İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

DOĞU TRAKYA BÖLGESİ (SİLİVRİ) ERGENE FORMASYONUNDA KUM-ÇAKIL ÜRETİMİNDEKİ ATIK KİLLERİNİN MİNERALOJİK VE JEOKİMYASAL İNCELENMESİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Ayşe Sehra ÖZKAN KOSİFOĞLU

Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı

Jeoloji Mühendisliği Programı

ŞUBAT 2023

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

DOĞU TRAKYA BÖLGESİ (SİLİVRİ) ERGENE FORMASYONUNDA KUM-ÇAKIL ÜRETİMİNDEKİ ATIK KİLLERİNİN MİNERALOJİK VE JEOKİMYASAL İNCELENMESİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Ayşe Sehra ÖZKAN KOSİFOĞLU

(505181302)

Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı

Jeoloji Mühendisliği Programı

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Recep Fahri ESENLİ

ŞUBAT 2023

İTÜ, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü'nün 505181302 numaralı Yüksek Lisans Öğrencisi Ayşe Sehra ÖZKAN KOSİFOĞLU, ilgili yönetmeliklerin belirlediği gerekli tüm şartları yerine getirdikten sonra hazırladığı "DOĞU TRAKYA BÖLGESİ (SİLİVRİ) ERGENE FORMASYONUNDA KUM-ÇAKIL ÜRETİMİNDEKİ ATIK KİLLERİNİN MİNERALOJİK VE JEOKİMYASAL İNCELENMESİ" başlıklı tezini aşağıda imzaları olan jüri önünde başarı ile sunmuştur.

Tez Danışmanı : **Prof. Dr. Recep Fahri ESENLİ** .....
İstanbul Teknik Üniversitesi

Jüri Üyeleri : **Prof. Dr. Remzi KARAGÜZEL** .....
İstanbul Teknik Üniversitesi

Prof. Dr. Atiye TUĞRUL .....
İstanbul Üniversitesi - Cerrahpaşa

Teslim Tarihi **: 18 Ocak 2023**
Savunma Tarihi **: 27 Şubat 2023**

Sevgili amcam Doç. Dr. Mustafa Tuğrul ÖZKAN anısına,

ÖNSÖZ

Bitirme tezinin hazırlık aşamasında gerek ince kesitlerin hazırlaması gerekse akademik görüşleriyle desteğini esirgemeyen İstanbul Teknik Üniversitesi öğretim üyesi Prof. Dr. Recep Fahri ESENLİ' ye teşekkürlerimi sunarım.

İTÜ Jeoloji Mühendisliği Bölümü; Mineral Hazırlama Laboratuvarında çalışmama olanak sağlayan Doç. Dr. Şenel Özdamar'a; X-Işınları Laboratuvarında çalışmalarını sağlayan ve tezimin aşamalarında, özellikle kil mineralojisi ve XRD konularında bilgisini ve yardımlarını esirgemeyen Dr. Bala Ekinci Şans'a sonsuz teşekkürlerimi sunuyorum.

Taramalı elektron mikroskop (SEM+EDX) çalışmaları için olanak sağlayan İTÜ Prof. Dr. Dinçer Topacık Ulusal Membran Teknolojileri Araştırma Merkezi (MEM-TEK) Müdürü Rektör Prof. Dr. İsmail Koyuncu'ya; yardımlarını esirgemeyen Dr. Öğr. Üyesi Mehmet Emin Paşaoğlu'na ve Karakterizasyon Laboratuvarında çalışmalarımı gerçekleştiren Yük. Müh. Oğuz Orhun Teber'e; yine SEM çalışmaları için İTÜ Metalürji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü Biyomalzeme Araştırma ve Karakterizasyon Laboratuvarı'nda çalışma olanağı sağlayan Prof. Dr. Gültekin Göller' e ve laboratuvar çalışmalarını gerçekleştiren Hüseyin Sezer'e teşekkürlerimi sunarım.

İTÜ Jeoloji Mühendisliği Bölümü İnce Kesit Laboratuvarında örneklerimin ince kesitlerini hazırlayan Mehmet Ali Oral'a teşekkür ederim.

