oldukça etkiler. Kil serbest durumda şunları içerir:

- Primer orijinli mineraller
- Primer minerallerin kimyasal ve fiziki işlemlerinin neticesinde parçalanmasından meydana gelen sekonder mineraller

Kil içinde bulunan yabancı maddelerin etkisi ise şunlara bağlıdır:

- Kil kullanıldığında gösterdiği özellik
- Oluştukları oranlar
- Kil tanelerinin ve yabancı maddelerin ebadı ve şekli
- Reaksiyonların olduğu şartlar

Kilde bulunan esas unsurlar ise şunlardır:

- Silika
- Alümina
- Alkali ihtiva eden mineraller
- Demir bileşikleri
- Kalsiyum bileşikleri
- Baryum bileşikleri
- Magnezyum bileşikleri
- Titan bileşikleri
- Bazı killerde az oranda bulunan mangan ve diğer bileşikleri
- Diğer elementleri de içeren kompleks alümina-silikatlar
- Karbonlu maddeler
- Nem ve kolloid suyu
- Değişken bazlar

Silika minerallerin killere etkisi şunlardır:

- Plastisiteyi azaltır
- Kuruma ve pışme çekmesini azaltır
- Kopma ve kırılma mukavemetini azaltır
- Birçok durumda refrakterliği azaltır

Alümina, killerde; feldspat, mika, hornblend, turmalin ve diğer alüminasilikatları halinde bulunur. Alüminanın killere etkisi şunlardır:

- Kilin plastisitesini azaltır
- Alümina yüzdesi %5'den büyük olduğunda kilin refrakterliğini artırır

Killerde bulunan başlıca alkaliler ise şunlardır:

- Feldspat, mika veya sulu mika gibi silikatlar veya alümina-silikatlar
- Kil mineral kristallerinin yüzeyinde bulunan adsorbe katyonlar
- Potasyum sülfat, sodyum sülfat ve sodyum klorür gibi çözünür tuzlar

Alkaliler killerin refrakterliğini veya vitrifikasyon sıcaklığını azaltır.

Killerde bulunan başlıca demir bileşikleri; demir (3) oksit (Fe_2O_3), demir (2) oksit (FeO), manyetik demir oksit (Fe_3O_4), demir sülfürleri (FeS ve FeS_2), demir karbonatları (FeCO_3), demir (2) ve (3) hidroksitleri, demir silikatlar ve demir alüminasilikatlar, demir (2) alüminat ve çözünür demir tuzlarıdır. Killerdeki demir bileşiklerinin başlıca etkileri şunlardır:

- Pişme rengine etki ederler
- Kilin refrakterliğini azaltırlar
- Çözünen demir bileşikleri ürün üzerinde köpürme yaparlar
- Pişmiş kil üzerinde görülebilen demir lekeler oluştururlar

Killerde bulunan başlıca kalsiyum bileşikleri; kalsit (CaCO_3), aragonit (CaCO_3) ve kalsiyum silikatları ve alümina-silikatlarıdır. Kalsiyum bileşiklerinin killere üzerindeki başlıca etkileri şunlardır:

- Eritici flaks gibi hareket eder
- Büyük aşındırıcı gücü olan bir hareketli sıvı olurlar
- Düşük ısıda kalsiyum bileşikleri kilin çekmesini azaltır, kurumayı hızlandırır
- Kalsiyum bileşikleri demir mineralleri ile birleşerek kırmızı rengi ağartabilirler
- Kalsiyum karbonat $900\text{ }^\circ\text{C}$ 'ye ısıtıldığında kirece dönüşür, eğer soğumada birleşemezse havadan nem absorbe eder ve gövdeyi çatlatır

- Kalsiyum sülfat piştiğinde dengelidir
- Bazı kil tuğlalarında kalsiyum bileşikleri az miktarda vitrifikasyon kapsamını artırır
- Porselen çamurlarında ve sırlarında bir eritici etken olarak kalsiyum bileşikleri genleşmeyi azaltır, fakat alkalilerle yer değiştirdiğinde ergime sıcaklığını artırır
- Kalsiyum silikatlar ve bazı dengeli kalsiyum bileşikleri nispeten küçük sıcaklıklarda erir ve kirece benzer şekilde flaks gibi işlem görür

Baryum bileşiği olarak baryum sülfat (BaSO_4), stronsiyum minerali olarak stronsiyum sülfat (SrSO_4) ve magnezyum bileşiği olarak magnezit (MgCO_3), dolomit $\text{MgCa}(\text{CO}_3)_2$, spinel ve kordierit bulunmaktadır.

Titan mineralleri rutil(TiO_2) ve anatas bulunmaktadır. Krom minerali olarak kromit, kalay minerali olarak kasiterit, mangan minerali, vanadyum minerali, sülfür bileşiği olarak pirit, fosfat minerali olarak apatit ve diğer kompleks alümina-silikatları bulunur.

Killerde bulunan en önemli üç primer mineral kuvarz, feldspat ve mikadır. Ayrıca mika, olivin, piroksen ve diğer kompleks mineraller bulunabilir. Killerde bulunan sekonder mineraller ise kaolin, montmorillonit, klorit, vermikülit ve hidrous mikadır [24] [35] [17] [38].

3.6. Kil Yataklarının Aranması ve Değerlendirilmesi

Türkiye’de kil yataklarının aranması için uygun olan bölgeler ve formasyonlar şu gruplarda toplanabilir:

- Feldspatça zengin magmatik kayaların yaygın olarak bulunduğu neojen havzaları
- Volcano-tortul üst kretase havzaları
- Volkanik neojen havzaları

- Temelinde ve kenarlarında paleozoik killi şistler ve grovaklar olan tersiyer havzaları
- Linyit oluşumu yaygın olan sedimantasyon havzaları

Fakat İnce seramik killeri, refrakter killer ve silika boksitler aynı havzada bulunabilirler ve o şekilde aranmalıdırlar. Ateşe dayanıklı killerin daha çok linyit seviyelerinin altında ve paleozoik kayaçlar içinde çökmüş neojen havzalarında bulunduğu unutulmamalıdır.

Bulunmuş bir kil yatağının jeolojik etüdü sırasında şu hususlara dikkat edilmelidir:

Birbirine yakın sahalarda çökelen killer çeşitli kalite farklılığı gösterebilirler. Sedimantasyon şarlarındaki en ufak değişmelere killer kadar büyük kalite değişikliği ile karşılık veren maden ve hammadde yatakları azdır. Kil yataklarında fasiyes değişim sıraları 20–30 m'ye kadar düşmektedir.

1. Killerde sık sık görülen yatak değiştirme, genellikle kaliteyi yükselten bir özelliktir. Bu da ya akarsu vadilerinde gravitatif veya kil sahalarında akıntı mekaniğine göre oluşur. Ana kayacın havzadan uzak bulunması, kaliteyi yükselten bir sebep olarak değerlendirilebilir. Yavaş sedimantasyon kaliteyi yükseltir, tersi düşürür. Primer kaolinler yatak değiştirme sonucu hem kuvars, feldspat ve mikadan ayrılarak daha homojen hem de tane inceliği azalarak daha plastik hale gelirler ve ince seramikte kullanılan beyaz pişen kaolenitik killeri oluştururlar.
2. Killerin içinde değişen miktarlarda mika, feldspat, kuvars, zirkon, turmalin, apatit, gröna ve rutil gibi mineraller bulunur.
3. Killerin detay etüdüne, havzaya materyal yollayan kayaçların jeolojik haritası ile başlanmalıdır. Çevredeki kalkerler, killerdeki karbonat miktarını, bazik ve ultrabazik kayaçlar demiroksit miktarını ve metamorfik kayaçlarda mika miktarını arttırırlar.

4. Kil yatakları genellikle kalite yönünden büyük farklar gösteren bir kenar ve bir de havza fasiyesine ayrılırlar. Kil sedimantasyonu çoğu zaman düşük kaliteli killerle başlar ve yine düşük kaliteli kumlu ve lekeli killerle sona erer.
5. Killerin çoğu yüzdesi amorfudur. Koloidal unsurlar ve tane inceliği killerin görünüşüne etki eden faktörlerdir. Killerin rengine göre kalitesi hakkında karar verirken en ince fraksiyonun ve koloidal unsurların miktarı göz önünde tutulmalıdır. Bazen çok plastik koyu gri ve kahverengi killerin, açık renkli az plastik killerden daha az eritken ve renk unsuru ihtiva ettiği ve beyaz yandığı görülmektedir.
6. Kil sahalarında yapılan sondajlardan alınan karot numunelerinin özellikleri hemen kaydedilmelidir; çünkü bunlar numune sandıklarında birkaç hafta bekletilirse kuruyup özelliğini yitirebilirler.
7. Kil sahalarında taban morfolojisinin veya sedimantasyon alanının değişmesi genellikle zemindeki kayaçların tektonik yapısına uygun olarak vuku bulmakta ve kaliteyi önemli ölçüde etkilemektedir. Bu durumda Al_2O_3 ve Fe_2O_3 dağılımının havza kenarı ve ortası ile olan düzenli ilgileri ortadan kalkabilir. Eşiklerde ve çöküntülerde aynı zamanda farklı killer çökebilir. Bu hareketler sonucunda akıntı mekaniğinin, oksidasyon ve redüksiyon potansiyelinin değişmesi sonucu saha kenarına paralel giden Fe_2O_3 bozular, bütün sahayı örten killer oluşabilir [35].

3.7. Kil Yataklarının İşletilmesi

Kil yatakları genellikle açık işletme yöntemiyle çalıştırılır. Yer altı işletmeciliği nadir olup daha çok şiferton yataklarında görülür. Killerin çıkarılması genellikle eski yöntemlerle yapılır ve patlayıcı madde kullanılmaz. Fakat tamamen makineleşmiş ocaklarda mevcuttur.

Kil yataklarının detay jeolojik etüdü sırasında gerek açık gerekse kapalı işletmecilik yönünden göz önünde tutulması gereken hususlar şunlardır:

- 1- Açık kil ocaklarında üretim kaybına yol açan en önemli özelliklerden bir tanesi yağmurlu mevsimlerde dekapajın kil üzerinde kayması ve havza içerisinde akan sel sularının üstü açılmış beyaz kaolenitik killeri kirletmesidir. Bunu önlemek için havza yataklarında gerekli drenaj yapılmalıdır.
- 2- Dekapaj örtüsü altında gizli, kil seviyelerini temele kadar eroze etmiş, kum ve çakıl ile dolu fosil vadiler bulunabilir. Su ile dolu gevşek yüzeyli olan bu vadi dolguları rezervleri azaltmak ve işletme sırasında çeşitli problemler yaratmak bakımından son derece zararlıdır. Arama ve rezerv sondajları sırasında bu fosil vadilerin tanınmasına çalışılmalıdır.
- 3- Plastik killerde pritleşmiş ağaç parçaları, kumlu killerde ise büyük ve yuvarlak kuvarsit konkresyonları hem üretimi güçleştirmekte ve hem de seramik fabrikalarında arızalara sebep olabilmektedir. Bunlar yaygın ise en kaliteli kil seviyeleri bile gerektiğinde dekapaja dahil edilmelidir.
- 4- Açılan kuyu ve galerilerde ilk defa havayla temasa geçen killerde önemli ölçüde hacim değişimleri olmaktadır. Kömür ocaklarında taban killerin kuruma küçülmesi yüzünden, döşenen su ve hava boruları ile rayların kısa zamanda deforme oldukları görülmektedir. Büyük ocaklarda çeşitli özel yöntemlerle killerin hacim değişimleri önlenmektedir.
- 5- Kil tabakaları diğer kayalarla oranla daha çabuk ve fazla su emerler. Ancak kendileri su ile doyduktan sonra geçirimsiz olurlar. Yağmurlu mevsimlerde bu duruma gelmiş kil havzalarında çalışmak çok zordur. Kilin plastisitesi arttıkça hareket imkanı azalacağından, gerek araçların gerekse işçilerin belli yerlerde görevlendirilmeleri gerekir. Fazla ağır ve büyük araç makinelerinin çalışırken kısa zamanda toprağa gömülmeye başladıkları sıkça görülür. Kurak havalarda suya doymamış killerin bile paletlerin altında sıvı hale geçeceği unutulmamalıdır.
- 6- Nemli ve suya doymuş killer bıçakla kesilecek kadar yumuşaktır. Kurumuş killer ise çok sert bir taş halindedir. Üretim, nakliye, depolama gibi işlerde bu husus göz önünde tutulmalıdır.
- 7- Şamot fırınlarında doldurma ve boşaltma kolaylığı killerin büyük parçalar halinde çıkarılmasını gerektirirler. İnce seramik sanayi için ise büyük parçaların depolarda kuruması, öğütülmesi, suda çözünmesi bakımından sakıncaları vardır.

Büyük parçaların üretiminde pirit ve kuvarsın konkresyonlarının ayıklanması zordur. Küçük parçalı üretimde ise kilin nakliye ve istif zorluklarına, üretim kayıplarına ve kurumuş kilin tozumasına sorunları ortaya çıkabilir.

- 8- Beraber bulunan muhtelif kil cinslerinin çeşitli seramik ürünleri için ayrı ayrı üretimi ve depolanması, bütün kil çeşitlerinin hatta dekapajın büyük bir kısmını meydana getiren döküm kumlarının değerlendirilmesi, işletmenin verimliliği için şarttır [17] [35].

3.8. Kil Minerallerinin Kullanım Alanları ve Sınıflandırılması

Bağlama killeri 1500 °C'den daha yüksek sıcaklıklara kadar dayanabilme özelliğinden dolayı refrakter tuğla yapımında bağlayıcı olarak kullanılırlar. Sillimanit, disten ve andaluzit ise yaygın olarak susuz alüminyum silikat polimorflarını oluştururlar ve yüksek sıcaklıklarda ısıya dayanıklı yüksek performanslı mullit fazını ($3 \text{ Al}_2\text{O}_3 \cdot 2 \text{ SiO}_2$) oluşturabildiklerinden dolayı refrakter endüstrisinde kullanılırlar.

Refrakter killer fiziksel ve kimyasal nitelikte çeşitli aşındırıcı etkilere karşı erimeden ve fiziksel özelliklerini koruyarak dayanabildiğinden refrakter malzemelerden alümina silikat grubunun imalinde kullanılırlar. Bu malzemelerden yapılan fırınlar ve benzeri üniteler yüksek sıcaklıklarda çalışırlar.

Tablo 3.5. Türkiye'de refrakter malzeme kullanımının çeşitli sanayii kollarına göre dağılımı

Sanayii Türü	Kullanım Oranı
Demir-çelik sanayii	% 67,80
Çimento sanayii	% 7,20
Ferro alaşımları-Bakır-Alüminyum, Çinko, Kurşun	% 4,49
Seramik, Refrakter, Cam, Soda, Boraks	% 2,40
Kağıt, Şeker, Termik Santral, Gazhaneler	% 2,81
Diğerleri	% 15,30

Çalışma şartlarının ağır olduğu demir-çelik, çimento, petrokimya sanayiinde ağır hizmet tuğlaları, cam sanayiinde ve kok fırınlarında silika asidik ortamlarda asit tuğlaları tercih edilmektedir. Diğer çalışma ortamlarında ise genel hizmet ve hafif hizmet tuğlaları kullanılır.

Sillimanit, andaluzit ve disten susuz alüminyum silikat polimorflarını içerdikleri için genel olarak sillimanit grubu mineralleri olarak bilinirler. Bu mineraller, yüksek sıcaklıkta oluşan yüksek refrakter performanslı mullit fazlarını oluşturdıklarından dolayı çoğunlukla refrakter endüstrisinde tüketilirler.

Mullit üretiminin yarısı demir-çelik endüstrisinde, yüksek fırınlarda, büyük kapasiteli potalarda, brülör gövdeleri, çimento fırınlarında, bakır tavlama fırınlarında, cam fırınlarında, seramik üreten fırınlarda kullanılmaktadır. Distenin monolitik malzeme üretiminde yaygın olarak kullanımı bulunmaktadır. Andaluzit mükemmel mekanik dayanımı ve sürtünme dayanımı yanısıra refrakter tuğla imalinde daha az enerji maliyeti, hacimsel kararlılık, curufa ve ısıl şoka karşı iyi direnç gösteren özelliklere sahiptir. Refrakter malzemelerde istenilmeyen en önemli maddelerden biri demirdir.

Tablo 3.6. Kalitelerine ve kimyasal özelliklerine göre kaolenlerin kullanım yerleri

KAOLENİN TANIMI	KİMYASAL VE FİZİKSEL ÖZELLİKLERİ	KULLANIM YERİ
Extra kalite kaolen	Al_2O_3 =Min.%30, Fe_2O_3 =Max.%0,40 SiO_4 =Max.%0,5, serbest silis ve diğer impuritelere çok az	Porselen + sıhhi tesisat + glazür + elektro porselen
1. Kalite Kaolen	Al_2O_3 =Min.%24, Fe_2O_3 =Max.%0,9 SiO_4 =Max.%1	Fayans + karo + elektro porselen
1. Kalite Sisli Kaolen	Al_2O_3 =Min.%16, Fe_2O_3 =Max.%0,6 SiO_4 =Max.%0,7	Porselen + sıhhi tesisat + fayans + karo
2. Kalite Kaolen	Al_2O_3 =Min.%22, Fe_2O_3 =Max.%2 SiO_4 =Max.%1	Fayans + karo
2. Kalite sisli Kaolen	Al_2O_3 =Min.%15, Fe_2O_3 =Max.%1,2 SiO_4 =Max.%1	Fayans + karo

Kil minerallerinin çok büyük ve karmaşık bir mineral dizisine sahip olmaları, içeriklerindeki yabancı maddelerin varlığı, oluşum yeri ve özelliklerinin değişik oluşu gibi etkenlerden bulunur. Bundan dolayı killeri birçok şekilde sınıflandırılabilirler. Genelde bu sınıflandırmalar aşağıda verildiği gibidir [39].

Minerolojik Özelliklerine Göre Killeri

- Kaolin Grubu
- Smektit (Montmorillonit) Grubu
- Mika Grubu • Klorit Grubu
- İllit Grubu

- Attapulgit Grubu

Yapılarına Göre Killer

- Amorf Grup
- Kristal Grup

Kimyasal İçeriklerine Göre Sınıflandırma

- Yüksek alüminyum içerikli
- Boksit içerikli
- Silikat içerikli
- Demir içerikli
- Kalsit içerikli
- Karbonat içerikli

Fiziksel Sınıflandırma

- Plastik özelliğine göre
- Tane boyutuna göre
- Refrakter özelliğine göre
- Renk özelliğine göre

Üretildikleri yatak veya bölgeye göre sınıflandırma

Kullanım Alanlarına göre Sınıflandırma

3.8.1. Kullanım alanlarına göre sınıflandırılması

Killer birçok şekilde sınıflandırılabilirler. Çok çeşitli sınıflandırmaya sahip killerin tüketim alanlarının spesifikasyonlarına göre sınıflandırılması ve bu spesifikasyonlara yanıt verecek test metotlarının uygulanması gerekir. Killerin çok değişik yapı ve

özellik değişimine uygun olarak kullanım amaçlarına uygun test yöntemlerinin uygulanması gerekir [39].

Dünyada ve Türkiye'de “kil” denilince akla ilk gelen eski çağlardan beri üretilen “kil tabanlı seramiklerdir”. İlk seramik fabrikaları bu nedenle kil kaynaklarına yakın yerlerde kurulmuştur. Çünkü kil tabanlı seramiklerde, kullanılan hammaddelerin içinde en önemlisi kaolin, ball killeri ve kırmızı tuğla-kiremit killeri.

Özellikle uluslararası literatürde kil hammaddeleri kil ve kaolen olarak ikiye ayrılmış ve "killer" başlığı altında ball kili, kırmızı killer, ateş kili, refrakter killer ve bentonit yer almıştır.

Kil hammaddelerinin oluştuğu yataklar ise oluşum koşullarına göre yerinde (primer) veya “sedimanter” (sekonder) olarak tanımlanmaktadır. Primer yataklarda oluşan killer ana kayaca daha yakın yerlerde çökelişir ve kaolen gibi primer oluşumların tane boyutları büyüktür. Daha uzaklara, gene su ile taşınan maddeler ise sekonder oluşumlardır. Yol boyunca sürtünme ile kendi kendini daha fazla öğütmüşlerdir. Çeşitli renk veren oksitler ve organik malzemelerle karışmışlardır. Çukur veya düz arazilerde taşınma sona erdiğinde tabakalar şeklinde çökelmeler oluşmuş ve kil olarak adlandırılan kaolene göre daha özlü ve ince taneli maddeler oluşmuştur [40].

Belirli seviyeleri döküm kili, fayans kili, seramik killeri diye tanımlanan İstanbul ve Söğüt killeri aynı zamanda genel olarak “Ball kili” (Ball clay) olarak da isimlendirilebilir. Ball kili esasen kaolinit olmasına rağmen, çok daha ince tanelidir [41].

Tablo 3.7. Ball kili ve kaolin özellikleri

	KAOLİN	BALL KİLİ
+ 10 μm (%)	2–20	-
— 2 μm (%)	35–70	60–86
— 1 μm (%)	-	45–80
Kırılma Modülü (kgf/cm ²)	4–15	20–40
Kaplama Yoğunluğu(%)	55–70	60–65
Kaplama Oranı	0,3–2,0	-
Ateş Parlaklığı	85–92	50–70
Absorbsiyon	15–20	3–13
Büzülme	5–10	5–15
Kaolinit İçeriği	85–97	50–70

Ball killi su ile karıştırıldıklarında yüksek plastisiteleri nedeniyle dikkat çekicidir. İnce tanecik boyutundan (0.1–1 μm) dolayı, ball killeri için su ihtiyacı çoğu Çin killlerinden daha yüksektir. Aynı zamanda ince partikül boyutlu Ball killeri, diğer killere göre daha yüksek mukavemet dayanımı ve ateş dayanımı sağlar. Bazı ball killerine ait kimyasal kompozisyonları Tablo 3.7.'de verilmiştir [42].

Tablo 3.8. Bazı ball killerinin % kimyasal kompozisyonları [22].

Location	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	TiO ₂	CaO	MgO	K ₂ O	Na ₂ O	H ₂ O
Tennessee	57,6	28,1	1,1	1,4	Eser	Eser	0,9	0,1	10,6
Tennessee	51,7	31,2	1,2	1,7	0,2	0,5	0,4	0,6	12,1
Kentucky	57,7	28,5	1,2	1,5	0,2	0,2	0,1	1,2	9,5

Yukarıda değinildiği gibi Killer çok değişik tanımlama ve sınıflamaları yapılmıştır. Burada kökenleri, kimyasal ve mineralojik bileşimleri dışında ticari ve endüstriyel kullanımlarına göre de sınıflamalar yapılmaktadır W.E. Worrall killeri (Ceramic Raw Materials) [43]

- Ball kili (Ball clay)
- Çin Kili (China clay)
- Ateş Kili (Fire clay)
- Yapı Killeri (Building clay) (Stoneware clays, Pipe clays, Boulder clays, Bentonite Fuller's earth)

şeklinde ana olarak 4 ana guruba ayırarak incelemiştir. W. Ryan ise daha çok mineralojik sınıflamaya sadık kalarak kil hammaddelerini;

- Kaolinitik killer (Bal kili, Çin kili, Ateş kili, Tuğla - Kiremit kili)
- Montmoryonit - Bentonit
- Mikalar - illit
- Klorit
- Vermikulit

biçiminde sınıflandırmaktadır [41].

3.8.2. Endüstriyel killerin genel özellikleri

Üç ana kil minerali olan kaolinit, illit ve smektit gurubu kil minerallerinden olup kaolinit diğer ikisinden farklı olarak alkaliler (Na, K) içermez. En fazla Al içeren kil olduğu için ısıya dayanıklı refrakter kil mineralidir. İllit Fe-K, smektit gurubu ise Na, Ca ve K içerdiği için kaolinitten daha az refrakter kil mineralleridir.

Smektiti gurubu kil mineralleri ayrıca kristal yapılarında su içerdikleri için pişme davranışı olarak en sorunlu kil mineralidir. Alkali içerikleri nedeni ile flux (eritci) gibi davranan illit ve smektit daha küçük tane boyları ile plastik killerdir. Ham, kuru ve pişme dayanımları yüksektir. Smektit gurubu kil mineralleri içeren killer ise kristal yapılarında su (OH) bulunan ayrıca kristal yapılarına su alabilen killer oldukları için kuruma hassasiyetleri yüksektir.

Ball kili hem taşınma süreçleri ve hem de illit ve smektit içerikleri nedeni ile kaolinitlere göre daha fazla plastik killerdir. Ball kili ayrıca ince tane boyunda feldispat içerdikleri için pişme dayanımları yüksek killerdir. Killerin pişme ve su ile etkileşimleri içerdiği kil mineralleri kadar kil dışı minerallerinden kuvars, feldspat, kalsit, jips ve anatas gibi kil dışı mineral oranlarına da bağlıdır [44]. Kil grubu mineraller homojenlik, plastiklik, nem ve kuru mukavemet ile diğer teknolojik özelliklerinin farklılığından dolayı farklı alanlarında kullanılır.

Üretilen kaolenlerin %60'ı çimento sektöründe, %30'u seramik sektöründe, % 10'u cam, kağıt ve çimento, sondaj çamuru, dolgu ve kaplama malzemesi olarak, temizlik, deterjan, gıda ve ilaç sanayii gibi alanlarda tüketilmektedir.

Bu sonuç kaolenin ham olarak tüketildiğine işaret etmektedir. Bilinmektedir ki kaolenin fiziksel özelliklerine göre kullanım alanları değişmektedir. Buna göre kaoleni; Seramik kaoleni, Porselen kaoleni, Fayans kaoleni, Çimento kaoleni, Kağıt dolgu kaoleni, Kağıt kaplama kaoleni, Demirli kaolen, Silisli kaolen, Plastik kaolen, Refrakter kaolen, Alümitli kaolen gibi sınıflara ayırmak mümkündür [45].

Dünya kaolen ihracatında, birinci sırayı işlenmiş kağıt kaoleni oluştururken, kaolen ihracatında birinci sırayı ham kaolen oluşturmaktadır. İhraç edilen kaolenlerin %95'i çimento sektöründe kullanılmaktadır. %5'i seramik ve diğer sektörlerde kullanılmaktadır. İhraç edilen kaolenler, kırılmış, ham kaolen olduğu için katma değer düşüktür. İthalatta işlenmiş kaolen alındığı için katma değer yüksektir [45].

Tablo 3.9. Kaolinlerin Fiziksel Ve Kimyasal Özellikleri [46]

ÖZELLİKLER	KAOLEN SINIFI		
	1.SINIF	2.SINIF	3.SINIF
İNCELİK, 45 µm elek üzerinde kalan kısım, ağırlıkça, % En çok	1	2	-
Ateş Zayılatı, %	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

(TS 5396/Aralık 1987 tarihli Seramik Sanayiinde Kullanılan Kaolin Standartlarından alınmıştır.)

Kaolin içindeki Al₂O₃ haricindeki diğer bileşenlerin yüksek olması demek, Al₂O₃ oranının idealden (%39,50'den) az olması demektir. İdeal Kaolin Bileşimi: Al₂O₃.2SiO₂.2H₂O olup kaolinitte alüminyum oksit, silika ve su oranları aşağıdaki şekildedir.

Tablo 3.10. İdeal Kaolin Bileşimi

SiO ₂ (Silika) % 46,54	Al ₂ O ₃ (Alüminyum Oksit) % 39,50	H ₂ O (Su) % 13,96
Toplam		% 100,00

Seramik teknolojisinde safsızlıkları oluşturan Fe₂O₃ (demir), SO₃ (kükürt) gibi safsızlıklar kaolinlerin en önemli özelliği olup, bunların renk vermesi (Fe₂O₃), SO₃ (kükürt), seramikte fırın sıcaklıklarında başka kimyasal reaksiyonlara girerek seramiğin bünyesini bozması özelliklerinden dolayı istenmemektedir.

Tablo 3.11. Türkiye kaolin ürün standartları [46].

Oran (%)	Kağıt						Çimento	
	Fayans	Elektro Porselen	Porselen	Frit Kaolini	Dolgu	Kaplama	1	2
SiO ₂	55-80	55-60	58-65	58-78	44-46	50-60	78-80	57-60
Al ₂ O ₃	13-25	28-30	24-32	15-28	30-35	30-35	min 30	28
Fe ₂ O ₃	max 1,0	max 0,6	max 0,6	max 0,4	max 0,4	max 0,4	max 0,4	max 1,5
TiO ₂	max 0,5	max 0,5	max 0,5	-	max 0,4	max 0,4	max 0,5	max 0,5
CaO	max 1,0	-	0,2	-	0,2	0,1	max 1	max 1
MgO	max 1,0	-	max 0,5	-	0,2	0,1	max 1	max 1
Na ₂ O	max 1,0	max 0,10	0,1-0,3	-	-	max 1,0	max 1	max 1
K ₂ O	max 1,0	max 0,10	1-1,5	-	-	max 2,0	max 1	max 1
SO ₃	max 0,5	max 0,3	eser	max 0,2	1-5,0	1-5,0	max 1	max 1
A.Kayı	5-10	7-9	11-13	5-12	10-14	10-14	5-7	9-11
2 mikron (%)					30-35	min 85,0	—5 cm	—5 cm
5 mikron (%)					35-45	0,3	-10 cm	-10 cm
Serbest silis	-	-	-	-	max % 8	max %0,4	a.z.	a.z.
Cr ₂ O ₃	-	-	-	-	-	-	max 90 ppm	max 80 ppm
Aşındırma	-	-	-	-	max 30 mg	max 5 mg	-	-
Beyazlık (%)		min 85,0	min 89,0	min 89,0	min 80,0	min 85,0	-	-
Viskozite	-	-	-	-	68-70	68-70	-	-
Cins	Ham kaolin	Ham ve Tesis	Ham ve Tesis	Ham ve Tesis	Tesis	Tesis	Ham	Ham

3.8.3. Türkiye'deki kaolenlerin özellikleri

Türkiye'de tüketilen sektörler açısından kullanılan kaolinlerin kimyasal, fiziksel özelliklerine göre, dünyadaki ürün standartları ve tüketilen kaolinler arasında ürün standartları bakımından farklılık gözlenmez. Çeşitli sektörlerde de üretim reçetelerine göre değişik oranlara sahip Al₂O₃, Fe₂O₃, SO₃ TiO₂'li hammadde kullanırlar. Bu sebeple bu kriterlere ve reçetelere göre, kullanım oranları da farklıdır. Ancak fabrikaların kullanıldığı diğer hammaddelerin fiziksel özellikleri kimyasal özelliklerinden daha büyük bir önem kazanmaktadır. Kağıt endüstrisinde kaplama ve dolgu, seramik, boya, lastik ve diğer kullanım alanlarında beyazlık-parlaklık, aşındırma, tane boyu, dağılımı ve şekli gibi fiziksel özellikleri önemli olmaktadır. Sayılan fiziksel özellikler kaolinlerin oluşum koşulları mineralojik özellikleri ve kimyasal bileşimleri gibi temel özellikleri ile bağlantılıdır. Sektörlere göre ürün standartlarına ait örnek tablolarda aşağıda verilmiştir [45].

Tablo 3.12. Çeşitli kaolenlerde istenen ürün özellikleri [46].

	Kağıt kaolini		Porselen	Çimento		Seramik
	Dolgu	Kaplama		1	2	
SiO ₂	48	47	46 – 48			
Al ₂ O ₃	min 35	min 35	min % 30	min % 30	% 28	15 – 30
Fe ₂ O ₃	max 0,4	max 0,4	max 0,5	max 0,4	max 0,4	max 0,5–1,00
TiO ₂	max 0,05	max 0,05	max 0,1			
CaO	0,2	0,1	0,2			
MgO	0,2	0,1	0,5			
K ₂ O	1,5	0,5	1 – 1,5			
Na ₂ O	0,2	0,2	0,1 – 0,3			
SO ₃	max % 1	max % 1	Eser	max % 1	max % 1	max % 0,2
A.Z.	% 12 – 13	% 12 – 13	% 11 – 13			
—2 mikron	% 60	% 80		—5 cm	—5 cm	
+10 mikron	max % 10	max % 2		—10 cm	—10 cm	
+50 mikron	max % 0,1	max % 0,05				
Beyazlık	min % 80	min % 85				
Aşındırma	30	50				
Viskozite	68 – 70	68 – 70				

Tablo 3.13. Seramik, beyaz çimento kaolenleri ve refrakter killerin kimyasal özellikleri [46].

	SERAMİK KAOLİNL ERİ*	BEYAZ ÇİMENTO KAOLİNLERİ**	REFRAKTER KİLLERİ	ÇİN KİLİ	FLINT (A.B.D)
SiO ₂	59,5–73	51–67,5	33,3–44,0	49,5–52,5	44,4–45,9
Al ₂ O ₃	19,0–28,0	22,0–29,0	36,0–45	30,0–35,0	35,8–38,6
Fe ₂ O ₃	0,5	0,4	2,0–2,1	0,4	0,55–0,75
TiO ₂	0,3–0,4	0,4–0,5	0,9–1,0	0,2	2,1–2,28
CaO	0,1–0,2	0,1	0,2–0,3	0,1	0,04–0,06
MgO	0,1–0,2	0,1	0,2–0,3	0,1	0,1–0,4
K ₂ O	0,1–0,3	0,5–2,0	0,2–0,8	0,1	0,3–0,5
Na ₂ O	0,1–0,3	0,3–0,4	0,4–1,0	0,2	0,1–0,4
Ateş Kaybı	6,7–10,5	9,0–20,0	15,0–18,0	13,4–15,0	13,0–14,0

(*) : K-1 K3 Kodlu Killer; (**) : KCW1 - KCW3 Kodlu Killer [Esan A.Ş.].

Tablo 3.14. Kaolinlerin Başlıca Kullanım Alanları

KULLANIM ALANI	BAŞLICA ÖZELLİKLERİ
Kağıt Sanayi	% 90–100 saf kaolinit minerali aranırken kuvars minerali içermemelidir. Ayrıca parlaklık en az % 85, tane boyutu % 80 < 2µm ve Brookfield viskozitesi < 7.000 cps olmalıdır [5].
Seramik Sanayi	Genellikle % 75–80 kaolinit minerali içeren kaolinler tercih edilir. Pişme rengi, viskozitesi, sürtünmeye dayanıklılığı, Fe ₂ O ₃ ve TiO ₂ oranlarının çok düşük olması ve % 83–91 oranında parlaklık istenir.
Boya Sanayi	Su bazlı iç ve dış cephe boyalarında veya esaslı, özellikle sanayi boyalarında titanyum oks (anorganik pigment), öğütülmüş kalsit tozu ve talk ile birlikte kaolin kullanılır. Su bazlı i cephe plastik ve latex kalsine edilmiş ve lamine olmayan (delaminated) mineral yapısına sahip kaolinler kullanılır. Bu gruptaki boyalar % 50 ila % 70 arasında pigment içerir. Ya parlak ve parlak su bazlı boyalarda kullanılan kaolinin % 98' i 2 µm' dan daha büyüktü Latex boyalarda pigmentler, bağlayıcı reçinelerle beraber, daha iyi örtücülük sağlayan v binder' in kırılma indisine yakın kırılma indisi değeriyle (>1,50) kaolin kullanılır.
Plastik Sanayi	Güçlendirici ve maliyet düşürücü ve katkı malzemesi olarak özellikle viny' lerde ve polyesterlerde sık kullanılır. Kaolinin en önemli kullanım alanı; (PVC) kaplanmış teller ve kablolardır. Kalsine kaolin ve silika yüzey modifiye edilmiş kaolinler PVC' lerin elektrik direncini arttırmak için kullanılır, çünkü onlar hidrofobik özelliğe sahiptir.
Mürekkep Yapımı	Litografik, ofset ve flexografik baskı tekniklerinde ince film içeren yüksek yoğunluktaki mürekkeplerde kaolin kullanılır. Mürekkep filmi 5 ile 15 µm arasında değişir ve parlaklığı korumak için ince taneli kaolin (0,2–0,5 µm) renklendirici pigment ile beraber kullanılır.
Lastik Sanayi	Maliyet düşürücü katkı malzemesi ve güçlendirici olarak en çok kullanılan sert kaolinin tane boyutu ortalama 0,2 µm' dan küçük ve yumuşak kaolinlerin ortalama tane boyutu 1,0 µm' dan küçüktür. Lastik sanayinde istenilen kaolinin sudaki pH'ı 4,5–5,5 arasında ayrıca, Fe, Mn ve Cu gibi elementlerin çok düşük sınırlar içinde olması istenir.

Tablo 3.14. (Devamı)

KULLANIM ALANI	BAŞLICA ÖZELLİKLERİ
Cam Elyaf Yapımı	Isı izolasyonu ve plastiklerin güçlendirilmesinde kullanılır. Cam elyafın ana hammaddesi silis, kaolin ve kireç taşı ile birlikte borik asit, soda ve sodyum sülfattır. Alüminyum camlarda erime ısını düşürür, kristalize olmasını önler ve suda diğer kimyasallarda çözünürlüğü azaltır. Cam elyaf üretimi için istenilen kaolinde % 37 Al ₂ O ₃ % 44 SiO ₂ en fazla % 1 Fe ₂ O ₃ % 2 Na ₂ O ve % 1 H ₂ O olmalıdır.
Diğer Alanlar	İzolasyon: Kaolin latex sodyum silikatlı duvar kağıdı yapıştırıcılarda, alçı panellerde, su bazlı yapıştırıcılarda ve epoxy bazlı yapıştırıcılarda daha iyi viskozite elde etmek, kolay uygulanması ve kolay yayılabilmesi için kullanılır. Kataliz: Özellikle petrol rafinelerinde petrol ürünlerinin katalitik dönüşümlerinde kataliz olarak kullanılır. Pek çok katalizler yüksek ısı ve basınç altında çalışırlar. Bu nedenle kaolinler yüksek ısı şartlarına uygundur. Katalitik Konverterlerin (Kordiyorit) imalatında (1) talk veya sepiyolit ve kaolin karışımı (2) kullanılır. İlaç: Bazı ilaçlarda adsorpsiyon özelliğinden dolayı kaolin kullanılır. Kalsine edilmiş kaolin (% 90' ı 2µm altı) diş macunlarında kullanılır. Ayrıca otomobil ve metal parlaticılarında, oksitlenmiş yüzeyleri temizlenmesinde kaolin kullanılır. Bu sektörde kullanılan kaolinlerde en fazla 2 ppm arsenik ve en fazla 20 ppm ağır metallerin bulunması istenir.

BÖLÜM 4. MATERYAL VE YÖNTEM

Söğüt Bölgesi killerinin mühendislik açısından incelenmesi kullanım alanlarının değerlendirilmesi amacı ile yapılan çalışmadaki örnekler Akçaalan, Çiğdemlik, Tilki Tepe ve Avdanlık mevkiinde halen çalışmakta olan kil ocaklarından alınmıştır. Örnekler YİT, TİT, Avdan, Çin Yak, Çit, GM, Kal, ve Koç olarak adlandırılmıştır.

Bu numunelerin XRF analizleri Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi Laboratuvarlarında yaptırılmış ve Ultrasonik ses hızları ölçümleri ise Hacettepe Üniversitesi Jeoloji Mühendisliği Kayaç ve Toprak (Zemin) Mekaniği Laboratuvarında ölçülmüştür.

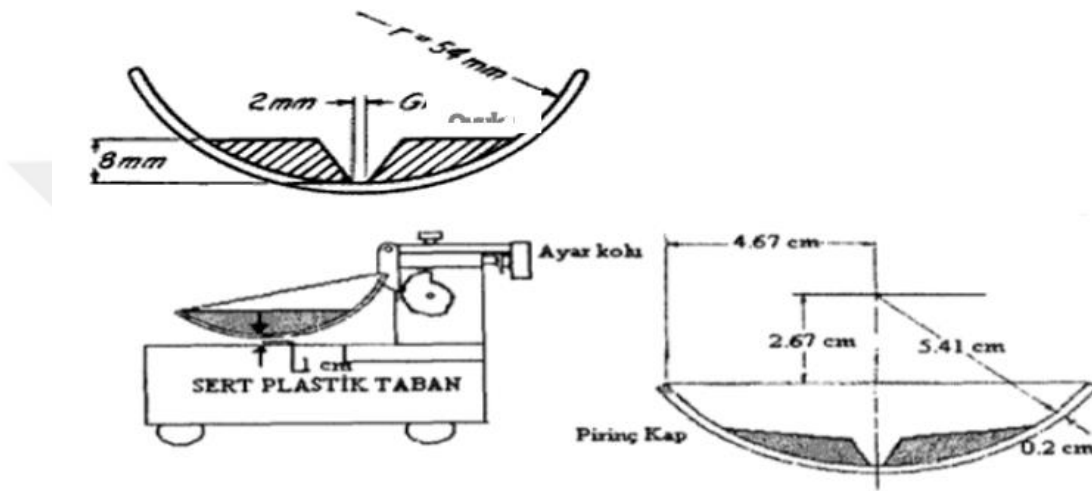
Alınan kil numuneleri ultrasonik ses hızları alınabilmesi için dikdörtgen prizmalar şeklinde şekillendirilip yüzeyleri pürüzsüzleştirilmiştir. XRF ölçümleri için de analiz edilecek örnekler sırası ile otomatik taş kırma ve ardından otomatik taş öğütme makinaları kullanılarak öğütülüp 5 mm'den daha küçük hale getirilmiştir. Daha sonra analiz edilecek örneklerden 4 gr alınarak ve 0,9 gr WACHS adı verilen bağlayıcı ile hidrolik pres altında sıkıştırıldıktan sonra pres-pastil halinde analiz için hazırlanmıştır.

4.1. Atterberg Limitleri

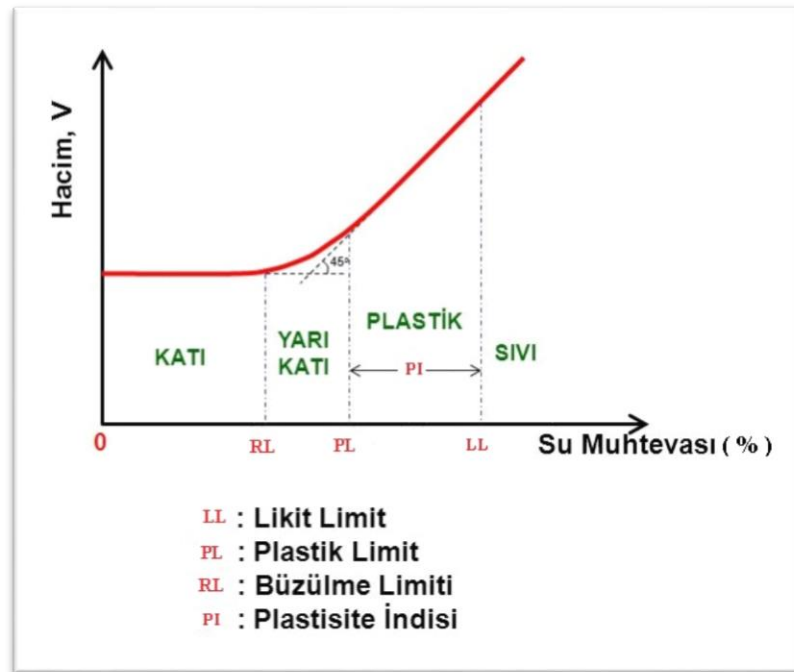
Kıvam, kohezyonlu zeminlerde zeminin sertlik-yumuşaklık durumu tanımlar [47]. Kıvam durumlarını ayıran su muhtevalarına Atterberg limitleri denir. Zeminin tanecikleri ile su arasındaki ilişkileri ve değişen su içeriklerine göre zeminin durumunun tanımlanmasını Atterberg limitleri belirler.

4.1.1. Likit limit W_{LL}

Standart boyutları haiz zemin çamurunun, kap alttan ani darbelere maruz kaldığında çamurun iki kesimi birbirine değmesi halindeki su muhtevasına likit limit denir. Alet, kolu döndürüldüğünde, sert bir lastik blok üzerine, 10 milimetre yükseklikten düşen yarım küre biçimde metal (pirinç, sarı), düzgün iç yüzeyli bir tas kaptan oluşur.



Şekil 4.1. Cassagende deney cihazı kesit ve boyutları [48].



Şekil 4.2. Su muhtevası ile kıvamların değişimi

Likit Limit belirlenecek zeminden bir miktar alınarak kurutulur ve tanelenir. Tanelenmiş kuru zemin, içindeki iri taneleri uzaklaştırmak için 40 No'lu elek (0,425 mm)'den elenir. Elekten geçen zeminden bir miktar alınarak, porselen gibi bir tas kaba konulur, üzerine bir miktar damıtık su serpilir. Bir spatula (ucu yuvarlak bir bıçak) ile iyice karıştırılarak yoğurulur. Yoğurulan zeminden bir miktar alınarak, aletin tasına yerleştirilir ve üzeri düzlenir [49].

Standart bir oyuk (yarık) açma bıçağı ile tastaki zemin ikiye bölünür. Oyuk ters bir yamuk biçimli enkesite sahip olup tabanı 2 milimetredir. Aletin kolu, saniyede 1 dönüş olmak üzere, düzgün bir şekilde çevrilir ve bir yandan da, döndürme (vuruş) sayıları sayılarak not edilir (Elektrikli aletlerde döndürme ve sayma otomatik olarak yapılır).