Saha çalışmalarımda desteklerini gördüğüm Ökten Madencilik San. Tic. Ltd. Şti. Genel Müdürü Petrol Mühendisi Kürşat Köktürk'e ve Maden Mühendisi Ali Demir'e teşekkürlerimi sunarım.

Bu mesleği seçmeme öncülük eden, öğrenim hayatım boyunca destekçim olup hiçbir yardımı esirgemeyen İstanbul Teknik Üniversitesi öğretim üyesi; amcam Doç. Dr. Mustafa Tuğrul ÖZKAN' a teşekkür ederim.

Bu günlere gelene kadar tüm ilgi alanlarımı ve çalışmalarımı destekleyip; araştırmaya öğrenmeye teşvik eden ve yardımlarını esirmeyen annem Zuhal İŞCAN, babam Turgut ÖZKAN ve ablam Ahsen Nuray ÖZKAN' a teşekkür ederim.

Tezin yasılması süresince en büyük fedakarlığı sergilemiş olan eşim Yunus Emre KOSİFOĞLU'na özel olarak teşekkür etmek isterim.

Aralık, 2022

Ayşe Sehra ÖZKAN KOSİFOĞLU

Jeoloji Mühendisi

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ ..... **vii**
İÇİNDEKİLER ..... **ix**
KISALTMALAR ..... **xi**
SEMBOLLER ..... **xiii**
ÇİZELGE LİSTESİ ..... **xv**
ŞEKİL LİSTESİ ..... **xvii**
ÖZET ..... **xxi**
SUMMARY ..... **xxv**
1. GİRİŞ **1**
1.1 Amaç ve Kapsam 1
1.2 Çalışma Alanı 5
1.2.1 Coğrafik konum ve ulaşım 5
1.2.2 Yer şekilleri ve jeomorfolojik özellikler 7
1.2.3 İklim ve bitki örtüsü 7
1.2.4 Ekonomik etkinlikler 8
1.3 Önceki Çalışmalar 8
1.4 Çalışma Yöntemleri 14
1.4.1 Saha çalışmaları 14
1.4.2 Laboratuvar çalışmaları 14
1.4.3 Büro çalışmaları 16
2. JEOLOJİ **17**
2.1 Bölgesel Jeoloji 17
2.2 Çalışma Alanı Jeolojisi 21
2.2.1 Danişmen Formasyonu-Gürpınar Üyesi 24
2.2.2 Çantaköy Tüf Üyesi 24
2.2.3 Sinekli Üyesi 25
2.2.4 İstanbul Formasyonu-Kıraç Üyesi 27
2.2.5 Alüvyon 31

3. MİNERALOJİK VE PETROGRAFİK İNCELEMELER 33
3.1 Binoküler Mikroskop İncelemeleri 33
3.1.1 1 No'lu kum ocağı 33
3.1.2 2 No'lu kum ocağı 37
3.1.3 3 No'lu kum ocağı 39
3.2 Polarizan Mikroskop İncelemeleri 42
3.2.1 1 No'lu kum ocağı 42
3.2.2 2 No'lu kum ocağı 45
3.2.3 3 No'lu kum ocağı 46
3.3 X-Işınları Difraksiyonu (XRD) İncelemeleri 48
3.3.1 1 No'lu kum ocağı; kum örnekleri 48
3.3.2 2 No'lu kum ocağı; kum örnekleri 51
3.3.3 3 No'lu kum ocağı; kum örnekleri 53
3.3.4 4 No'lu kum ocağı; bentonit örneği 55
3.3.5 1 No'lu kum ocağı mil havuzu çamur örneği 56
3.3.6 2 No'lu kum ocağı mil havuzu çamur örneği 59
3.4 Taramalı Elektron Mikroskobu İncelemeleri (SEM+EDS) 63
3.4.1 1 No'lu mil havuzu; çamur örneği (1-MH) 63
3.4.2 4 No'lu kum ocağı; bentonit örneği 66
4. JEOKİMYA 69
5. TARTIŞMA VE SONUÇLAR 81
KAYNAKLAR 93
ÖZGEÇMİŞ 99