Döndürme işlemi ile içinde bir oyukla iki kısma ayrılmış zemin bulunan kap, 10 milimetre yükseklikten, standart sertlikteki bir lastik - plastik blok üzerine düşer. Bu düşme etkisi altında, zeminin iki parçası kayarak, birbirine kavuşmak ister. Bunların birbiriyle birleşmesinin yaklaşık 10 milimetre kadar olduğu durum gözlenerek, bu anda döndürmeye son verilir ve başlangıçtan itibaren yapılan vuruş sayısı kaydedilir (N). Zeminden bir miktar alınarak su içeriği (w) belirlenir. Aynı işlem, zemine artan miktarlarda su katarak, değişik su muhtevalarında tekrarlanır [50].

Deney sonuçları yatayda vuruş (döndürme) sayıları N (logaritmik), düşeyde su muhtevaları (W) olan bir eksen takımında işaretlenerek, noktalardan yaklaşık bir doğru geçirilir. 25 vuruşa karşılık gelen su içeriği, o zeminin likit limiti olarak belirlenmiş olur [48].

4.1.2. Plastik limit WPL

Plastik durumun alt sınırıdır. 3 mm çaplı ince makarnalar halinde yuvarlanan zeminin kopmaya başladığı su muhtevasıdır. Zeminin plastik özelliği gösterdiği su muhtevası aralığına plastik bölge denir. İki sınır bölgesi arası $PI = WLL - WPL$ plastiklik indisidir. Plastik limit değeri aşağıdaki hesaplama ile bulunur.

$$W_{PL} = \frac{M_{tw} - M_{td}}{M_{td} - M_t} \quad (4.1)$$

Burada;

W_{PL} = Plastik Limit (PL)

M_{tw} = Numune+Kap

M_{td} = Kuru numune+Kap

M_p = Kap

Bir miktar zemin su ile yoğrularak çapları 3 mm, uzunlukları 10 cm kadar olan silindirler teşkil edilir. Bunlar, bir buzlu cam veya düz bir fayans üzerinde yuvarlanır. Böylece, kısmen suyunu kaybeden silindirler zeminin plastikliğinin azalması dolayısıyla artık harekette devam edemezler ve muhtelif parçalar halinde kırılmak üzere yarırlar. Bu haldeki zeminin su muhtevasına plastik limit (yuvarlanma limiti) adı verilir. Bu suretle zeminin henüz yuvarlanabildiği limit hali tayin edilmiş olur. Zayıf kil için bu limit, yaklaşık %25'e kadar, yağlı kil için %30'a kadar, organik zeminler için de %150' ye kadar çıkar. Eğer zemin çubuğunun çapı 2 mm'ye düştüğü halde ufalanma meydana gelmiyorsa zeminin henüz plastik olduğu kabul edilerek, bir miktar daha kurutma yapılarak deney tekrarlanır [48].

4.1.3. Rötire limit

Zemin kurumaya devam ederse hacim küçülür. Suyunu kaybettiği durum hacim büzülmesinin sona erdiği sınırdır. Kohezyonlu bir zeminin su muhtevası azaldıkça zeminin sertliği artar.

$$I_c = \frac{W_{LL} - W}{W_{LL} - W_{PL}} \quad (4.2)$$

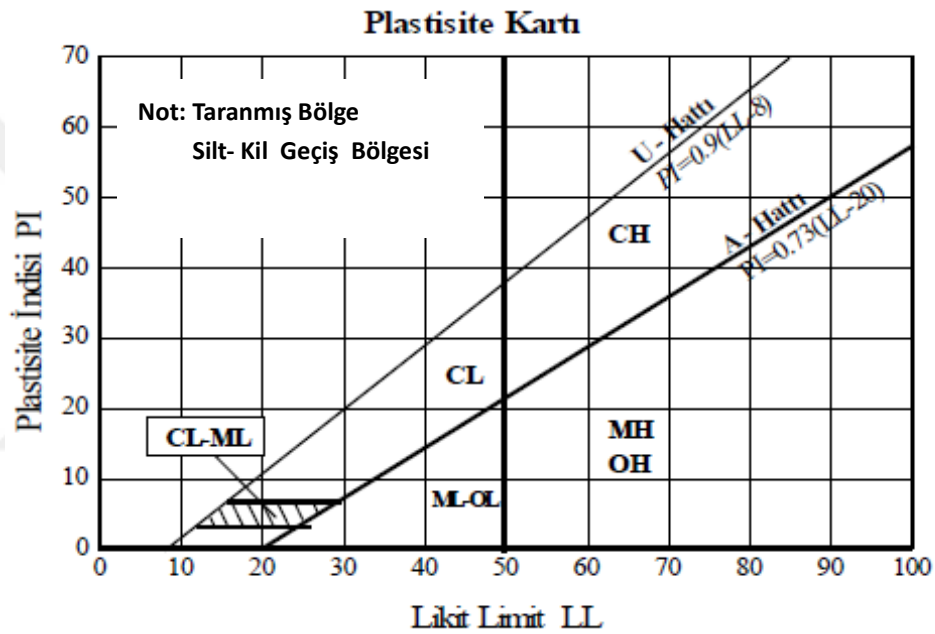
Burada;

W_{LL} : Likit Limit

W_{PL} : Plastik Limit

W : Kıvam İndisi Tanımlanacak Numunenin Su İçeriği

Eşitlik 4.2. oranına zeminin relatif konsistansı (kıvam indisi) denir. Bu değer zeminin izafi sıklığına eşdeğerdir. Zeminin su muhtevası likit limitten büyükse (kıvam indisi negatifse) zemin viskoz çamurdur. Tabii su muhtevası plastik limitten küçükse (kıvam indisi birden büyükse) zemin yoğrulmaz. Kıvam indisi sıfır civarında örselenmiş kilin serbest basınç direnci $0,3 - 1,0 \text{ kg/cm}^2$ arasında değişir. Kıvam indisi bire yakın ise basınç direnci $1 - 5 \text{ kg}$ arasındadır.



Şekil 4.3. Plastisite diyagramı (Cassagrande plastisite kartı) [47].

Burada;

CH: Yüksek Plastisiteli Kil

CL: Düşük Plastisiteli Kil

MH: Yüksek Plastisiteli Silt

ML: Düşük Plastisiteli Silt

OH: Yüksek Plastisiteli Siltler ve organik zeminler

OL: Düşük Plastisiteli Organik Toprak

A-Hattı genellikle kil türü malzemeleri siltlerden, organik malzemeleri de inorganiklerden ayırmaya yarar. U-Hattı ise toprak malzemeler için üst sınırı tanımlar. Belirlenen değerler, U çizgisinin soluna düşüyorsa, değerler kontrol edilmelidir.

Plastisite diyagramında y eksenı plastisite indisi I_p x eksenı likit limiti gösterir. Diyagram A çizgisi altında ve üstünde 3'er olmak üzere 6 bölgeye ayrılmıştır. Çeşitli grupların arasında farklar güvenilir şekilde plastisite diyagramı ile belirlenir.

4.2. X – Işını Floresans Spektroskopisi (XRF)

X-ışınları Floresans (XRF) spektroskopisi elementel kompozisyonu belirlemek için kullanılan önemli yöntemlerden biridir. Analizler Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi Merkezi Araştırma Laboratuvarında PANalytical Axios marka X-ray fluorescence (XRF) cihazıyla yapılmıştır.

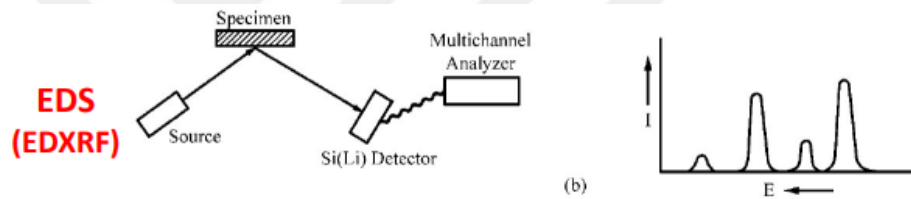


Şekil 4.4. PANalytical Axios marka XRF cihazı

XRF sisteminde hassas kantitatif analizlerin yapılabilmesi için 21 adet standart içeren (Al_2O_3 , BaO , CaO , Cr_2O_3 , CuO , Fe_2O_3 , HfO_2 , K_2O , MgO , Mn_2O_3 , Na_2O , NiO , P_2O_5 , PbO , SiO_2 , SO_3 , SrO , TiO_2 , V_2O_5 , ZnO , ZrO) özel kalibrasyon seti

kullanılmaktadır. Bu kalibrasyon programı ile oksitli bileşiklerin (mineral, çimento, cam sanayi, seramik hammadde vb.) ppm derecesinde gerçek kantitatif analizleri yapılabilmektedir. X – Işını Floresans Spektroskopisi ile atom numarası 9 ile 92 arasında olan elementlerin kantitatif analizini yapılabilmektedir [51].

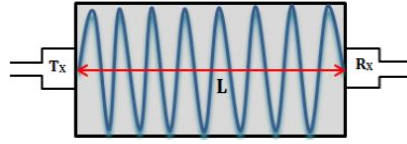
XRF yönteminin çalışma prensibi; Temel olarak eğer atom yüksek enerjili bir X-ışını fotonu düşürülecek olursa atomdan fotoelektronlar kopartılacaktır. Bu koşulda atomun yörüngelerinde bir ya da daha fazla elektron boşlukları oluşacak ve kararsız olan atom dış yörüngelerdeki elektronların boşlukları doldurması ile kararlı duruma gelecektir. Fakat her bir elektron boşluğu doldurmada atom orbital enerji farkı ile orantılı bir foton yayımlayacaktır. Bu karakteristik foton enerjiler algılanarak kimyasal kompozisyon nitel ve nicel olarak hesaplandığı ifade edilmektedir.



Şekil 4.5. XRF Çalışma Şeması [52].

4.3. Ultrasonik Test Cihazı

Ultra-ses dalgalarının kayaçta yayılma hızları ölçülerek kayaç örnekleri içerisinde geçirilen P ve S dalgalarının yayılma hızlarından yararlanılarak kayaç malzemesinin dinamik Young modülü ile dinamik Poisson oranının tayininde kullanılmaktadır. Dayanım belirlemede sismik hızlardan P dalga hızı kullanılmaktadır. Bunun yanında S dalgasının ölçülmesi sonucunda da kayacın elastik modülleri, mekanik ve fiziksel özellikleri daha iyi yorumlanabilir. Ultrasonik cihazda bir verici (Tx) ve bir alıcı (Rx) prob vardır. Kullanılan P dalga problemlerinin frekansı 50 kHz'dir. Bu dalganın frekansları 20–250 kHz arasında uygulanmaktadır. Numunenin bir tarafından dalga gönderilirken diğer bir taraftan dalga geliş zamanı kaydedilir ve Tx ile Rx arasındaki uzaklığın (L) zamana (t) oranından hız (V) belirlenir (Eşitlik 4.3.) [53].



Şekil 4.6. Sismik hız ölçümünün numune üzerindeki şematik gösterimi

$$V = \frac{L}{t} \quad (4.3)$$

Burada L içim metre (m), t için ise saniye (sn) birimi kullanılmaktadır.



Şekil 4.7. Pundit Ultrasonik ses cihazı

4.3.1. Ultrasonik yöntem (ultrases hızı yöntemi)

Ultrasonik teknikler uzun yıllardır madencilik alanında ve jeoteknik uygulamalarda kullanılmaktadır. Bunlar, jeofizik çalışma alanlarında ve kayaçların dinamik özelliklerinin laboratuvarlarda belirlenmesinde kullanılabilir. Bu teknikler, uygulanmasının kolaylığı ve zararsız olmasından dolayı, jeoteknik mühendisliğinde artarak kullanılmaya başlanmıştır. Bilindiği gibi kayaçlar farklı fiziksel özelliklere sahiptir ve herhangi bir etki karşısında farklı tepki vermektedirler [54].

Ultrasonik yöntemler zararsız, düşük maliyetli ve kolay uygulanabilen ölçüm tekniklerinden biridir. Ultrasonik akustiğin bir koludur ve insan kulağının işitmeyeceği kadar yüksek frekanslı (>20Khz) ses dalgaları yaymaktadır. Ultrasonik P (boyuna) dalga ve S (enine) dalga hızları, ölçümü yapılan numunenin yoğunluğuna ve dokusal

özelliklerine bağlı olarak değişkenlik göstermektedir. Ultrasonik hızlar homojen ve heterojen malzemelerde doğal olarak farklılık gösterir. Bu nedenle kayaçlardaki fiziksel ve mekanik özelliklerin belirlenmesi için, ultrasonik dalga hızları araştırmacılar tarafından sıklıkla kullanılmaktadır.

Ultrases Hızı Yöntemi ile frekansları 20–200 kHz arasında 50–150 kHz seviyesinde olan ultrasonik ses dalgalarının kayaç içerisindeki yayılma hızına bağlı olarak basınç dayanımı hakkında bilgi edinilmektedir. Bu yöntem ile çok sayıda noktada ölçüm yapılabilir. Dolayısıyla deney ve zaman ekonomisi sağlayabilir ve malzemenin içyapısının üniformluğu ile ilgili bilgilere ulaşılabilir. Ayrıca ölçüm yapılan malzemede çatlama ve kırılma gibi deformasyonlar olmamaktadır. Ultrasonik yöntemde ölçüm yapabilmek için numunelerin belirli boyutlarda kullanılması zorunlu değildir.

Test edilen malzemenin (kaya, beton, seramik) mineralojisi, boşlukların-tanelerin şekli ve boyutları ve de bunların dağılımı gibi mikro yapısal özellikleri ses hızı ile ilişkisini belirler. Malzemenin bu özellikleri frekans spektrumunu benzersiz şekilde değiştirir ve farklı yayılım türlerinin sıkışma-(Vp) ve makaslama-(Vs) hızlarını tanımlar. Bu nedenle, dalga hızları ve genlik-frekans spektrumları, malzemenin fiziksel ve mekanik özellikleriyle ve bu da mikro yapısal özellikleri ile kuvvetli bir şekilde ilişkilidir [55].

4.3.1.1. Ultrasonik hız değerini etkileyen faktörler

Birçok faktör kayaçlarda ultrasonik hız değerini etkilelemektedir. Bunların en önemli olanları ise; kayanın tipi, dokusu, tane boyutu ve şekli, porozitesi, yoğunluğu, su içeriği, sıcaklığı ve anizotropisidir. Ultrasonik dalga hızı anizotropik numunelerde; örneğin yönü, geçiş mesafesi ve jeofonların çapları gibi faktörlerden de etkilenebilmektedir. Bunlardan başka ayrışma ve alterasyon zonları, eklem özellikleri (su, dolgu malzemesi, pürüzlülük, doğrultu, eğim vb.) gibi faktörler ultrasonik dalga hız değerini etkileyen önemli değişkenlerdir (ASTM, 2005).

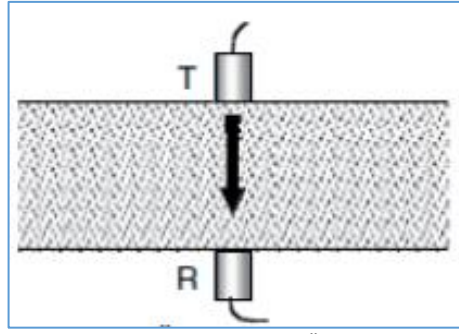
Bazı yazarlar kayaçlardaki su içeriğinin ultrasonik hız üzerindeki etkisini araştırmışlardır. Thill ve Bur (1969) granodiyoritlerde ultrasonik hızın suya doymun durumdaki değişimlerini incelemiştir [56]. Ayrıca yazarlar kayaç çok küçük bir poroziteye sahip dahi olsa, ultrasonik hızda dikkate değer bir değişimin olduğunu belirtmişlerdir. Wyllie vd. (1956) kumtaşlarının su içeriğine bağlı olarak ultrasonik hızdaki değişimleri araştırmışlardır [57]. Örneklerdeki su içeriği azaltıldıkça ultrasonik P hızında belirgin bir düşüş olduğunu göstermişlerdir. Ramana ve Venkatanarayana (1973) Kolar (Hindistan) şehrindeki kayaçların su içeriğinin P dalga hızı üzerindeki etkisini araştırmışlardır [58]. Çalışmaya göre kayaçlardaki su içeriğinin artması ile birlikte ağırlıklarının ve kayaçlarda ölçülen ultrasonik hızların arttığını göstermişlerdir. Lama ve Vutukuri (1978) porozitesi yüksek ve suya doymun kayaçlardaki P dalga hızının porozitesi düşük olan aynı tür suya doymun kayaçlardaki P dalga hızından daha düşük çıktığını gözlemlemiştir [59]. Bunun, sudaki P dalga hızının mineral iskeletindeki P dalga hızından daha düşük olmasından kaynaklanabileceği belirtilmiştir. Kahraman (2007) yaptığı çalışmada kuru ve suya doymun aynı kayaç örnekleri için P dalga hızı korelasyonunu incelemiştir [60]. Üç farklı kökenden (sedimenter, magmatik ve metamorfik) çeşitli kayaçlar üzerinde yaptığı çalışmada örneklerin tümünde doymun P dalga hızı, kuru P dalga hızından yüksek çıktığını belirlemiştir [61].

4.3.1.2. Ultrasonik hız ölçüm yöntemleri

Ultrasonik hız ölçüm ölçümleri;

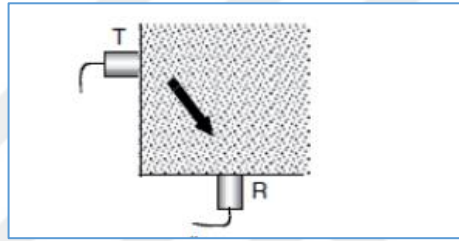
- a) Direkt
 - b) Yarı Doğrudan
 - c) Dolaylı
- olmak üzere 3 şekilde yapılır.

- a) Direkt okuma yönteminde alıcı ve verici, test edilecek kayacın birbirine paralel yüzeylerine yerleştirilerek ses dalgasının geçiş süresi ölçülür.



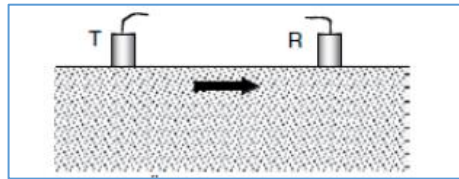
Şekil 4.8. Doğrudan Ölçüm

- b) Yarı doğrudan okuma yönteminde alıcı (R) ve verici (T), test edilecek kayacın birbirine dik yüzeylerine yerleştirilerek ses dalgasının geçiş süresi ölçülür.



Şekil 4.9. Yarı Doğrudan Ölçüm

- c) Dolaylı okuma yönteminde ise aynı yüzeyde vericinin sabit, alıcının ise eşit aralıklarla belirlenen noktalarda hareket ettirilmesiyle okumalar yapılır [62].



Şekil 4.10. Dolaylı Ölçüm

Yapılan çalışmalarda bu yöntemlerden direkt okuma yöntemi ile kil numunelerinin V_p (Boyuna Dalga Hızı) ve V_s (Enine Dalga Hızı) dalga hızları belirlenmiştir. Yukarıda da belirtildiği gibi kayaç şekillerinin durumlarından dolayı bazı numunelerde düzgün okumalar yapılamamıştır. Bundan dolayı o numuneler ise ilişkilendirme işlemlerinde değerlendirmeye alınmamışlardır.

4.3.2. Sismik dalga çeşitleri

Sismik dalgalar özelliklerine göre hacim ve yüzey dalgaları olmak üzere ikiye ayrılır.

4.3.2.1. Hacim dalgaları

Yerküresi içinde enerji kaynağından başlayarak serbest şekilde her yönde yayılırlar. Elastik ortamda yayılan bu dalgaların klasik dalga denklemi aşağıdaki gibidir.

$$\frac{d^2\theta}{dx^2} + \frac{d^2\theta}{dy^2} + \frac{d^2\theta}{dz^2} = \frac{1}{V_s^2} \frac{d^2\theta}{dt^2} \quad (4.4)$$

Burada,

θ = Dalga hareketinin yer değiştirme potansiyeli

V = Dalga hızı

t = Zaman

olarak tanımlanmaktadır.

Mühendislik jeofiziği uygulamaların da iki elastik dalgadan söz edilir.

Tam elastik, izotrop ve homojen bir ortamda biri dilatasyon (hacim değişimi), diğeri rotasyon (eşit hacim) dalgası olmak üzere iki türlü yayılır. Bunlardan ikisine birden hacim (cisim) dalgaları denir.

Hacim dalgaları, primer ve seconder dalgaları olmak üzere ikiye ayrılır.

Dalganın yayılması doğrultusuna dik bir düzlem içindeki hareketi sabit kalıyorsa böyle bir dalgaya düzlemsel dalga denir. Düzlemsel dalga olması halinde dilatasyon dalgası; boyuna bir dalgadır. Bu tip dalgaya P dalgası (primer dalga) veya sıkışma dalgası denir. Bu dalga istasyona ilk gelen dalgadır. Titreşim hareketi dalgaların yayılma

doğrultusundadır. Periyot ve genlikler diğer dalgalara göre küçüktür. Hem katıda hem de sıvı ortamda yayılabilirler.

P dalgaları geçişi sırasında partiküller kompresyonel gerilmeye uğrar. Yani taneler sıkışır.

P dalgaları V_p hızı ile yayılırlar. V_p hızı ile yayılım ortamındaki dinamik parametreler arasında aşağıdaki ilişki vardır.

$$V_p = \sqrt{\frac{(\lambda + 2\mu)}{\rho}} = \sqrt{\frac{E(1-\sigma)}{\rho(1+\sigma)(1-2\sigma)}} \quad (4.5)$$

Burada ;

V_p : P dalga hızı (m/sn)

σ : Poisson oranı (boyutsuz) (0 - 0,5) arasında değişir

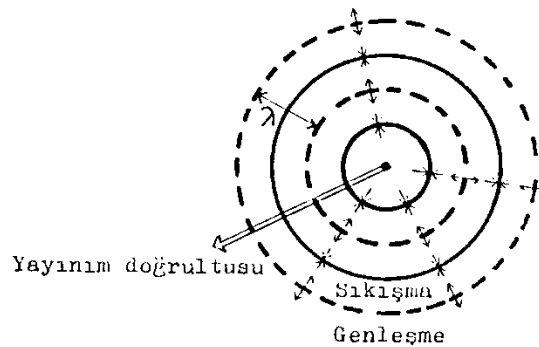
λ : Dalga boyu

μ : Kayma (shear) modülü ve Rijidite (rijidity)

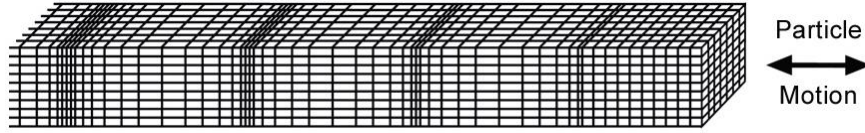
E : Elastisite modülü veya Young modülü (N/m^2)

ρ : Yoğunluk (kg/cm^3)

P dalgası yalnız P ve SV dalgaları verebilir. SV geliş düzleminde polarlanmış S dalgasıdır. Geliş düzlemi, ayırma yüzeyi yatay olduğu zaman düşeydir.



Şekil 4.11. Nokta kaynaktan boyuna dalga yayılması

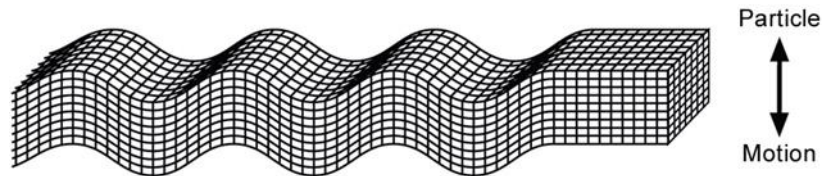


Şekil 4.12. Düzlem dalga durumunda boyuna dalga yayılması

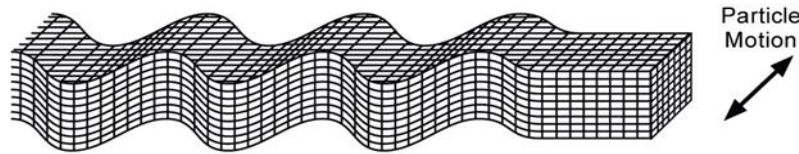
Düzlemsel dalga ise; Rotasyon dalgası (eşit hacim) bir enine dalgadır. Bu dalgaya Secunder (S) dalga adı verilir. Dalganın hızı küçüktür. Buna göre periyot ve genlikleri P dalgasına göre daha fazladır. S dalgasının titreşim hareketi yayılma doğrultusuna diktir. Bu dalganın geçişi sırasında ortamdaki partiküller bir makaslama gerilmesinin altında kalırlar. Cismin hacminde bir değişiklik yapmadıkları ve cismin biçimini değiştirmedikleri görülür. Fakat cisimlerde şekil değişikliği oluştururlar. V_s hızı birimi oluşturan tanelerin boyutu, biçimi ve birbiri ile olan bağlarından etkilenir.

$$V_s = \sqrt{\frac{\mu}{\rho}} = \sqrt{\frac{E}{\rho} \frac{1}{2(1+\sigma)}} \quad (4.6)$$

S dalgalarının geçişi sırasında partiküller birbirine paralel doğrular oluşturuyorsa bu olaya Polarizasyon denir. Polarizasyon olayı yatay düzlemde oluşuyorsa yatay polarizasyon SH, düşey düzlemde oluşuyorsa düşey polarizasyon SV denir.



Şekil 4.13. SH dalgalarında partikülün yer değiştirmesi

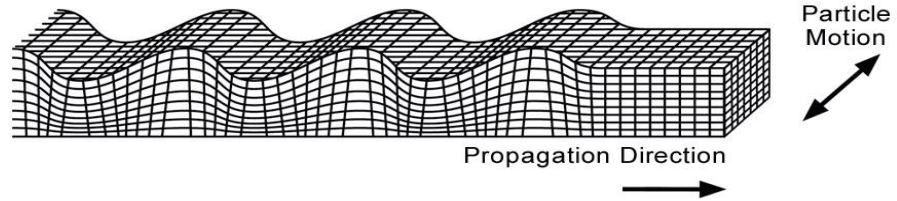


Şekil 4.14. SV dalgalarında partikülün yer değiştirmesi

4.3.2.2. Yüzey dalgaları

Yüzey dalgaları yüzeye yakın yerlerde hacim dalgasının etkisi ile oluşurlar. Love ve Rayleigh dalgaları olmak üzere ikiye ayrılırlar.

- a) Love Dalgaları: Yatay düzlemde polarize olmuş S dalgasıdır. Bunlar yerkabuğunun tabanı ile yeryüzü arasındaki tekrarlı yansımalarıdır. Yapıcı girişimleri sonucu oluşurlar.

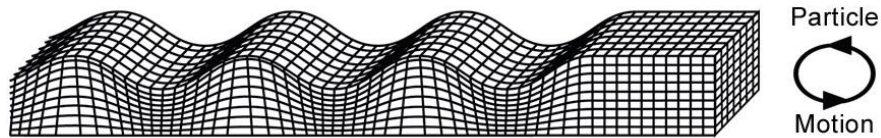


Şekil 4.15. Love dalgalarında partikülün yer değiştirmesi

Dolayısı ile bu oluşumlar için bir kanala ve tabakalı ortama ihtiyaç vardır. Bu kanal yerkabuğu olduğu gibi üst mantoda herhangi bir tabaka da olabilir. Bunlarda partikül titreşim hareketi yayılma doğrultusuna dikey veya yataydır. Tüm Love dalgaları dispersiyona uğrarlar. Love dalgaları yüzeye paralel ve dalga yönüne transversal olarak yayılırlar.

- b) Rayleigh Dalgaları: Yerin serbest yüzeyinin oluşturduğu bir dalgadır. Parçacığın hareketi düşey yayılma düzlemi içinde olup elips şeklindedir. Hareket yayılma doğrultusuna zıt şekilde görülür. Dalga hareketinin genliği yeryüzünden derinliğe doğru eksponansiyel olarak azalır.

Hızı; frekansa veya dalga boyuna göre değişir. Buna dispersiyon denir. Bu dalgaların yayılımında tanecikler hareketi, büyük eksene düşey olan elips şeklindedir.



Şekil 4.16. Rayleigh dalgalarında partikülün yer değiştirmesi

Rayleigh dalgaları Love dalgalarından yavaştır. Tek tabakalı ortamlarda Rayleigh dalgaları dispersiyon özelliği göstermezler.

Rayleigh dalgası ile S dalgası arasında;

$V_r = 0,92 V_s$ şeklinde doğrusal bir ilişki vardır [63].

4.3.2.3. Kayaçların sismik hızları

Jeofizik mühendisliği uygulamaları ile sismik yöntemler kullanılarak jeolojik birimlerin mühendislik özellikler saptanabilmektedir.

Sismik yöntem ile saptanan mühendislik özellikler, kayma dalgası hızı, V_s , boyuna dalga hızı, V_p , elastisite modülleri, ivme ve spektrumu, zemin hakim titreşim periyodu, zemin deprem büyütme katsayısı, müsaade edilebilir taşıma kapasitesi, yatak katsayısı gibi özelliklerdir. Kayaçların mekanik özellikleri genellikle formasyonlardan alınan numunelerin laboratuvar ortamına getirilerek ölçümlerin yapılması ile belirlenmektedir. Laboratuvar çalışmaları ile numunelerin sismik hızları, ultrasonik ses hızı ölçüm yöntemiyle belirlenerek o numunelere ait mekanik özelliklerinin saptanması olmaktadır.

Sıkışma dalga hızı, V_p , yeraltı gözenek sıvısına doygunluğuna ve kayma dalga hızı V_s , yeraltının katılığına ve sıkılığına duyarlı olması sebebiyle V_p/V_s oranına laboratuvar ve arazi uygulamalarıyla kullanılan önemli bir faktör olmuştur [64].

Sismik yöntemlerde kaya kütleline ait P (boyuna dalga boyu) ve S (enine dalga boyu) dalga hızları belirlenerek, dinamik elastisite modülü, rijitlik modülü, bulk modülü, poisson oranı ve yoğunluk ile ilgili eşitlikler yardımı ile hesaplanabilmektedir [54] [65] [66] [28] [29].

$$\rho = 0.31V_p^{0.25} \text{ (gr/cm}^3\text{)} \quad [64] \quad (4.7)$$

$$\nu = \left[0.5(V_p/V_s)^2 - 1 \right] / \left[(V_p/V_s)^2 - 1 \right] \quad (4.8)$$

$$G = \rho * V_s^2 \quad (4.9)$$

$$k = \rho[V_p^2 - (4V_s^2/3)] \quad (4.10)$$

$$E_m = \rho * V_s^2 [(3V_p^2 - 4V_s^2)/(V_p^2 - V_s^2)] \quad (4.11)$$

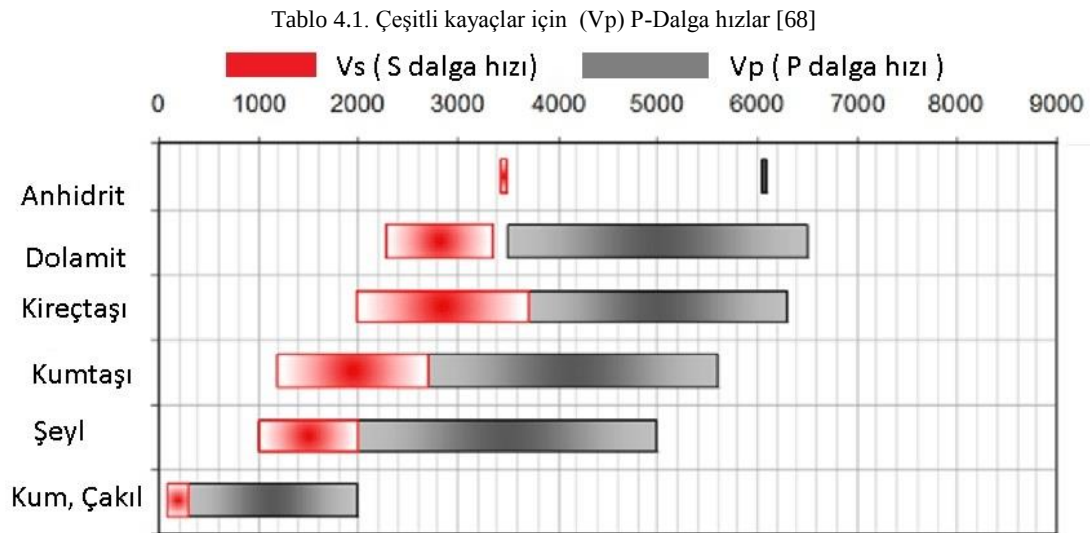
Burada, V_p : Boyuna dalga hızı (m/sn), V_s : Enine dalga hızı (m/sn), ρ : Yoğunluk (gr/cm^3), ν : Poisson oranı, G : Kesme modülü (MPa), k : Bulk modülü (MPa), E_m : Elastisite modülüdür (MPa).

Dinamik elastisite modülü yoğunluk ve sismik hızlardan bulunabilir. Bu parametre jeolojik birimlerin sertliğinin ve sağlamlığının bir ölçüsüdür. Poisson oranı cisimdeki enine kılmanın boyuna uzamaya oranıdır. Başka bir ifade ile enine birim deformasyonun boyuna birim deformasyona oranıdır. Mühendislik jeofiziğinde poisson oranı kayacın suya doygunluk derecelerini aydınlatma açısından önemlidir. Poisson oranı kesinlikle 0,5 değerini geçemez. Bu oran 0,5'e yaklaştıkça suya doygunluk artmaktadır [64] [67].

Poisson oranı ile sismik hızlar arasındaki ilişki aşağıdaki gibi verilmiştir.

$$\frac{V_p}{V_s} = \sqrt{\frac{k}{\mu} + \frac{4}{3}} = \sqrt{\frac{1-\sigma}{\frac{1}{2}-\sigma}} \quad (4.12)$$

Çeşitli kayaçlarının sismik P ve S dalga hızları aşağıdaki tabloda şöyle verilmektedir.



Tablo 4.2. Çeşitli malzemeler için P ve S dalga hızları [69]

Ortam	P dalga hızı (m/s)	S dalga hızı (m/s)
Hava	332	
Su	1400–1500	
Petrol	1300–1400	
Çelik	6100	3500
Beton	3600	2000
Granite	5500–5900	2800–3000
Bazalt	6400	3200
Kumtaşı	1400–4300	700–2800
Kireçtaşı	5900–6100	2800–3000
Kum (Doymamış)	200–1000	80–400
Kum (Doymuş)	800–2200	320–880
Kil	1000–2500	400–1000

Her ocaktan seçilen birer numune üzerinde kıvam limitlerini belirlemek üzere yapılan ölçümler, Eskişehir Atabey Müşavirlik-Mühendislik San. ve Tic. Ltd. Şti. beton ve zemin laboratuvarlarında gerçekleştirilmiştir.



Resim 5.1. Kıvam limitleri ölçümü

Ölçüm sonuçları ve değerlendirmeler neticesinde bulunan sonuçlar aşağıdaki tabloya aktarılmıştır.

Tablo 5.1. Kıvam indisine göre numunelere ait kıvam sonuçları

Numune Adı	LL	PL	PI	Birleştirilmiş Zemin Sınıflaması	Su muhtevası (%) (W)	Kıvam İndisi	KIVAM
1-YİT-5	28	16	12	CL	27,7	0,03	Çok Yumuşak
2- TİT-4	32	21	11	CL	30,84	0,11	Yumuşak
AVDAN-3-2	78	32	46	CH	76,52	0,03	Çok Yumuşak
ÇALTI AKÇAALAN 2	NP	NP	NP	NP			
ÇİN YAK 2-3	NP	NP	NP	NP			
ÇİT 6	33	21	12	CL	32,32	0,06	Yumuşak
GM-4	49	19	21	CL	38,82	0,34	Sıkı
KAL-2-3	30	20	10	CL	28,63	0,14	Yumuşak

Farklı 8 kil ocağından alınan numunelere ait kıvamlar Tablo 5.1.'deki gibi belirlenmiştir. Bu numunelerden Çaltı Akçaalan-2 ve Çin Yak 2-3 numuneleri plastisite deneyleri sonucuna göre NP (plastik olmayan) numune olarak tespit edilmiştir. Kıvamlılık indisi (Ic) Formül 4.3.'e göre hesaplanıp sonuçlar Tablo 5.1.'de verilmiştir.

Tablo 5.2. Kıvam İndislerine Göre Zemin Sınıflandırılması [51].

Kıvamlılık İndisi (Ic)	Sınıflama
<0,05	Çok Yumuşak
0,05-0,25	Yumuşak
0,25-0,75	Sıkı
0,75-1,00	Sert
>1,00	Çok Sert

Kıvam indisi değerleri Tablo 5.2.'ye göre değerlendirildiğinde ise 1-YİT 5 ve AVDAN 3-2 numuneleri çok yumuşak, 2-TİT-4, ÇİT- 6, KAL-2-3 numuneleri yumuşak ve GM-4 numunesi ise sıkı kıvam sonucu vermiştir.

5.3. Sismik Bulgular

Bu çalışmada 8 farklı ocaktan alınan 77 farklı örnek üzerinde direkt ölçüm tekniğiyle elde edilen boyuna ve enine dalga hızları ultrasonik ses hızı ölçüm tekniği ile belirlenmiştir. Direkt ölçüm tekniği ile 77 farklı örnek üzerinde yapılan boyuna dalga için 3 farklı doğrultuda 231 direkt ölçüm, enine dalga içinde 3 farklı doğrultuda 231 direkt ölçüm yapılarak her bir numune için üç doğrultunun ortalama hız değerleri dikkate alınmıştır. Değerler Tablo 5.3.'de verilmiştir.

Tablo 5.3. Ölçüm yapılan 77 numuneye ait ultrasonik ses hızı, yoğunluk, poisson oranı, zemin sıklılığı ve sökülebilirlik

Numune Adı	Vsort	Vport	Yoğunluk	Poisson Oranı	Poisson Oranına göre Zemin Sıklılığı	Sökülebilirlik
1- YİT 1	790	1436	1,91	0,28	Sıkı Katı	Orta
1- YİT 2	754	1543	1,94	0,34	Gevşek	Zor
1- YİT 4	799	1296	1,86	0,19	Katı	Orta
1- YİT 5	772	1528	1,94	0,33	Gevşek	Zor
2- YİT 1	805	1602	1,96	0,33	Gevşek	Zor
2- YİT 2	721	1337	1,87	0,29	Sıkı Katı	Orta
2- YİT 3	780	1550	1,95	0,33	Gevşek	Zor
2- YİT 4	841	1470	1,92	0,26	Sıkı Katı	Orta
2- YİT 5	817	1681	1,99	0,35	Gevşek	Zor
3- YİT 1	550	682	1,58		Sağlam Kaya	Kolay
3- YİT 2	600	1496	1,93	0,40	Çok Gevşek	Orta
3- YİT 3	685	1457	1,92	0,36	Gevşek	Orta
3- YİT 4	1822	2291	2,14		Sağlam Kaya	Çok Zor
3- YİT 5	464	986	1,74	0,36	Gevşek	Orta
1. TİT 1	344	1135	1,80	0,45	Çok Gevşek	Orta
1. TİT 2	824	1609	1,96	0,32	Gevşek	Zor
1. TİT 3	493	1648	1,98	0,45	Çok Gevşek	Zor
1. TİT 4	716	1723	2,00	0,40	Gevşek	Zor
2. TİT 1	896	1341	1,88	0,10	Sağlam Kaya	Orta
2. TİT 2	664	1502	1,93	0,38	Gevşek	Zor
2. TİT 4	735	1172	1,81	0,18	Katı	Orta
3. TİT 1	361	1118	1,79	0,44	Çok Gevşek	Orta
3. TİT 2	822	1709	1,99	0,35	Gevşek	Zor
3. TİT 4	632	1676	1,98	0,42	Çok Gevşek	Zor
AVDAN-1-1	660	1821	2,03	0,42	Çok Gevşek	Zor
AVDAN-1-3	666	1302	1,86	0,32	Gevşek	Orta
AVDAN-1-5	570	1263	1,85	0,37	Gevşek	Orta
AVDAN-1-6	705	1381	1,89	0,32	Gevşek	Orta
AVDAN-2-1	730	1514	1,93	0,35	Gevşek	Zor
AVDAN-2-3	570	1242	1,84	0,37	Gevşek	Orta
AVDAN-3-2	988	1688	1,99	0,24	Sıkı Katı	Zor
AVDAN-3-3	650	1716	2,00	0,42	Çok Gevşek	Zor
ÇİN YAK 1-6	632	1001	1,74	0,17	Katı	Orta
ÇİN YAK 2-2	732	1876	2,04	0,41	Çok Gevşek	Zor
ÇİN YAK 2-3	594	1387	1,89	0,39	Gevşek	Orta

Tablo 5.3. (Devamı)

Numune Adı	V _{sort}	V _{port}	Yoğunluk	Poisson Oranı	Poisson Oranına göre Zemin Sıklığı	Sökülebilirlik
ÇİN YAK 2-6	257	1480	1,92	0,48	Çok Gevşek	Orta
ÇİN YAK 3-2	580	1136	1,80	0,32	Gevşek	Orta
ÇİN YAK 3-4	919	1099	1,78		Sağlam Kaya	Orta
KAL-1-1	784	1517	1,93	0,32	Gevşek	Zor
KAL-1-2	1096	1950	2,06	0,27	Sıkı Katı	Zor
KAL-1-3	923	1835	2,03	0,33	Gevşek	Zor
KAL-1-4	845	2013	2,08	0,39	Gevşek	Zor
KAL-1-5	788	1760	2,01	0,37	Gevşek	Zor
KAL-1-6	759	1195	1,82	0,16	Katı	Orta
KAL-2-1	1135	1833	2,03	0,19	Katı	Zor
KAL-2-2	748	1756	2,01	0,39	Gevşek	Zor
KAL-2-3	877	1891	2,04	0,36	Gevşek	Zor
KAL-2-4	906	1637	1,97	0,28	Sıkı Katı	Zor
KAL-2-5	760	1975	2,07	0,41	Çok Gevşek	Zor
KAL-2-6	798	1536	1,94	0,31	Gevşek	Zor
KAL-3-1	644	1245	1,84	0,32	Gevşek	Orta
KAL-3-2	775	1306	1,86	0,23	Sıkı Katı	Orta
KAL-3-3	644	1522	1,94	0,39	Gevşek	Zor
KAL-3-4	622	1712	1,99	0,42	Çok Gevşek	Zor
KAL-3-5	866	1835	2,03	0,36	Gevşek	Zor
KAL-3-6	699	1690	1,99	0,40	Gevşek	Zor
KAL-4-1	688	1889	2,04	0,42	Çok Gevşek	Zor
KAL-4-3	588	1798	2,02	0,44	Çok Gevşek	Zor
KAL-4-4	587	1627	1,97	0,43	Çok Gevşek	Zor
KAL-4-5	607	1412	1,90	0,39	Gevşek	Orta
KAL-4-6	697	2471	2,19	0,46	Çok Gevşek	Son Derece Zor
ÇİT 1	649	1160	1,81	0,27	Sıkı Katı	Orta
ÇİT 3	979	1188	1,82		Sağlam Kaya	Orta
ÇİT 4	656	1800	2,02	0,42	Çok Gevşek	Zor
ÇİT 5	595	1254	1,84	0,36	Gevşek	Orta
ÇİT 6	796	1594	1,96	0,33	Gevşek	Zor
ÇİT 8	776	1317	1,87	0,23	Sıkı Katı	Orta
ÇİT 9	670	1534	1,94	0,38	Gevşek	Zor
GM-2	663	1643	1,97	0,40	Çok Gevşek	Zor
GM-3	823	1248	1,84	0,12	Katı	Orta
GM-4	923	1465	1,92	0,17	Katı	Orta
GM-6	713	1599	1,96	0,38	Gevşek	Zor
GM-7	664	1249	1,84	0,30	Gevşek	Orta
1 NOLU NUMUNE KÜRE AKÇAALAN	634	1506	1,93	0,39	Gevşek	Zor
1 NOLU SONDAJ 2, NUMUNE	549	1795	2,02	0,45	Çok Gevşek	Zor
ÇALTİ AKÇAALAN 2 NOLU 222 M	649	1082	1,78	0,22	Sıkı Katı	Orta
KOÇ-1	447	964	1,73	0,36	Gevşek	Orta

V_p ve V_s dalga hızlarından yararlanarak alınan 77 örnek numunenin V_p/V_s oranı kullanılarak dinamik yoğunluklar formül 4-5'e yoğunluk değerleri hesaplanmıştır. Eşitlik 4.6.'ya göre de poisson oranı değerleri bulunarak Tablo 5.3.'de verilmiştir.

Tablo 5.4. Poisson Sınıflaması ve hız oranı karşılaştırması [70] [71].

POISSON ORANI	SIKILIK	V _p /V _s
0,5	Cıvık Sıvı	∞
0,40-0,49	Çok Gevşek	2,49 - ∞
0,30-0,39	Gevşek	1,87 - 2,49
0,20-0,29	Sıkı-Katı	1,71 - 1,87
0,10-0,19	Katı	1,50 - 1,71
0,00-0,09	Sağlam Kaya	1,41 - 1,50

Poisson oranı 0–0,5 arasında değişmekte, zeminin gözeneklerini yorumlamak için kullanılabilir. Zeminlerde Poisson oranının 0–0,1 arasında değişen değerleri elde edildiğinde o zeminin gözenekleri hava dolgulu olduğu anlaşılmaktadır [72].

Tablo 5.4. (Ercan 2001) ile numunelerin sıkılık değerleri verilmektedir [71]. Tablo 5.4.'de verilen aralıklar dikkate alınarak örnek numuneler için hesaplanan poisson oranlarına göre alınan kil numunelerinin sıkılığı belirlenerek Tablo 5.3.'de gösterilmiştir.