KISALTMALAR

cc : Kübik santimetre
cm : Santimetre
cm^3 : Santimetreküp
dk : Dakika
g : Gram
GPS : Global Positioning System (Küresel Konumlandırma Sistemi)
kg : Kilogram
kN : Kilonewton
kV : Kilovolt
km : Kilometre
km^2 : Kilometrekare
m : Metre
m^2 : Metrekare
m^3 : Metreküp
mA : Miliamper
meq : Miliekivalen
mbar : Milibar
mm : Milimetre
mV : Milivolt
My : Milyon yıl
pH : Hidrojen iyon konsantrasyonu
ppm : Parts per million (Milyonda bir)
rpm : Rounds per minute (Dakikada dönüş sayısı)
sn : Saniye
V : Volt
µm : Mikrometre

SEMBOLLER

d_{001}:	**:** Smektit bazal yansıması
<	**:** Küçüktür
>	**:** Büyüktür
θ	**:** Teta
Å	**:** Angstrom
Δ2θ	**:** 2θ farkları
°	**:** Derece
%	**:** Yüzde
~	**:** Yaklaşık
°C	**:** Santigrad

ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 1.1 **:** Silivri-Çatalca istasyonuna ait mevsimsel ortalama sıcaklık, yağış ve nem değerleri (Meteoroloji Genel Müdürlüğü (MGM); Afet Koordinasyon Merkezi, AKOM, 2019). **8**

Çizelge 3.1 **:** Çalışma alanı kum örneklerinin binoküler mikroskop inceleme sonuçlarına göre mineralojik bileşimi. **42**

Çizelge 3.2 **:** Kum örneklerinin XRD ile belirlenen mineralojik bileşimleri tahmin edilmiş mineral oranları (% ağırlıkça). **54**

Çizelge 3.3. **:** 1 No'lu ocağa ait mil havuzu örneğinin SEM-EDX analiz değerleri. **65**

Çizelge 4.1. **:** Bentonit (4-B) örneği ile kum ocağı (1-1, 1-3, 2-2, 3-1) ve mil havuzu (1-MH, 2-MH) örneklerine ait majör oksit (%), iz element (ppm) ve nadir toprak element (ppm) değerleri. (1 No'lu Ort.: 1-1 ve 1-3 seviyeleri; K.O. Ort.; Tüm kum ocakları ve M.H. Ort.: Mil havuzu örnekleri için hesaplanmış ortalama değerler.) **70**

Çizelge 5.1 **:** Çalışma alanı kum örneklerinin binoküler ve petrografik-polarizan mikroskop incelemeleri ile XRD analizleri sonucu belirlenen bileşenleri. **83**

Çizelge 5.2 **:** Çalışma alanı kum biriminin, mil havuzu malzemesinin ve bentonit seviyesinin XRD analizleri sonucu belirlenen bileşenleri ve oranları (%, ağırlık). **84**

Çizelge 5.3 **:** Çalışma alanı kum, mil ve kil örneklerinin ve bazı ortalama değerlerinin kimyasal bazı parametreleri. **86**