Tablo 5.5. P dalgası hızı ile zeminlerin ya da kayaçların sökülebilirlikleri [73]

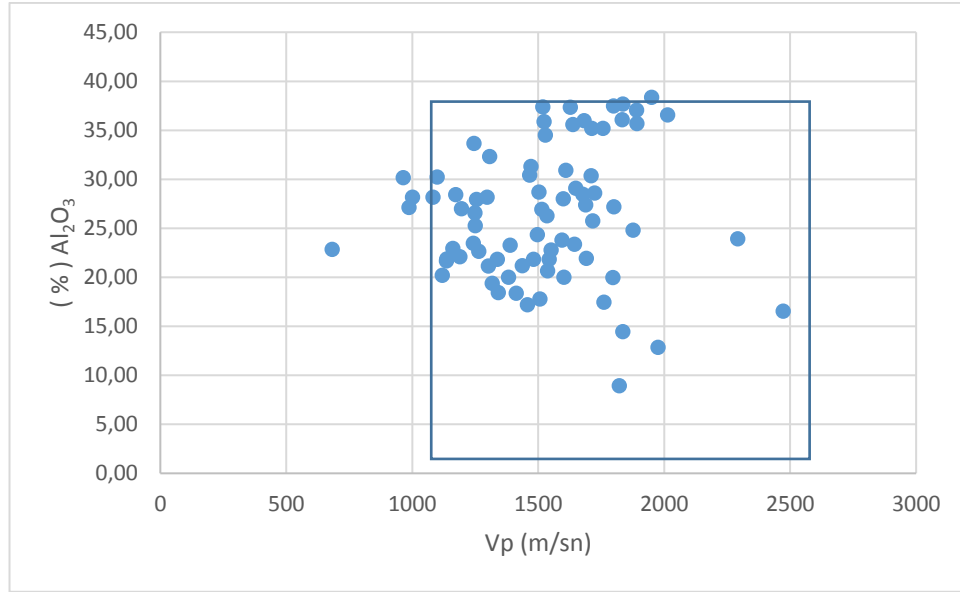
BOYUNA DALGA HIZI (V_p) (m/s)	SÖKÜLEBİLİRLİK
300 – 600	Çok kolay
600 – 900	Kolay
900 – 1500	Orta
1500 – 2100	Zor
2100 – 2400	Çok zor
2400 – 2700	Son derece zor

Taşıma ile meydana gelen kil, kumlu kil, çakıllı kil ve bloklu kil gibi konsolide olmuş (sıkışmış), fazla kohezyonlu ve gevşek çimentolu birikinti ve döküntü malzemelerle, fazla kohezyonlu aşırı ayrışma ürünü olan zeminler 1000 – 1500 m/sn arasında bir sismik hız değerleri verirler. Bu tip zeminler, yerine ve amacına göre kepçeli – çeneli kazı makinası ve buldozer gibi araçlarla orta derecede ve bazen zor bir şekilde sıyrılıp kazılabilirler ve sökülebilirler.

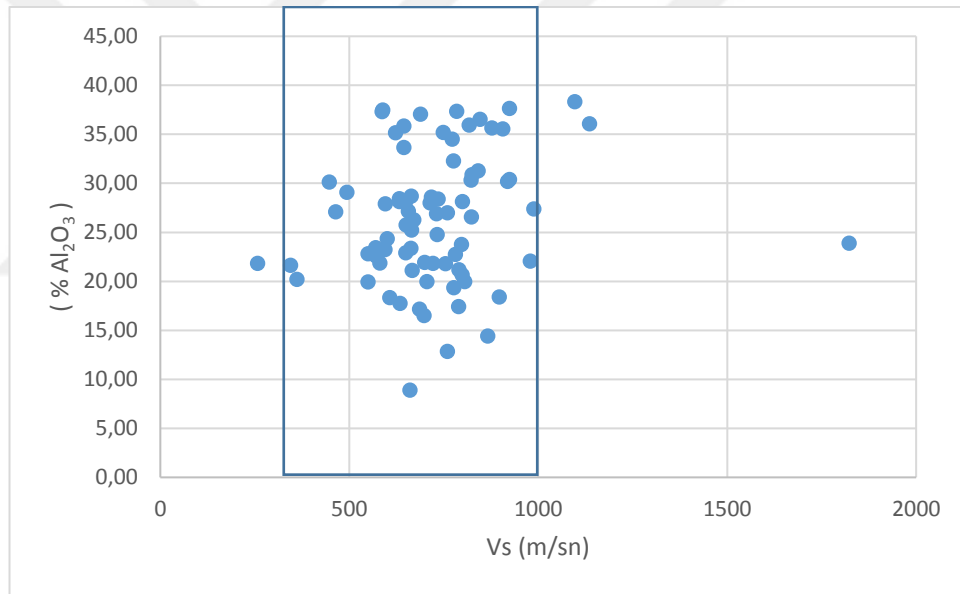
Tablo 5.6. Ölçülen numunelerin sökülebilirlik sınıflamasına göre miktarları

Sökülebilirlik Derecesi	Numune Miktarı
Çok Kolay	0
Kolay	1
Orta	33
Zor	41
Çok Zor	1
Son Derece Zor	1

Alınan numunelerin V_p dalgası hızları Tablo 5.5. dikkate alınarak yapılan ayırım sonucunda Tablo 5.3.'e aktarılarak ve Tablo 5.6.'da ise sökülebilirlik derecesine göre numune miktarları tespit edilmiştir. Tabloda görüldüğü gibi 41 tanesinin zor sökülebilir, 33 tanesinin de orta sökülebilirlikte oldukları belirlenmiştir.



Grafik 5.1. Tüm ocakların Al_2O_3 -Vp hız dağılımı



Grafik 5.2. Tüm ocakların Al_2O_3 -Vs hız dağılımı

Sismik hızların Tablo 4.2.'de verildiği ve Grafik 5.1. ve Grafik 5.2.'de gösterildiği gibi kil numunelerinin Vp hızları 1000–2500 m/sn aralığında, Vs hızlarının da 400–1000 m/sn aralığında olduğu görülmektedir. Bu sonuçlar, sismik hızlar açısından alınan örneklerin büyük çoğunlukla kil mineral içeriğine sahip olduğunu göstermektedir.

5.4. XRF Bulguları

Numunelerin Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi Merkez Laboratuvarlarında Panalytical XRF cihazı ile kantitatif analizleri yapılarak aşağıdaki tablodaki bulgulara ulaşılmıştır. İncelenen numunelerin kil içeriğine sahip olması nedeniyle tabloda SiO_2 Al_2O_3 Fe_2O_3 TiO_2 CaO MgO K_2O Na_2O değerleri verilmiştir.

Tablo 5.7. Ölçüm yapılan 77 numuneye ait XRF kantitatif analizleri

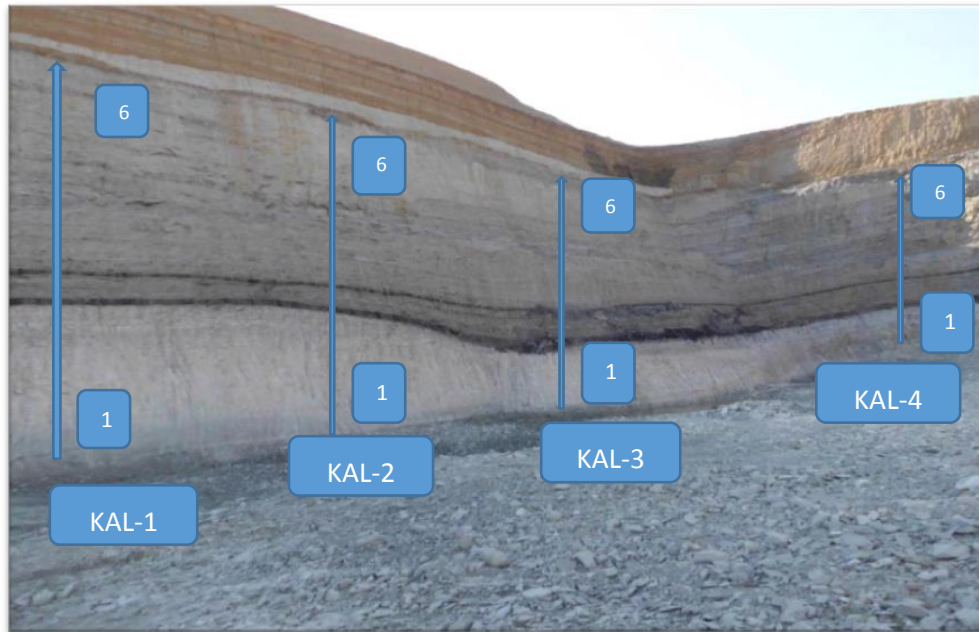
NUMUNE ADI	SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	TiO_2	CaO	MgO	K_2O	Na_2O
1-YIT-1	36,53	21,18	26,83	4,33	1,21	0,97	5,46	0,05
1-YIT-2	35,40	21,83	26,54	4,68	1,14	0,95	5,71	0,07
1-YIT-4	44,95	28,15	6,45	6,96	1,71	0,78	6,93	0,03
1-YIT-5	50,41	34,51	2,21	4,44	0,99	0,30	3,83	
2-YIT-1	33,58	19,99	32,18	3,86	1,18	0,98	4,93	0,05
2-YIT-2	34,31	21,84	23,56	5,13	5,38	0,84	5,36	0,04
2-YIT-3	46,86	22,77	15,93	3,78	0,99	0,59	5,70	0,04
2-YIT-4	52,53	31,28	2,24	5,29	0,87	0,42	4,11	
2-YIT-5	47,04	35,96	3,33	5,04	1,05	0,30	3,86	
3-YIT-1	37,83	22,84	24,51	4,47	1,12	0,95	5,14	0,06
3-YIT-2	41,88	24,35	15,42	5,54	1,27	0,86	6,34	0,06
3-YIT-3	29,19	17,19	22,51	3,78	16,34	3,14	3,87	0,04
3-YIT-4	38,93	23,90	20,65	4,48	3,74	1,26	3,61	
3-YIT-5	50,58	27,10	8,54	2,52	4,83	0,56	3,00	
1-TIT-1	59,63	21,65	2,64	2,31	1,08	0,37	9,01	0,03
1-TIT-2	46,47	30,89	3,93	6,77	1,13	0,55	6,84	
1-TIT-3	50,02	29,09	3,93	5,16	1,04	0,64	7,01	0,08
1-TIT-4	47,82	28,60	5,50	5,61	1,12	0,66	7,24	0,04
2-TIT-1	62,23	18,43	5,14	2,11	1,15	0,48	7,35	0,04
2-TIT-2	40,12	28,70	15,27	4,80	1,45	0,73	5,95	
2-TIT-4	48,71	28,43	5,46	5,08	1,13	0,69	7,38	0,03
3-TIT-1	62,27	20,20	2,67	2,38	0,90	0,46	7,38	0,05
3-TIT-2	45,39	30,34	6,11	6,14	1,19	0,72	6,92	
3-TIT-4	48,89	28,44	5,54	5,08	1,19	0,69	7,13	
AVDAN-1-1	13,69	8,93	47,48	1,75	10,71	3,47	2,18	
AVDAN-1-3	38,49	21,15	18,48	5,74	2,99	2,21	6,82	0,21
AVDAN-1-5	38,71	22,63	16,55	6,24	3,02	2,56	6,54	0,25
AVDAN-1-6	47,28	20,00	7,67	8,58	4,49	1,76	6,39	0,28
AVDAN-2-1	45,12	26,92	4,81	7,75	1,66	1,23	8,62	0,23
AVDAN-2-3	45,18	23,46	6,20	7,20	2,04	1,45	8,04	0,25
AVDAN-3-2	42,14	27,39	6,77	6,43	1,50	1,79	10,11	0,18
AVDAN-3-3	44,36	25,76	7,53	6,61	2,15	1,68	8,05	0,15
ÇİN YAK 1-6	51,16	28,16	2,72	7,46	0,93	0,45	5,43	0,04
ÇİN YAK 2-2	52,72	24,79	7,51	4,76	1,54	0,67	4,45	0,05
ÇİN YAK 2-3	56,91	23,25	2,70	5,44	1,04	0,64	6,59	0,08
ÇİN YAK 2-6	57,42	21,84	3,83	4,85	1,66	0,51	5,80	0,12
ÇİN YAK 3-2	57,05	21,87	6,04	3,83	1,56	0,51	5,71	0,12
ÇİN YAK 3-4	48,78	30,22	3,42	6,41	1,17	0,60	6,02	
KAL-1-1	50,28	37,37	3,98	3,09	0,78	0,30	1,05	0,04
KAL-1-2	48,35	38,36	5,00	3,13	0,86	0,27	0,81	0,04
KAL-1-3	48,23	37,67	5,35	3,32	0,86	0,37	1,24	
KAL-1-4	47,10	36,55	6,50	4,20	0,91	0,30	1,35	
KAL-1-5	33,87	17,44	16,83	9,83	11,76	2,51	4,20	0,23
KAL-1-6	44,15	27,00	5,44	7,48	1,68	1,19	8,88	0,15
KAL-2-1	49,77	36,08	4,90	3,62	0,87	0,29	1,49	
KAL-2-2	48,86	35,20	5,84	3,85	1,05	0,38	1,48	
KAL-2-3	49,91	35,66	4,77	3,60	0,91	0,35	1,50	
KAL-2-4	49,77	35,57	5,05	3,69	0,94	0,30	1,54	0,03
KAL-2-5	34,00	12,86	22,01	4,60	16,60	3,69	3,10	0,21
KAL-2-6	31,19	20,67	27,51	4,58	3,55	2,36	6,15	0,12
KAL-3-1	47,07	33,66	6,86	3,30	3,00	0,53	2,41	0,03
KAL-3-2	45,99	32,30	7,98	2,89	4,22	0,63	2,63	
KAL-3-3	49,22	35,87	4,97	3,83	1,03	0,36	1,78	0,03
KAL-3-4	48,50	35,17	6,33	3,72	1,20	0,45	1,82	

Tablo 5.7. (Devamı)

NUMUNE ADI	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	TiO ₂	CaO	MgO	K ₂ O	Na ₂ O
KAL-3-5	34,67	14,44	17,96	7,20	15,71	3,02	3,75	0,20
KAL-3-6	32,74	21,94	25,69	4,60	2,73	2,29	6,43	0,13
KAL-4-1	50,10	37,06	5,08	2,53	1,05	0,29	0,91	0,05
KAL-4-3	45,06	37,48	9,08	3,15	1,02	0,28	1,21	
KAL-4-4	45,96	37,32	8,40	2,85	1,07	0,29	1,11	
KAL-4-5	37,29	18,37	15,41	6,76	11,71	2,62	4,50	0,21
KAL-4-6	26,07	16,54	39,02	2,90	4,01	3,61	4,22	0,14
ÇİT-1	41,65	22,93	22,59	3,68	2,49	0,82	3,04	0,05
ÇİT-3	35,14	22,09	24,42	4,27	5,54	1,02	4,69	
ÇİT-4	47,08	27,18	8,63	5,57	1,37	0,68	6,12	0,05
ÇİT-5	42,67	27,92	12,66	4,93	2,04	0,84	5,80	
ÇİT-6	42,67	23,77	16,84	4,94	0,92	0,64	6,70	0,05
ÇİT-8	30,67	19,37	35,27	3,36	3,85	0,73	3,80	0,07
ÇİT-9	43,48	26,28	12,48	5,85	0,91	0,82	6,83	0,03
GM-2	36,15	23,38	15,40	5,74	7,16	0,97	5,62	0,06
GM-3	39,14	26,57	16,08	6,37	2,50	0,89	5,17	
GM-4	45,34	30,41	3,28	7,02	1,07	0,69	8,36	0,05
GM-6	44,89	28,01	6,73	6,80	1,19	0,78	7,67	0,02
GM-7	41,49	25,25	17,40	5,20	0,72	0,81	5,93	0,08
1.Numune Küre Akcaalan	27,71	17,78	33,46	6,76	4,35	3,02	3,64	0,08
1.Sondaj	31,71	19,95	25,88	8,38	3,57	2,17	4,74	0,12
2.Numune ÇALTI-AKÇALAN-2	59,34	28,18	0,93	3,03	0,79	0,25	3,21	
KOÇ-1	51,94	30,16	2,07	4,91	0,98	0,42	5,77	

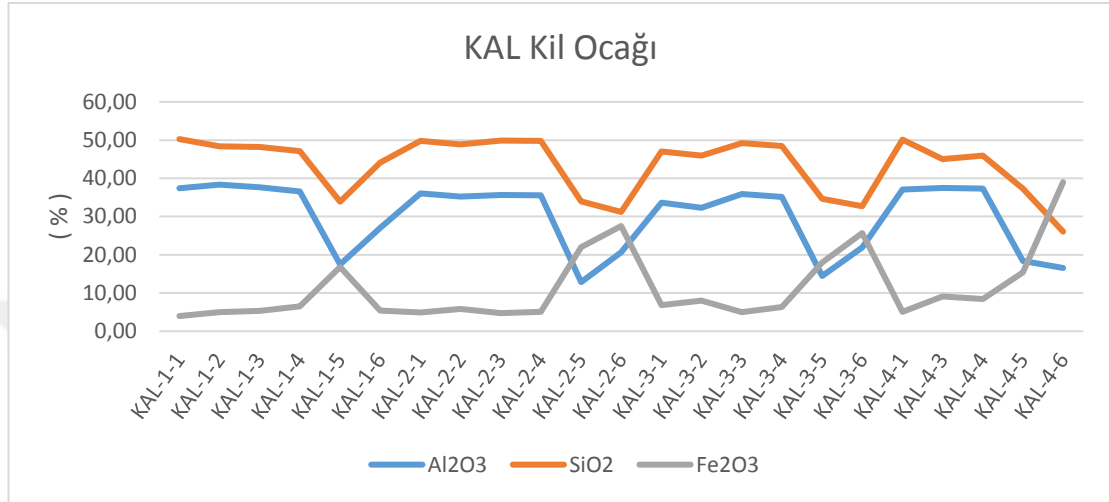
Numunelere ait bulgular her ocak için ayrı ayrı düzenlenerek, grafikler ve haritalar üzerine aktarılmıştır. Ocaklara ait bulgular aşağıdaki şekilde düzenlenmiş ve değerlendirilmiştir.

5.4.1. KAL Ocağı Xrf Bulguları



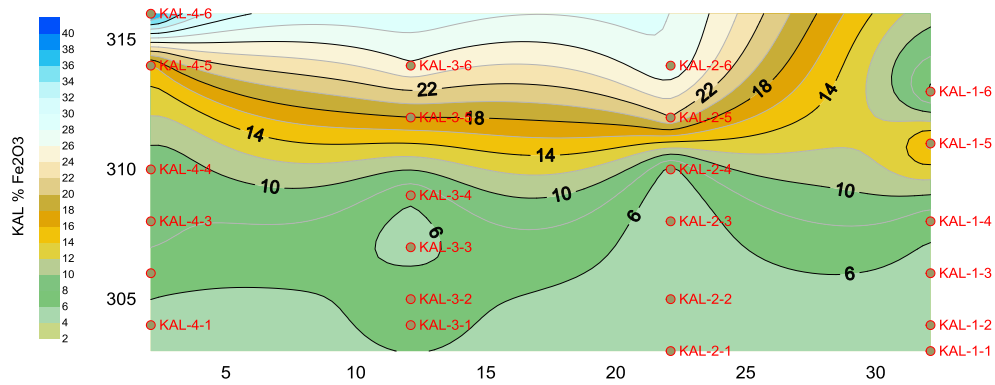
Resim 5.2. Küre KAL Ocağı Görüntüsü ve Profiller

Küre Avdan bölgesi KAL ocağı ocak aynası üzerine alınan 4 profil boyunca 23 numune alınmıştır. Ocağın altından üstüne doğru artan şekilde numaralandırma verilmiş ve profiller görsel üzerine işlenmiştir. KAL kil ocağı için 4 profile ait SiO_2 , Al_2O_3 ve Fe_2O_3 (%) değerleri aşağıdaki Grafik 5.3.'de verilmiştir.



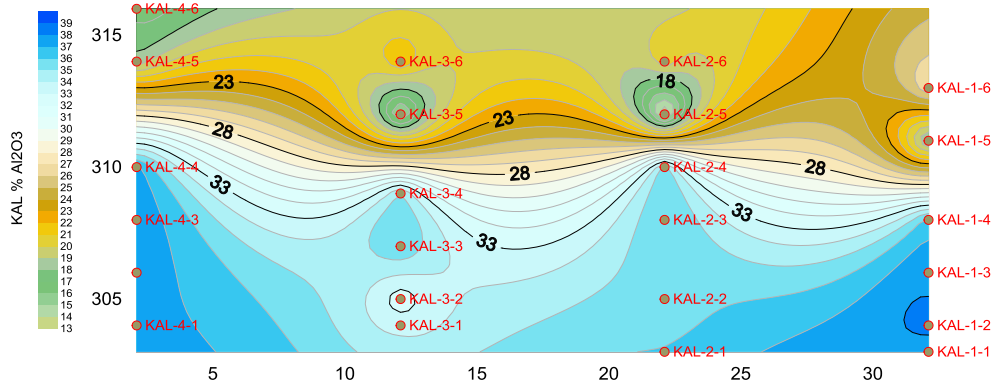
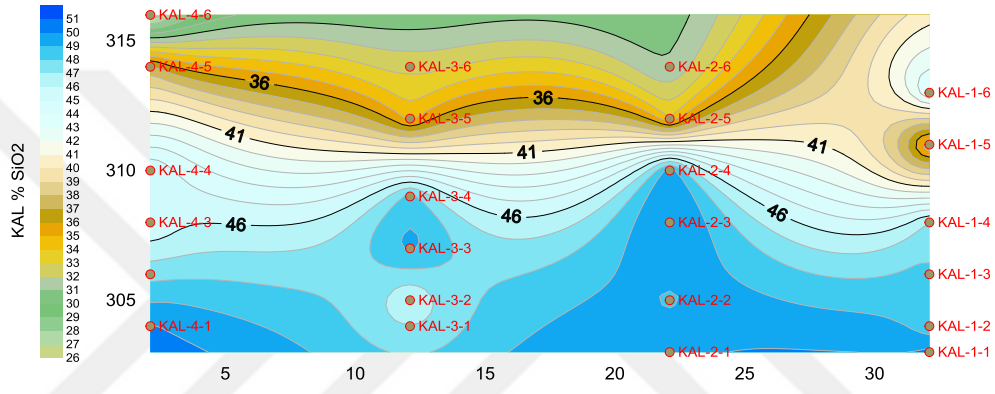
Grafik 5.3. Tüm KAL ocağı Al_2O_3 - SiO_2 - Fe_2O_3 Grafiği

Ocağın yeryüzüne yaklaşan üst kısmındaki numunelerin Grafik 5.3.'de görüldüğü gibi Fe_2O_3 (demir oksit) değerleri arttığı, Al_2O_3 - SiO_2 değerlerinin azaldığı görülmektedir.



Harita 5.1. KAL ocağı % Fe_2O_3 dağılımı

Ocağın alt kısımlarına inildikçe Fe_2O_3 (demir oksit) değerlerinin azaldığı ve Al_2O_3 ve SiO_2 değerlerinin arttığı görülmektedir. Demir oksit oranının yüksek olması killerin pişme renklerinin kahverengi-kızıl renk almalarına neden olmaktadır.

Harita 5.2. KAL ocağı % Al_2O_3 dağılımıHarita 5.3. KAL ocağı % SiO_2 dağılımı

Harita 5.2.'de ve Harita 5.3.'de görüldüğü gibi Al_2O_3 ve SiO_2 değerlerinin ocağın aynı yükseklik seviyelerinde devam etmesi buradaki numunelerin aynı tabakaya ait olduklarını ve aynı karakterde kil olarak devam ettiklerini göstermektedir.

Yapılan kesit haritalama işleminde Harita 5.2.'de Al_2O_3 değerinin ocağın alt kısımlarda arttığı yine Harita 5.3.'de SiO_2 değerinin de benzer şekilde arttığı görülmektedir. Bu durum her katmandan çıkarılan hammaddenin ocak açısından hangi endüstride kullanılacağına belirlenmesinde önemli bir rol oynamaktadır.

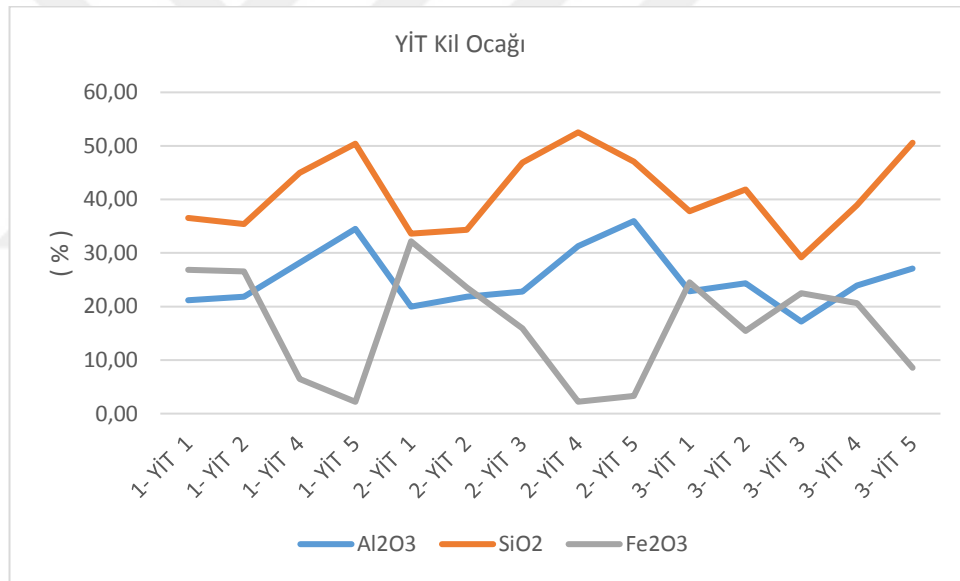
5.4.2. YİT ocağı xrf bulguları

Yakacık YİT ocağı ocak aynası üzerinde 3 profil boyunca 14 adet numune alınmıştır. Numaralandırma ocağın altından üstüne doğru azalan şekilde verilmiş ve profiller

görsel üzerine işlenmiştir. YİT kil ocağı için 3 profile ait SiO_2 , Al_2O_3 ve Fe_2O_3 (%) değerleri aşağıdaki Grafik 5.4.'de verilmiştir.

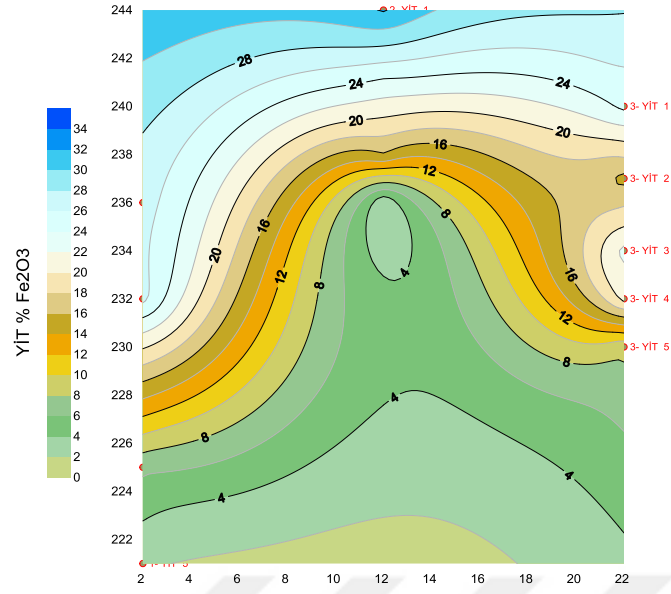


Resim 5.3. YİT Ocağı Görüntüsü ve Profiller



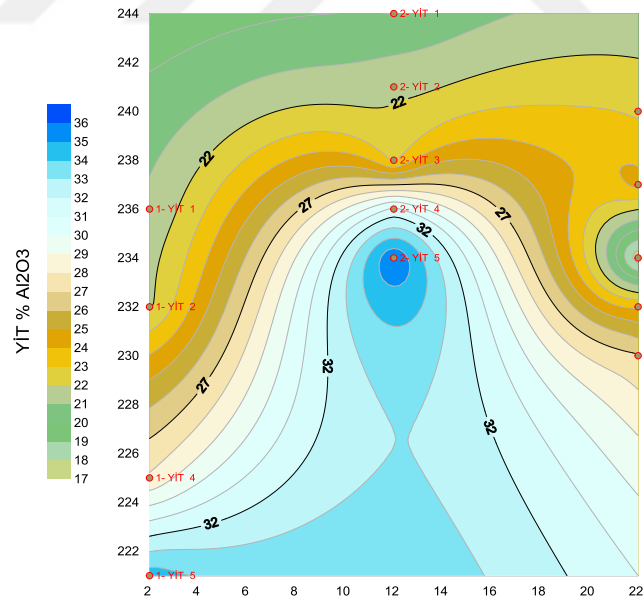
Grafik 5.4. YİT ocağı Al_2O_3 - SiO_2 - Fe_2O_3 Grafiği

Ocağın üst kısmındaki numunelerin Harita 5.4.'de görüldüğü gibi Fe_2O_3 (demir oksit) değerlerinin arttığı, Harita 5.5. ve Harita 5.6.'da görüldüğü gibi Al_2O_3 - SiO_2 değerlerinin ise azaldığı görülmektedir.

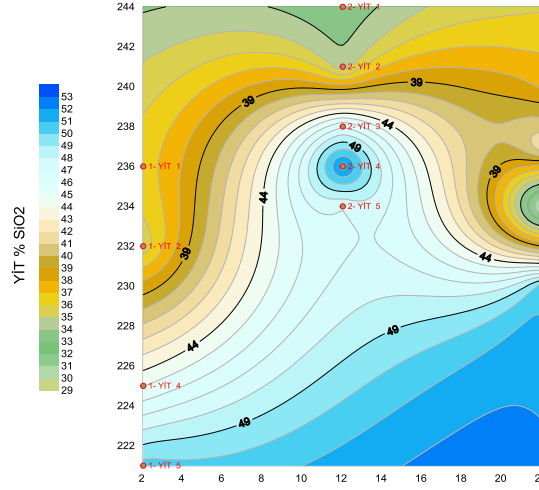


Harita 5.4. YIT ocağı % Fe₂O₃ dağılımı

Ocağın alt kısımlarına doğru ise Fe₂O₃ (demir oksit) değerlerinin azaldığı ve Al₂O₃ ve SiO₂ değerlerinin arttığı görülmektedir. Bu durum killerin pişme renginde etkili olacağı dikkate alınmalıdır.



Harita 5.5. YIT ocağı % Al₂O₃ dağılımı

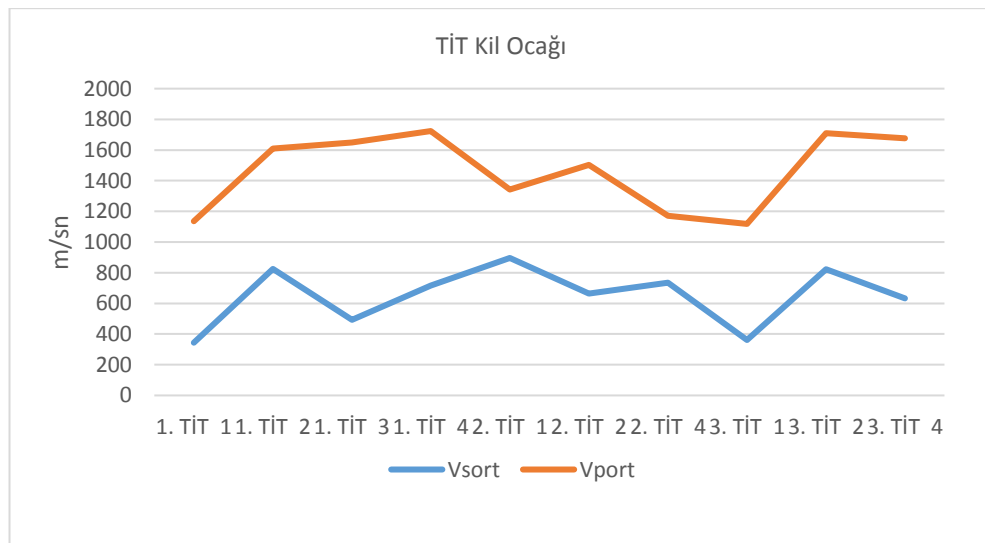


Harita 5.6. YIT ocağı % SiO₂ dağılımı

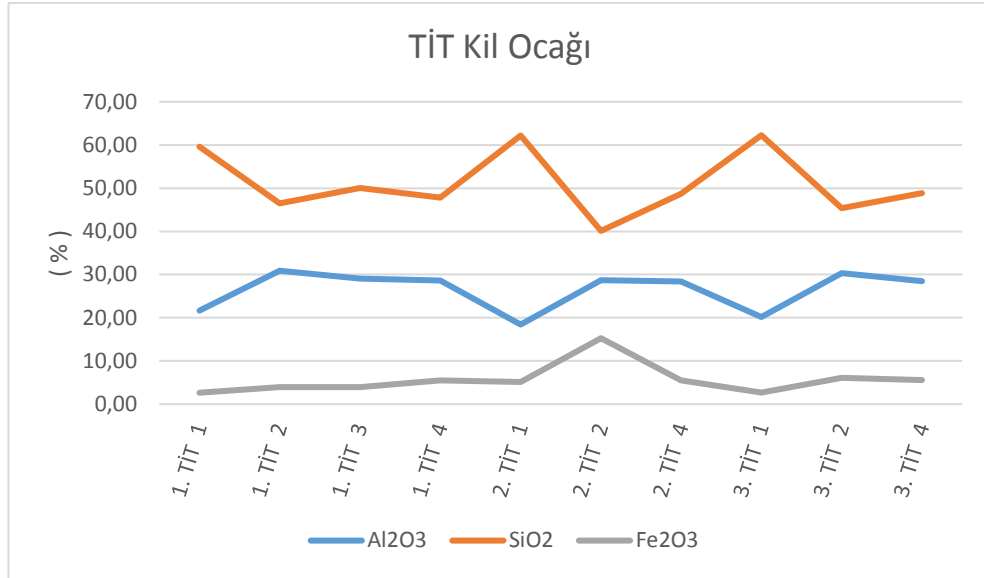
Harita 5.5. ve Harita 5.6.'da YİT ocağına ait Al₂O₃ ve SiO₂ değerlerinin YİT-1 ve YİT-2 profillerinin olduğu orta alanda dikkate değer artış gözlenmiş, bu artışın nedeni ise ocağın tabaka yapısından dolayı olduğunu göstermektedir.

5.4.3. TİT ocağı xrf bulguları

İnhisar Tilki Tepe mevki TİT ocağı ocak aynası üzerinden 3 profil boyunca 10 numune alınmıştır. Numaralandırma ocağın altından üstüne doğru azalan şekilde verilmiş ve profiller görsel üzerine işlenmiştir. TİT kil ocağı için 3 profile ait SiO₂, Al₂O₃ ve Fe₂O₃ (%) değerleri aşağıdaki Grafik 5.6.'da verilmiştir.

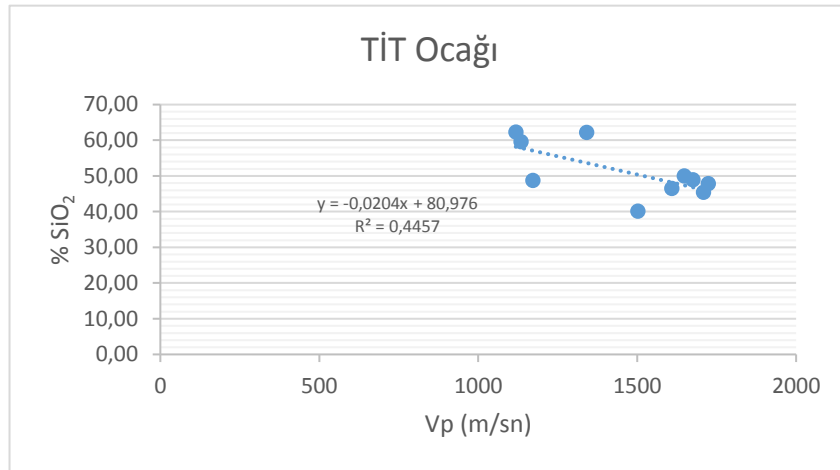


Grafik 5.5. TIT ocağı Vp-Vs Grafiği



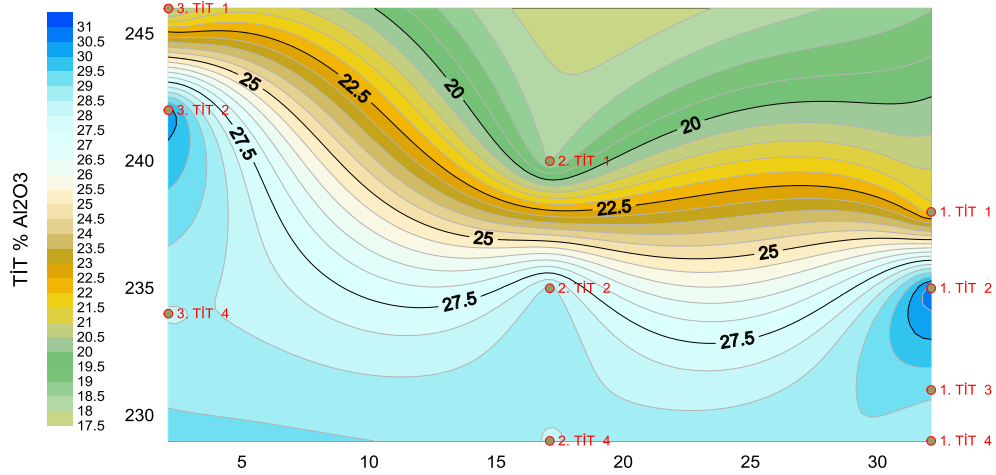
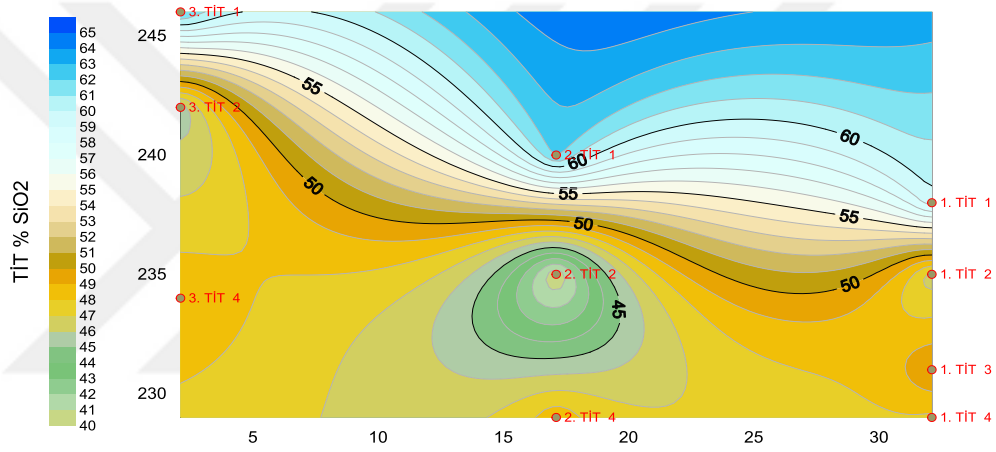
Grafik 5.6. TİT ocağı Al₂O₃-SiO₂-Fe₂O₃ Grafiği

Grafik 5.5.'deki sismik hızlar ile Grafik 5.6.'deki kimyasal sonuçlara dikkat edildiğinde Vp hızlarının arttığı bölgelerde SiO₂ değerlerinin düştüğü görülmektedir. Bu değerler arasında ilişki incelendiğinde ise Vp hızları ile SiO₂ değerleri arasında ters bir ilişki varlığı görülmektedir.

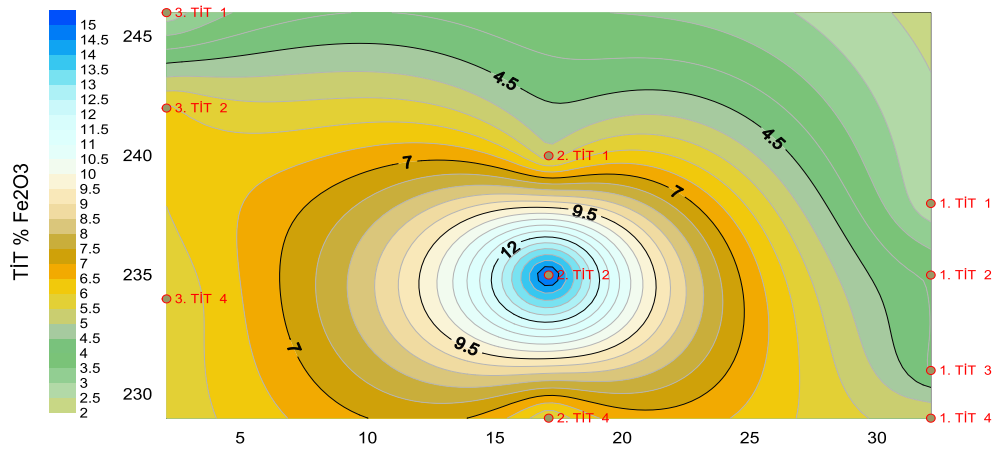


Grafik 5.7. TİT ocağı Vp hızı-SiO₂ ilişkisi

Grafik 5.7.'de bu yapılan doğrusal regresyon işleminde ters yönde orta şiddette ilişki varlığı tespit edilmiştir.

Harita 5.7. TIT ocağı % Al₂O₃ dağılımıHarita 5.8. TIT ocağı % SiO₂ dağılımı

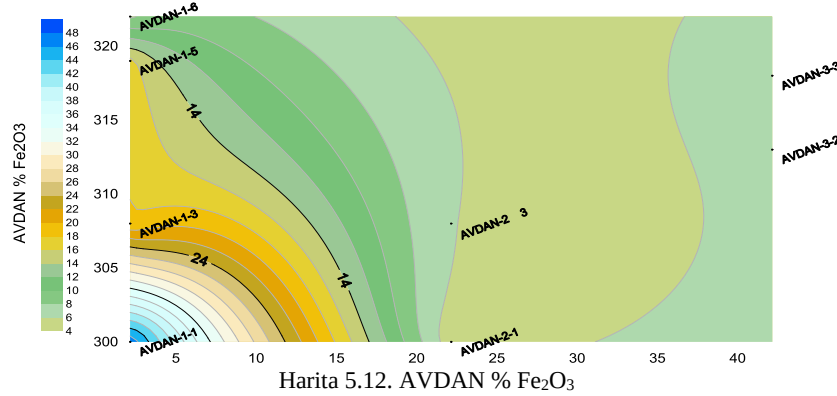
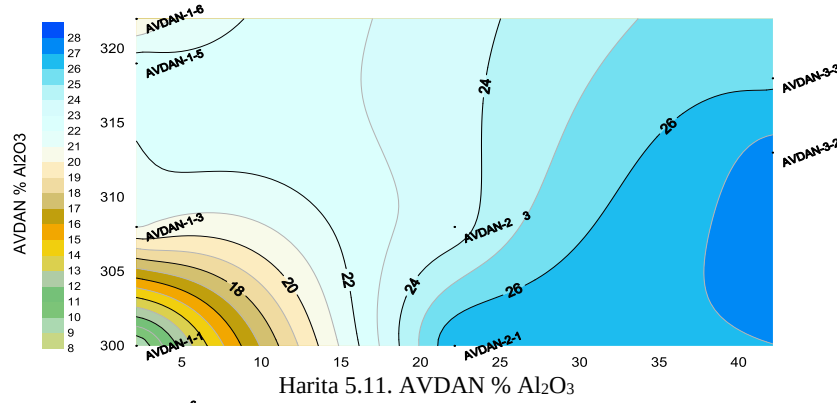
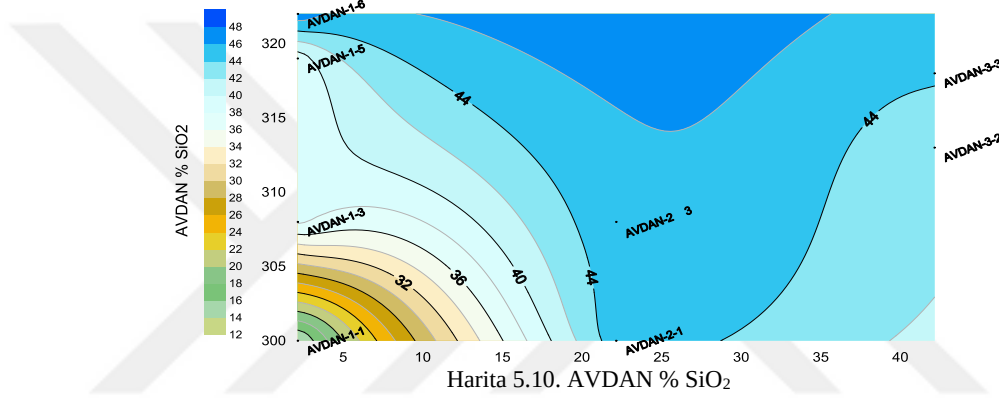
Harita 5.7.'de ocağın alt kısımlarına inildikçe Al₂O₃ değerlerinin arttığı ve Harita 5.8.'de SiO₂ değerlerinde azaldığı görülmektedir. SiO₂ değerlerindeki azalma özellikle kildeki kum miktarının ve serbest kuvars içeriğinin azalmasının sonucudur.

Harita 5.9. TIT % Fe₂O₃ dağılımı

2-TİT profilinde Fe_2O_3 değerinin Harita 5.9.'da görüldüğü üzere 2-TİT-2 numunesine en yüksek değere ulaştığı belirlenmiştir. Bu ocaktaki kil numunelerinde üst tabakalardaki killerin Fe_2O_3 (demir oksit) ve Al_2O_3 değerlerinin azalmasının SiO_2 miktarını arttırdığı görülmektedir.

5.4.4. Avdan ocağı xrf bulguları

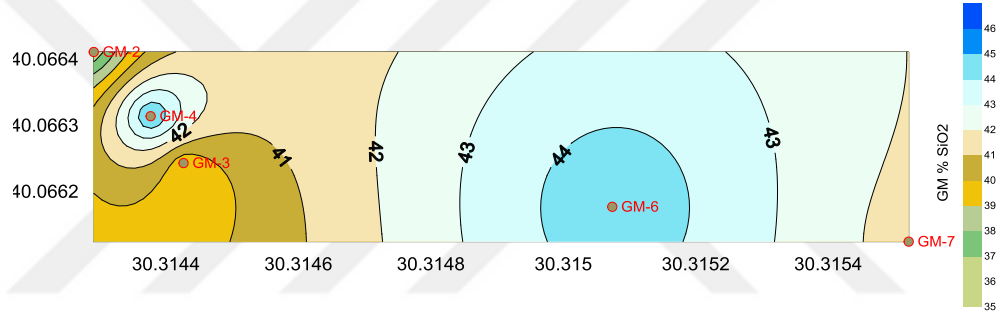
Küre Avdan ocağından 8 numune alınmıştır. Ocaktan alınan numuneler altından üstüne doğru azalan şekilde numaralandırılarak profiller görsel üzerine işlenmiştir.



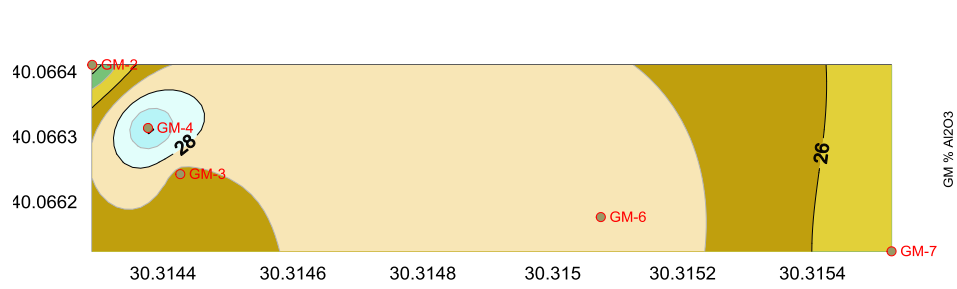
Avdan 1–1 ve Avdan 1–3 numunelerinin bulunduğu konumda Fe_2O_3 (demir oksit) değerlerinin oldukça yüksek olduğu görülmektedir. Avdan 3–2 ve Avdan 3–3 numuneleri bu ocakta Al_2O_3 açısından en zengin olan numunelerdir. Fakat alınan numuneler içinde %6–8 gibi yüksek Fe_2O_3 (demir oksit) değerleri görülmektedir.

5.4.5. GM ocağı xrf bulguları

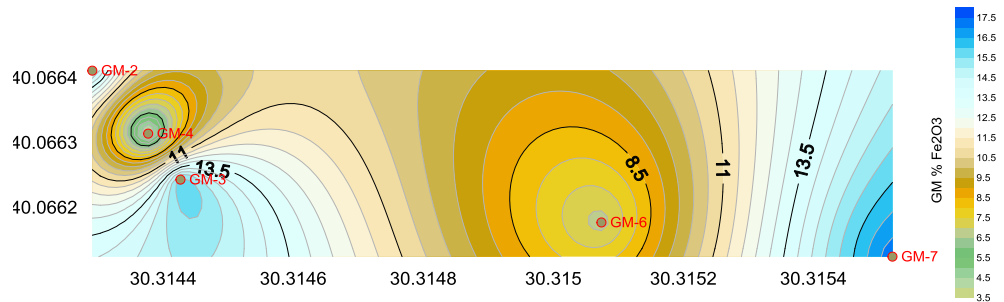
Yakacık GM ocağında farklı noktalardan alınan 5 adet numune alınmıştır. Numuneler ocağın farklı derinlik ve koordinatlarından alınarak bu ocakta profil kesit uygulanmamıştır. Ölçümü yapılan numunelere ait SiO_2 , Al_2O_3 ve Fe_2O_3 (%) değerleri aşağıdaki haritalara aktarılmıştır.



Harita 5.13. GM % SiO_2 dağılımı



Harita 5.14. GM % Al_2O_3 dağılımı

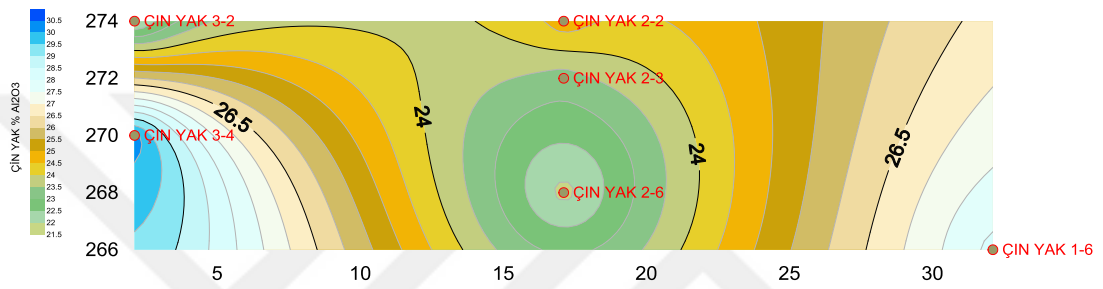


Harita 5.15. GM % Fe_2O_3 dağılımı

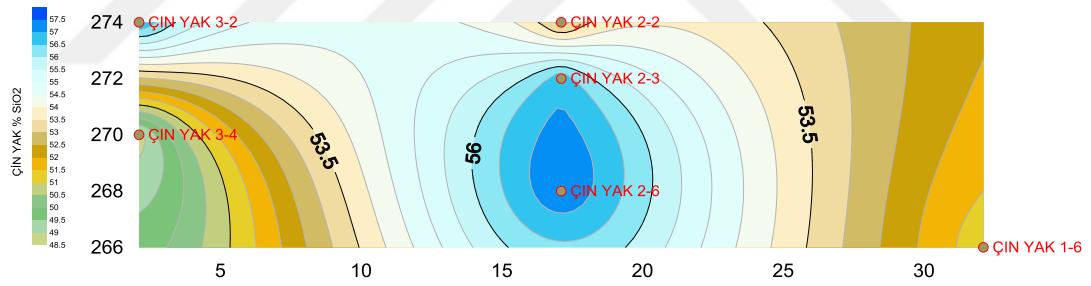
Yakacık GM ocağındaki haritalar incelendiğinde Fe_2O_3 (demir oksit) değerlerin azaldığı ve Al_2O_3 değerlerinin yüksek olduğu GM-4 ve GM-6 numunelerinin bulunduğu lokasyonlar dikkat çekmektedir.

5.4.6. Çin Yak ocağı xrf bulguları

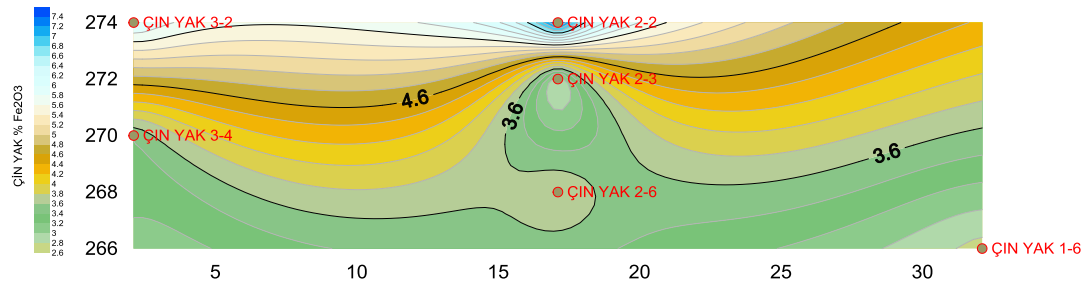
İnhisar Sakızbeli Çin Yak ocağından alınan ve ölçümleri yapılabilen 6 numuneye ait haritalar 3 profil şeklinde aşağıda verilmiştir.



Harita 5.16. Çin Yak % Al_2O_3 dağılımı



Harita 5.17. Çin Yak % SiO_2 dağılımı



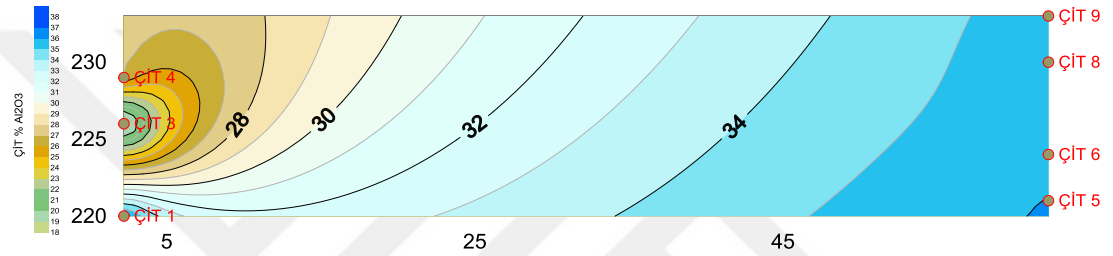
Harita 5.18. Çin Yak % Fe_2O_3 dağılımı

Harita 5.18.'de ocağın at seviyelerindeki Fe_2O_3 değerlerinin düşük olduğu 4 adet numune görülmektedir. Bunlardan Çin Yak 2-3 ve Çin Yak 2-6 numuneleri Harita

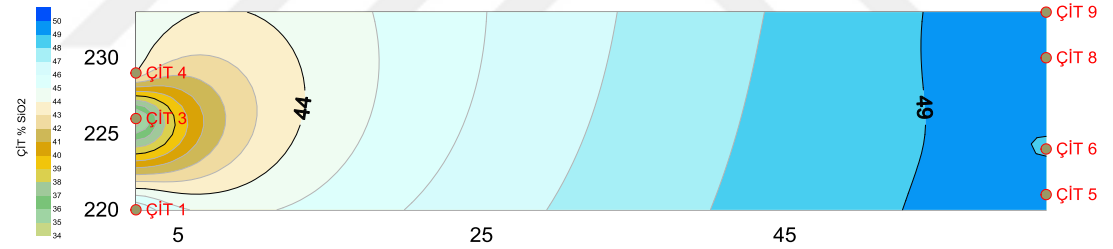
5.16.'da görüldüğü gibi düşük Al_2O_3 değerlerine sahiptir. Fakat diğer numunelerden Çin Yak 1–6 ve Çin Yak 3–4 numunelerinin daha yüksek Al_2O_3 değerlerine sahip olduğu görülmektedir.

5.4.7. ÇİT ocağı xrf bulguları

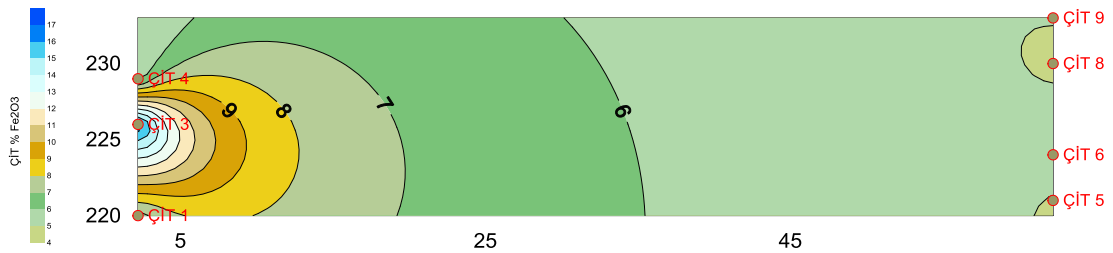
Yakacık ÇİT ocağında alınan ölçümleri yapılabilen 7 numuneye ait haritalar 2 profil şeklinde aşağıda verilmiştir. Ölçümü yapılan numunelere ait SiO_2 , Al_2O_3 ve Fe_2O_3 (%) değerleri aşağıdaki haritalara aktarılmıştır.



Harita 5.19. ÇİT % Al_2O_3 dağılımı



Harita 5.20. ÇİT % SiO_2 dağılımı



Harita 5.21. ÇİT % Fe_2O_3 dağılımı

ÇİT ocağında Harita 5.21.'de görüldüğü Fe_2O_3 değerlerinin düşük olduğu numunelerin ÇİT 5–6–8–9 olduğu görülmektedir. Yine bu numuneler Harita 5.19.'da yüksek Al_2O_3

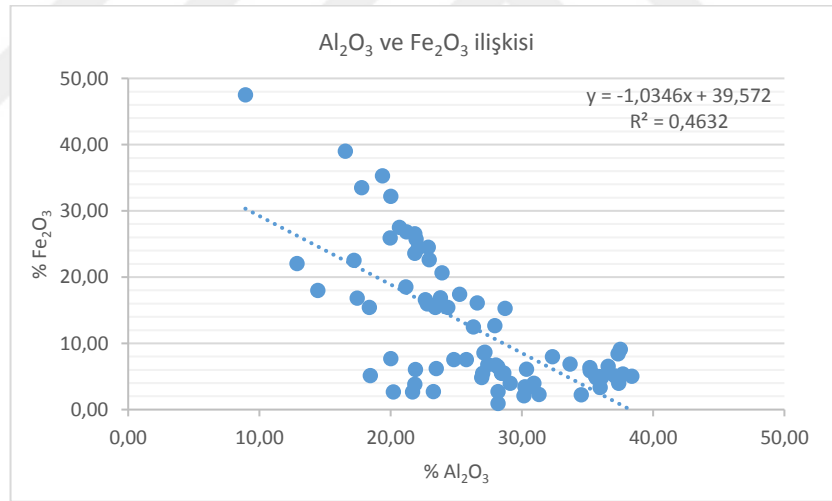
değeri vermektedir. Aynı zamanda Harita 5.20.'de yüksek SiO₂ değerlerine sahip olmaları da dikkate alınmalıdır.

5.4.8. KOÇ ocağı xrf bulguları

Bu ocakta 5 adet numune alınmasına rağmen, ultrasonik ses hızları ölçümleri sırasında numunelerden sadece tek bir numune üzerinden alınan bulgu edinilmiştir. Bu durumdan dolayı da bu numuneye ait xrf sonucu %51 SiO₂, %36 Al₂O₃ ve % Fe₂O₃ içeriği tespit edilmiştir.

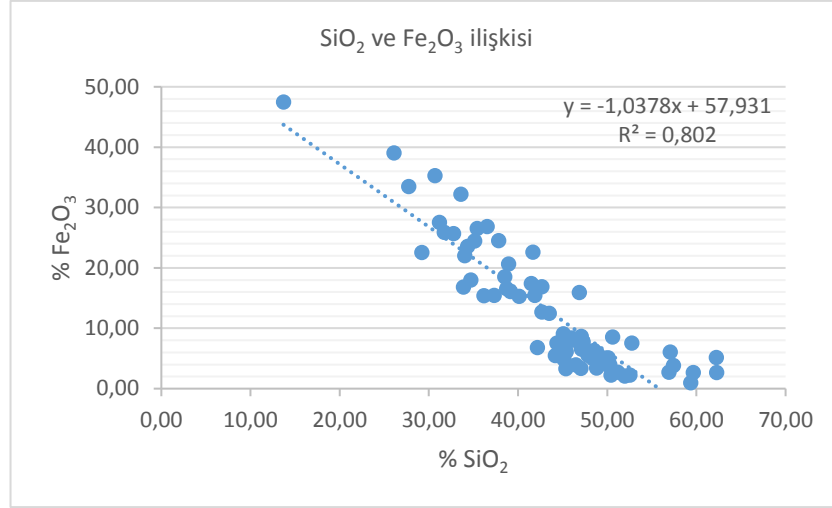
5.4.9. Tüm numunelerin doğrusal regresyon bulguları

Tüm numunelere ait % SiO₂, % Al₂O₃ ve % Fe₂O₃ içerikleri bakımından doğrusal ilişkilendirme grafikleri aşağıdaki verilmiştir.



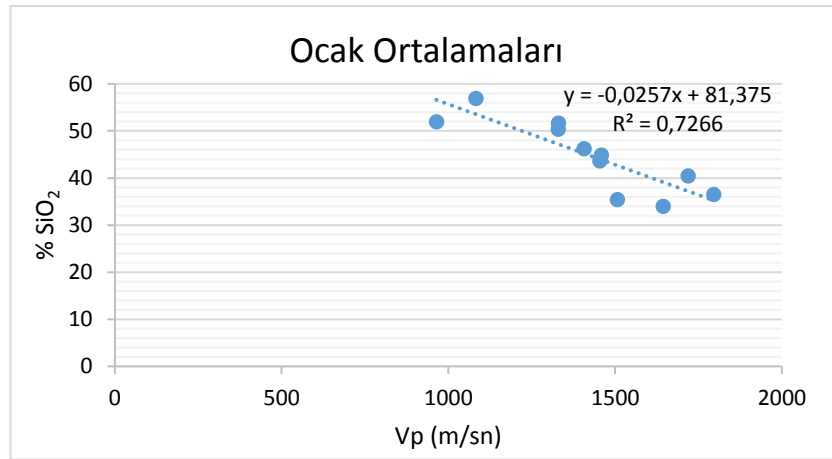
Grafik 5.8. Al₂O₃ ve Fe₂O₃ ilişkisi.

Numunelerin Al₂O₃ ve Fe₂O₃ ilişkisi Grafik 5.8.'de incelendiğinde Al₂O₃ artışında Fe₂O₃ değerlerinin azaldığı görülmektedir.

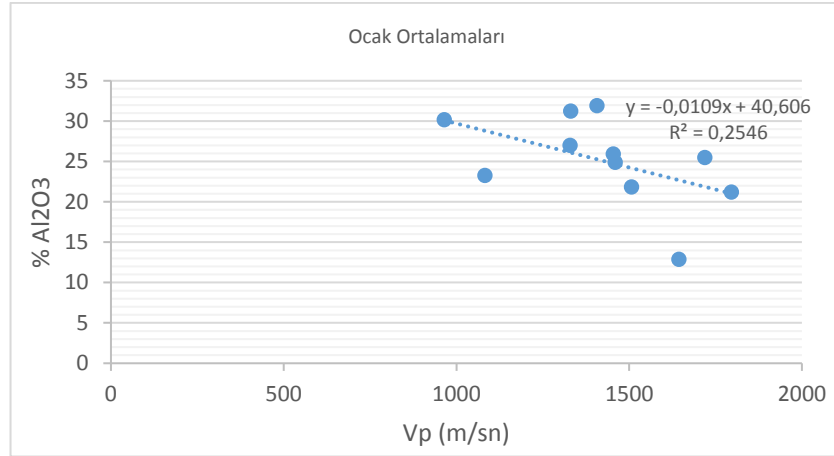
Grafik 5.9. SiO₂ ve Fe₂O₃ ilişkisi

Numunelerin SiO₂ ve Fe₂O₃ ilişkisi Grafik 5.9.'da incelendiğinde SiO₂ artışında yine Fe₂O₃ değerlerinin azaldığı görülmektedir.

Ocaklara ait Vp hızı, Vs hızı, SiO₂, Al₂O₃ ve Fe₂O₃ oranı değerlerinin ortalamaları alınarak yapılan ilişkilendirme ise aşağıdaki grafikler ile verilmiştir.

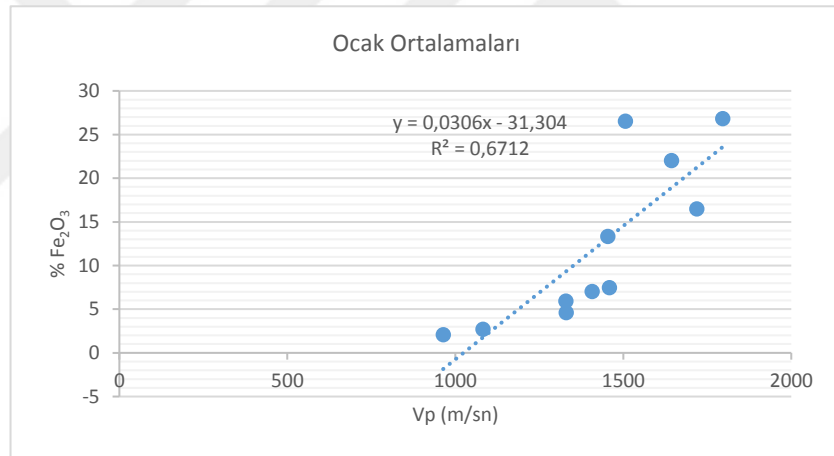
Grafik 5.10. Ocaklara ait verilerin ortalamalarına göre Vp ile % SiO₂ ilişkisi

Ölçümü yapılan örneklerde her ocağın Vp hızı, SiO₂, Al₂O₃ ve Fe₂O₃ değerlerinin ortalamaları alınarak ocaklara ait değerler olarak atanmıştır. Elde edilen veriler ile Grafik 5.10. değerlendirme yapıldığında ise Vp hızları ile SiO₂ oranları arasında ters yönde kuvvetli bir ilişki tespit edilmiştir.



Grafik 5.11. Ocaklara ait verilerin ortalamalarına göre Vp ile % Al₂O₃ ilişkisi

Vp hızları ile Al₂O₃ oranları arasında ise ters yönde orta şiddetli bir ilişki tespit edilmiştir.



Grafik 5.12. Ocaklara ait verilerin ortalamalarına göre Vp ile % Fe₂O₃ ilişkisi

Vp hızları ile Fe₂O₃ oranları arasında ise aynı yönde ve kuvvetli bir ilişki tespit edilmiştir. Fakat çalışma sahasına ait elde edilen verilerdeki Vs hızları ile SiO₂, Al₂O₃ ve Fe₂O₃ içerikleri arasında anlamlı bir ilişki bulunamamıştır.

BÖLÜM 6. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada Bilecik ili Söğüt ilçesi bölgesindeki 8 farklı ocaktan alınan 77 numunenin ultrasonik ses hızları ve XRF kimyasal analizleri yapılmış, her ocaktan alınan birer numune üzerinde likit limit, plastik limit ve plastisite indisleri belirlenmiş ve bu parametreler ile istatistiksel bir ilişki olup olmadıkları araştırılmıştır. Elde edilen bilgiler ışığında Söğüt ve civarındaki kil mineralleri için mühendislik özellikleri açısından incelenip endüstriyel kullanım alanları açıdan sonuçlar belirlenmeye çalışılmıştır.

Yapılan literatür çalışmasında kil ve kaolin grubu minerallerin hangi endüstri alanlarında kullanılabilir olduğunu belirleyen en önemli etmen kimyasal ve fiziksel özellikleridir. Kağıt endüstrisinde kaplama ve dolgu, seramik, boya, lastik ve diğer kullanım alanlarında beyazlık-parlaklık, aşındırma, tane boyu, dağılımı, pişme rengi ve şekli gibi fiziksel özellikleri öne çıkmaktadır.

Çalışmada kullanılan numunelerin likit limitleri 28–78, plastik limit 16–32 ve plastisite indisleri 10–46 aralığında değişmektedir. Plastisite bulguları açısından alınan numuneler incelendiğinde bölgedeki killerin düşük plastisite değerlerine sahip olduğu sonuçları elde edilmiştir. Bu neticeler doğrultusunda özellikle vitrifiye sektöründe yüksek plastisiteli killerin şekillendirmeye olumlu etkisinin olduğu düşünüldüğünde, Söğüt bölgesindeki çalışmada incelenen kil numunelerinin vitrifiye sektörü açısından uygun olmadığı sonucuna varılmıştır. Aynı zamanda, kağıt sanayisi açısından plastisite değerinin killerde bağlayıcılığı arttırmasından dolayı bölgede incelenen kil numunelerinin kağıt sektörü açısından da kullanılabilir olmayacağı düşünülmektedir.

Kaolin tipi mineraller için $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ oranı önemli bir göstergedir. Bu oran iyi kaolin veya kaolinit killlerinde yaklaşık 2/1 olup, diğerlerinde ise 3/1'dir. Kimyasal analiz

içeriği seramiğin çeşitli kullanım alanlarında demir içeriğinin çok düşük olması veya bazı refrakterlerde alüminyum içeriğinin belirli bir yüzdenin üstünde olması gerektiği hallerde önem kazanmaktadır.

Alınan kil numune örneklerinin içerdikleri % Al_2O_3 değerleri dikkate alındığında Tablo 5.7.'de verilen değerler açısından görülmüştür ki 74 adet örneğin Al_2O_3 oranı %16 değerinin üzerindedir. Bu sonuçlar alınan numunelerin fayans, karo, porselen, sıhhi tesisat, glazür, elektro porselen gibi endüstriyel ürün üretimlerinde kullanılabilir.

Tablo 6.1. Fe_2O_3 içeriği < % 3 olan Kil Numuneler

NUMUNE ADI	% SiO_2	% Al_2O_3	% Fe_2O_3
1 YIT-5	50,41	34,51	2,21
2-YIT-4	52,53	31,28	2,24
1-TIT-1	59,63	21,65	2,64
3-TIT-1	62,27	20,20	2,67
ÇİN YAK 1-6	51,16	28,16	2,72
ÇİN YAK 2-3	56,91	23,25	2,70
ÇALTI-AKÇALAN-2	59,34	28,18	0,93
KOÇ-1	51,94	30,16	2,07

Fakat numunelerin % Fe_2O_3 içeriğinin fazlalığı bu killerin demir oksit değerleri dikkate alındığında kalitelerinin düşük olması anlamına gelir. Yukarıdaki Tablo 6.1.'de Fe_2O_3 içeriği %3 den küçük olan numunelerin isimleri verilmiştir.

Bu ocaklardaki killerin porselen, sıhhi tesisat, glazür, elektro porselen gibi seramik endüstrisinde belirli oranlarda kullanımına olanak sağlayacaktır. Kimyasal içeriği daha zengin olan killer ile karıştırılarak kullanımı daha uygun olacaktır.

Kil grubu minerallerin endüstriyel alanlarda kullanımı sırasında demir içeriği belirli miktarlarda olası istenir. Bölgede alınan numunelerin demir içeriğinin fazlalığı bu yüzden kullanım alanlarını kısıtlamaktadır. Demir miktarının fiziksel, kimyasal ve biyolojik yöntemlerle azaltılması durumunda boya, çimento, kağıt, plastik sanayilerinde kullanım olanağını artabilir.

Tüm ocaklara ait ortalama Vp hızları ve ortalama % SiO_2 değerleri üzerinden doğrusal regresyon işleminde Vp ile SiO_2 arasında ters yönde şiddetli bir ilişki vardır. Tüm

ocaklara ait ortalama V_p hızları ve ortalama % Al_2O_3 değerleri üzerinden doğrusal regresyon işleminde ise V_p ile Al_2O_3 arasında ters yönde düşük şiddetli bir ilişki vardır. Bu durum kil ocaklarının genişletilmesi sırasında ya da açılacak yeni ocak alanlarının belirlenmesi sırasında yapılabilecek jeofizik araştırmalar sırasında özellikle V_p dalga hızı verilerinden elde edilen değerleri kullanarak ocağın ekonomik boyutunun belirlenmesinde faydalı sağlayacaktır.

Bu araştırma Bilecik ili Söğüt ilçesi civarındaki killerin endüstriyel açıdan kullanımlarını belirlemek amacı ile yapılmıştır. İnceleme neticesinde numuneler üzerinde ultrasonik ses hız ölçümleri, XRF analizi ve plastisite ölçümleri yapılmıştır. Ultrasonik ses hızı sonucu V_p ve V_s değerleri alınan numunelerin kil grubu hammadde oldukları, plastisite değerlerine göre düşük plastisiteli, XRF analiz sonuçlarına göre ise alümina açısından zengin, fakat demir miktarlarının yüksek oldukları belirlenmiştir. Bu bölge killерinin refrakter ve seramik sanayileri hammaddesi olarak kullanımına uygun oldukları sonucuna varılmıştır.

İnceleme alanı olarak seçilen Söğüt bölgesi kil ocaklarından çıkarılan hammaddelerin zenginleştirme işlemleri uygulanarak, ekonomik değerlerinin arttırılabileceği, bu sayede ise çimento, kağıt, glazür, elektro porselen üretimi gibi farklı sektörlerde kullanım olanaklarına sahip olacakları düşünölmektedir.

KAYNAKÇA

- [1] A. M. Kalyoncuoğlu, Ü. Özkan ve İ. Atakan, «İnhisar-Yakacık-Çaltı-Küre-Yeniköy Köyleri (Bilecik-Söğüt) Dolaylarının Refrakter Kil ve Kaolen Aramaları Ara Raporu,» MTA, Ankara, 1977.
- [2] M. Yılmaz, M. Özakan, Ö. Kurt, C. Vardar ve A. Kolaç, «2008 YILI Bilecik İli Çevre Durum Raporu,» T.C. Bilecik Valiliği İl Çevre ve Orman Müdürlüğü, 2008.
- [3] H. Gençoğlu, Yeniköy-Küre-Çaltı (Bilecik Söğüt) yöresi Neojen baseninin Sedimanter, Jeolojik ve Mineralojik-Hidrofik İncelemesi, Beytepe-Ankara: H.Ü (yayınlanmamış Yüksek lisans tezi), 1988.
- [4] A. Sözbilen, *Söğüt Bölgesi Kil Yataklarının Jeolojisi ve Teknolojik Özellikleri*, Eskişehir: Anadolu Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü (Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi), 1992.
- [5] Ö. Kayadibi, D. Aydal ve Y. K. Kadioğlu, «Bilecik-Söğüt Altın Mineralizasyonunun İncelenmesi,» *Türkiye Jeoloji Kurultayı Bülteni*, pp. 252-259, 1994.
- [6] H. Ayaroğlu, «Bozüyük Metamorfitlerinin (Bilecik) Petrokimyasal Özellikleri,» cilt c.22, pp. 101-107, 1979.
- [7] C. Demirkol, «Üzümlü -Tuzaklı (Bilecik) dolayının Jeolojisi,» *Türkiye Jeoloji Kurumu Bülteni*, cilt 20, pp. 9-16, 1977.
- [8] E. Bingöl, B. Akyürek ve B. Korkmazer, «Bıga Yarımadası'nın Jeolojisi ve Karakaya Formasyonu'nun Bazı Özellikleri,» . *Cumhuriyetin 50. Yılı Yerbilimleri Kongresi Bildiriler Kitabı*, pp. 70-77, 1973.
- [9] İ. E. Altınlı, «Bilecik Jurasslığı,» *Cumhuriyetin 50. Yılı Yerbilimleri Kongresi Tebliğleri*, pp. 103-112, 1973.
- [10] K. Şentürk ve C. Karaköse, «Orta Sakarya Bölgesinde Liyas Öncesi Ofiyolitlerin ve Mavişistlerin Oluşumu ve Yerleşmesi,» *Türkiye Jeoloji Kurumu Bülteni*, cilt 24, pp. 1-10, 1981.

- [11] Y. Granit ve H. Tintan, «Observation Preliminaires Sur le Jurassic de la Region de Bilecik Turquie),» *Comptes Rendus Academi Science*, no. 251, pp. 1801-1803, 1960.
- [12] F. Alkaya, «Bilecik Yöresi Lias Ammonit Zonları,» *İstanbul Yerbilimleri*, cilt 2, pp. 297-302, 1981.
- [13] S. O. Eroskay, «Paşalar Boğazı - Gölpazarı Sahasının Jeolojisi,» *İstanbul Üniversitesi Fen Fakültesi Mecmua*, cilt XXX, no. 3-4, pp. 135-170, 1965.
- [14] M. Akyazı, Ö. Toprak, T. Erdoğan, A. Karabaşoğlu ve Ş. T. Ursavaş, «Bilecik Yöresinin Mesozoyik Stratigrafisi,» *Cumhuriyet Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi, Seri A-Yerbilimleri*, cilt 18, no. 1, pp. 27-48, 2001.
- [15] T. Van Andel, «Origin and Classification of Cretaceous, Paleocene and Eocene Sandstone of Western Venezuela,» *American Association of Petroleum Geologists Bulletin*, no. 42, pp. 734-763, 1958.
- [16] R. B. Travis, «Nomenclature for sedimentary rock,» *American Association of Petroleum Geologists Bulletin*, no. 54, pp. 1095-1107, 1970.
- [17] S. Yılmaz, Söğüt Bölgesi Killerinin Zenginleştirilerek Yer ve Duvar Karosu Bünyelerinde Kullanım Olanaklarının Araştırılması, Y. Lisans, Osmangazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 2005 (Yayınlanmamış).
- [18] E. Altınlı, O. Gürpınar ve E. S, «Erenköy-Deresakarı (Bilecik) alanının jeolojisi,» *İstanbul Üniversitesi Fen Fakültesi Mecmuası*, cilt Seri B, no. 77-83, p. 35, 1970.
- [19] N. Orhan, «Osmaneli-Ciciler (Bilecik İli) Alanının Jeoloji İncelemesi,» İstanbul Üniversitesi Fen Fakültesi Tatbiki Jeoloji Kürsüsü Doktora Tezi (Yayınlanmamış), İstanbul, 1972.
- [20] C. Demirkol, *Üzümlü-Tuzaklı (Bilecik ili) dolayının jeolojisi*, İstanbul Üniversitesi Fen Fakültesi . Doktora Tezi Tatbiki Jeoloji Kürsüsü. (Basılmamış doktora tezi), 1973.
- [21] F. Kart, İnhisar-Yakacık-Çaltı-Küre (Söğüt-Bilecik) bölgesindeki pegmatitik ve aplitik granit ve granodiyorit kompleksi ile sedimanter birimlerdeki kaolen yataklarının jeolojisi, mineralojisi, jeokimyası ve kökenlerinin irdelenmesi, Eskişehir: Osmangazi Üniversitesi Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı Yüksel Lisans Tezi (Yayınlanmamış), 2007.
- [22] M. Köksoy, Yakıtlar Jeolojisi, Ankara: Hacettepe Üniversitesi Yayınları, 1985.

- [23] C. K. Wentworth, «A Scale of Grade and Class Terms for Clastic Sediments,» *The Journal of Geology*, no. 30, pp. 377-392, 1922.
- [24] Akıncı, Ö., «Seramik Killeri ve Jeolojisi,» *MTA Dergisi*, no. 71, pp. 63-73, 1968.
- [25] R. E. Grim, «Applied Clay Mineralogy,» M. G. Hill, Dü., New York, 1962.
- [26] M. G. Ateşok, M. S. Eygi ve M. Özer, «Kaolenin, Polimer Kullanımıyla Uygun Fiziksel Özellikte Seramik Hammaddesi Haline Getirilebilirliğinin Araştırılması,» İstanbul, Eylül 2008.
- [27] Ç. Biçerer, *Killerin Pişme Davranışları Yüksek Lisans Tezi (Yayınlanmamış)*, Kütahya: Dumlupınar Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 2008.
- [28] H. H. Tanışan ve Z. Mete, *Seramik Teknolojisi ve Uygulaması, Söğüt BİLECİK: Birlik Matbaası, Şubat 1986.*
- [29] H. Le Chatelier, «De l'action de la chaleur sur les argiles,» *Bulletin de la Soci'et'e Fran,caise de Min'eralogie*, no. 10, pp. 204-207, 1887.
- [30] Ç. Koroğlu, *Ağaçlı-Bolluca (İstanbul) Yöresi Seramik Killerinin Malzeme Özelliklerinin Araştırılması, İstanbul: İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü(Yayınlanmamış), 2007.*
- [31] H. H. Murray ve S. C. Lyons, «Correlation of paper-coating quality with degree of crystal perfection of kaolinite,» %1 içinde *Clays and Clay Minerals*, Pennsylvania, The Pennsylvania State University, 1956, pp. 31-40.
- [32] G. W. Brindley ve K. Robinson, «Randomness in the structures of kaolinitic clay minerals,» %1 içinde *Faraday Soc. Trans.*, 1946, p. 198-205.
- [33] K. J. Range, A. Range ve A. Weiss, «Fire-clay type kaolinite or fire-clay mineral? Experimental classification of kaolinite-halloysite minerals,» %1 içinde *Int. Clay Conf 1969 Tokyo*, Jerusalem, 1969.
- [34] http://echo2.epfl.ch/VICAIRE/mod_3/chapt_1/main.htm. Erişim Tarihi: 02.3. 2019.
- [35] G. Sümer, *Seramik Sanayii El Kitabı*, Eskişehir: Anadolu Üniversitesi Yayınları No: 308, 1988.
- [36] Y. Kibici, *Seramik Hammaddeleri ve Teknolojik Özellikleri*, Afyon Kocatepe Üniversitesi Yayınları, 2002.

- [37] K. Dirik, Fiziksel Jeoloji I, Ders Notları, Magmatik Kayaçlar, 2006.
- [38] M. Yılmaz, *Vitrifiye Sektöründe Kullanılan Seramik Hammaddelerinin Tane Dağılımının Pişirme Öncesi ve Sonrasındaki Mekanik Etkilere Karşı Değişiminin Araştırılması*, İzmir: Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü (Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi), 2003.
- [39] U. Malayoğlu ve A. Akar, «Killerin Sınıflandırmasında ve Kullanım Alanlarının Saptanmasında Aranacak Kriterlerin İrdelenmesi,» %1 içinde *Endüstriyel Hammaddeler Sempozyumu*, İzmir, 1995.
- [40] A. Arcasoy, Seramik Teknolojisi, İstanbul: Marmara Üniversitesi Güzel Sanatlar Fakültesi Yayını, 1985.
- [41] W. Ryan, Properties Of Ceramic Raw Materials 2nd ed., Oxford: Pergamon Press, 1978.
- [42] J. . F. Shackelford ve R. H. Doremus, Ceramic and Glass Materials, Springer, 2008.
- [43] W. E. Worrall, Ceramic Raw Materials, Oxford: Pergamon Press, 1982.
- [44] <http://www.mta.gov.tr/v3.0/bilgi-merkezi/seramik-killer>. Erişim Tarihi: 02.3.2019.
- [45] <http://www.mta.gov.tr/v3.0/bilgi-merkezi/kaolin>. Erişim Tarihi: 02.3.2019.
- [46] T. 5396, «Seramik sanayinde kullanılan kaolen standartları,» 1987.
- [47] http://content.lms.sabis.sakarya.edu.tr/Uploads/66500/26409/04_S%C4%B1n%C4%B1fland%C4%B1rma.pdf. Erişim Tarihi: 01.3.2019.
- [48] <http://www.insaat.com/wp-content/uploads/2013/04/zemin-deneyleri-2.pdf>. Erişim Tarihi: 02.3.2019.
- [49] <https://docplayer.biz.tr/26975330-Insaat-teknolojisi-programi-ogrencileri-icin.html>. Erişim Tarihi: 03.3.2019.
- [50] <http://www.jeogenc.net/likit-limitin-belirlenmesi.html>. Erişim Tarihi: 02.3.2019.
- [51] <http://yebim.ankara.edu.tr/2013/04/25/x-isinlari-floresans-spektrometresi-xrf/>. Erişim Tarihi: 02.3.2019.

- [52] <http://emreyalamac.cbu.edu.tr/wp-content/uploads/2018/05/XRF.pdf>. Erişim Tarihi: 24.2.2019.
- [53] S. Öziçer ve O. Uyanık, «Beton Dayanımının Yerinde P Dalga Hızından Belirlenmesi ve İzmir Örneği,» *SDU International Journal of Technological Science*, pp. 1-16, 2017 Nisan.
- [54] A. E. Babacan, H. Ersoy ve K. Gelişli, «Kayaçların Fiziksel, Mekanik ve Elastik Özelliklerinin Ultrasonik Hız Tekniği ve Zaman-Frekans Analiziyle Belirlenmesi: Bej Kireçtaşları (KD Türkiye) Üzerine Örnek Bir Çalışma,» *Jeoloji Mühendisliği Dergisi*, cilt 1, no. 36, pp. 63-73, 2012.
- [55] A. Zeb, H. Elçi, A. Akgün ve N. Türk, «Agregaların Ses Hızının Ultrasonik Titreşim İletim Tekniği ile Belirlenmesi,» *Yüzüncü Yıl Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi/ Journal of the Institute of Natural & Applied Sciences*, pp. 162-174, 2017 Cilt:22 Sayı:2.
- [56] R. E. Thill ve T. R. Bur, «An automated ultrasonic pulse measurement system,» *Geophysics*, no. 34, pp. 101-105, Thill, R.E., Bur, T.R., 1969. *Geophysics*. 34, 101–105..
- [57] M. R. J. Wyllie, A. R. Gregory ve L. W. Gardner, «Elastic wave velocities in heterogeneous and porous media,» *Geophysics*, no. 21, pp. 41-70, 1956.
- [58] Y. V. Ramana ve B. Venkatanarayana, «Laboratory studies on Kolar rocks,» *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences & Geomechanics Abstracts*, no. 10, pp. 465-489, 1973.
- [59] R. D. Lama ve V. S. Vutukuri, *Handbook on mechanical properties of rocks*, Clausthal: Trans Tech Publications, 1978.
- [60] S. Kahraman, «The Correlations Between the Saturated and Dry P-Wave Velocity of Rocks,» *Ultrasonics*, no. 46, pp. 341-348, 2007.
- [61] K. Karaman, F. Cihangir, B. Erçikdi ve A. Kesimal, «Killi-Karbonatlı Kayaçlarda Numune Uzunluğunun Ultrasonik P-Dalga Hızı Üzerindeki Etkisi,» *Madencilik*, pp. 37-45, 12 2010.
- [62] F. Özçep, S. Karabulut, B. Özgüven ve O. Sanlı, «Tahribatsız Test Yöntemleri ve Ultrasonik Hız Ölçümleri,» *jeofizik Bülteni*, pp. 11-24, 11 2012.
- [63] A. Keçeli ve M. Cevher, «Zemin Hakim Periyodu ve Bina Yüksekliği Rezonans İlişkisi,» *Jeofizik Dergisi*, no. 17, pp. 43-58, 2015.

- [64] A. Keçeli, «Sismik Yöntem İle Zemin Taşıma Kapasitesi ve Oturmasının Saptanması,» *Uygulamalı Yerbilimleri Dergisi*, pp. 23-41, Mayıs-Haziran 2010.
- [65] Ö. Kılıç, E. Kahraman ve A. M. Kılıç, «Kireçtaşı Mermerlerinin Fizikomekanik Özellikleri ile P Dalga Hızı Arasındaki İlişkinin İncelenmesi,» *Çukurova Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, no. 33(2), pp. 9-16, 2018.
- [66] A. Keçeli, «Sismik Hızlara Bağlı Olarak Beton Kalite Sınıflaması ve Oturmasının Saptanması,» *Uygulamalı Yerbilimleri Dergisi*, pp. 23-41, 2010.
- [67] G. Ş. Nomaler, *Kilde Kayma Direnci Parametrelerinin Ölçümünde Numune Boyutlarının Etkisi*, Sakarya: SAKARYA ÜNİVERSİTESİ Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi (Yayımlanmamış), 2016.
- [68] https://www.researchgate.net/figure/Range-of-the-compressional-grey-and-shear-wave-red-velocities-for-commonly-occurring_fig1_321081496. Erişim Tarihi: 28.4.2019.
- [69] «http://www.ktu.edu.tr/dosyalar/maden_98c1f.pdf. Erişim Tarihi: 20.3 2019.
- [70] C. Kurtuluş, B. Başoğlu, G. D. Kaya, G. Yavaş ve Ç. Şahan, «Jeofizik ve Jeoteknik Yöntemler Kullanılarak İzmit Bölgesindeki Kırmızı Kumtaşı Örneklerinin Mühendislik Parametrelerinin Değerlendirilmesi,» *Uygulamalı Yer Bilimleri Dergisi*, cilt 10, no. 2011, pp. 10-20, 2011.
- [71] A. Ercan, *Yer Araştırma Yöntemleri*, TMMOB Jeofizik Müh. Odası Yayını, 2001.
- [72] O. Uyanık, «Compressional and shear-wave velocity measurements in unconsolidated top-soil and comparison of the results,» *International Journal of the Physical Sciences*, cilt 5, no. 7, pp. 1034-1039, 2010.
- [73] N. Bilgin, *İnşaat ve Maden Mühendisleri İçin Uygulamalı Kazı Tekniği*, İstanbul: Birsan Yayınevi, 1989.
- [74] W. M. Telford, L. P. Geldart ve R. E. Sheriff, *Applied Geophysics*, Cambridge: Cambridge University, 1990.
- [75] A. Bozkurt, H. Endeş ve C. Kurtuluş, «Jeolojik Gözlemler, Jeofizik Uygulamalar ve Jeoteknik Testlerle Yer Araştırması,» *Uygulamalı Yer Bilimleri*, no. 1, pp. 10-30, 2013.

- [76] O. Uyanık ve S. Tezcan, «Beton Dayanımının Ultrasonik Yöntemle Tayini,» *Jeofizik Bülteni*, pp. 41-45.
- [77] O. Uyanık ve B. Çathoğlu, «Sismik Hızlardan Yoğunluğun Belirlenmesi,» *JEOFİZİK DERGİSİ*, pp. 3-15, 2015.



ÖZGEÇMİŞ

1972 yılında Eskişehir’de doğdu. İlk orta ve lise eğitimini Bilecik İli Bozüyük İlçesinde tamamladı. 1995 yılında Süleyman Demirel Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Jeofizik Mühendisliği bölümünü bitirdi. 1999 yılında Dumlupınar Üniversitesinde öğretim görevlisi olarak çalışma hayatına başladı. Halen Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesinde çalışmaktadır.