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 1.1 : Silivri kuzeyinde; Beyciler – Sinekli - Bekirli hattındaki kum-çakıl üretim amaçlı ocakların Google görünümü (üstte) ve Beyciler-Sinekli kesiminde yoğun olarak bulunan ocakların yakın görünümü (altta). **3**
Şekil 1.2 : Silivri kuzeyinde; Beyciler-Sinekli Bölgesi'ndeki kum-çakıl ocaklarının bazılarının açık işletme ocak alanları ve mil havuzlarının Google görünümleri. **5**
Şekil 1.3 : Çalışma alanı yer bulduru görseli (Google Earth görünümü). **6**
Şekil 2.1 : Çalışma alanına ait jeoloji haritası; MTA (Özcan, 1982) ve İBB (2017)'den derlenerek oluşturulmuştur. **23**
Şekil 2.2 : Çantaköy Tüf Üyesine ait mostra (üstte) ve el örneği (altta) görünümü.. **25**
Şekil 2.3 : Sinekli Üyesine ait mostra görünümü (üstte) ve el örneği (altta) görünümü. **26**
Şekil 2.4 : 1 No'lu Ocak, ocak aynaları genel görünümü, ocak basamaklarının (1, 2 ve 3) ve kum seviyelerinin durumu. **27**
Şekil 2.5 : 1 No'lu Ocak, ocak aynasında kum seviyelerinin görünümü ve ölçeksiz stratigrafik kesiti. **28**
Şekil 2.6 : 2 No'lu kum ocağı aynasına ait genel görünüm ve organik bileşence zengin bentonitik kil düzeyleri. **29**
Şekil 2.7 : 2 No'lu kum ocağı kum seviyelerine ait görünüm. **29**
Şekil 2.8 : 3 No'lu kum ocağı kum seviyelerine ait genel bir görünüm. **30**
Şekil 2.9 : 3 No'lu kum ocağı bentonitik kil seviyesinin genel ve yakın görünümü. **30**
Şekil 3.1 : 1-1 örneğine ait ıslatılmış, genel görünüm (üstte) ile binoküler mikroskop görünümü (altta, 0,7 x yakınlaştırma). **34**
Şekil 3.2 : 1-2 örneğine ait genel görünüm(üstte) ile binoküler mikroskop görünümü (altta, 0,7 x yakınlaştırma). **35**
Şekil 3.3 : 1-2 örneğine ait ıslatılmış binoküler mikroskop genel görünümü (0,7 x yakınlaştırma). **36**
Şekil 3.4 : 1-3 örneği ıslatılmış; üstte: kuvars ve feldspat minerallerinin görünümü; altta: kayaç parçası ile farklı boyutlu tanelerin genel görünümü (0.7 x yakınlaştırma). **37**
Şekil 3.5 : 2 No'lu Kum Ocağına ait 2-2 isimli örneğe ait binoküler mikroskop görünümü (0,7 x yakınlaştırma). **38**
Şekil 3.6 : 3 No'lu kum ocağına ait tabandan 15m yükseklikten alınmış seviyeye ait 3-1 isimli örneğe ait binoküler mikroskop görünümü (0,8 x yakınlaştırma). **39**
Şekil 3.7 : 3-S1 örneğine ait (a: ıslatılmış görünüm; b: kuru görünüm) binoküler mikroskop genel görünümü (0,7x yakınlaştırma). **40**
Şekil 3.8 : 3-S2 örneğine ait binoküler mikroskop genel görünümü (0,7 x yakınlaştırma). **41**
Şekil 3.9 : 1-1 isimli kesite ait genel görünüm (a: Tek Nikol (PPL), b: Çift Nikol (XPL)). (Ku: kuvars, Kf: mikroklin, Mu: muskovit, Kp: kayaç parçası). **43**

Şekil 3.10 : 1-3 isimli kesite ait genel görünüm (a: Tek Nikol (PPL), b:Çift Nikol (XPL)). (Ku: kuvars, Pl: plajioklas, Mu: muskovit, Kp: kayaç parçası). **44**
Şekil 3.11 : 2-2 isimli kesite ait genel görünüm (a: Tek Nikol (PPL), b:Çift Nikol (XPL)). (Ku: kuvars, Pl: plajioklas, Bi: biyotit, Kp: kayaç parçası). **.....45**
Şekil 3.12 : 3-1 isimli kesite ait genel görünüm (a: Tek Nikol (PPL), b:Çift Nikol (XPL)). (Ku: kuvars, Kf: K-feldspat, Pl: plajioklas, Bi: biyotit, Kp: kayaç parçası**.....47**
Şekil 3.13 : 1 No'lu kum ocağı kum örneklerinin tüm kaya (TK) XRD paternleri (alttan üste doğru 1-1: Ocak en alt seviye; 1-2: Ocak orta seviye ve 1-3: Ocak en üst seviyeden derlenen örneklerin paternleri). **.....50**
Şekil 3.14 : 2 No'lu kum ocağı kum örneklerinin tüm kaya (TK) XRD paternleri (alttan üste doğru 2-1 ve 2-2 kodlu örnekler). **.....52**
Şekil 3.15 : 3 No'lu kum ocağı kum örneğinin XRD paterni (3-1 kodlu örnek). **.....53**
Şekil 3.16 : 4 No'lu kum ocağı bentonit örneğinin XRD paterni (4-B kodlu örnek).**55**
Şekil 3.17 : 1 No'lu ocağa ait mil havuzundan alınmış malzeme ve bu malzemeden kil fraksiyonu ile elde edilen örneklere ait XRD paternleri (TK. Tüm kaya (malzeme): kil fraksiyonuna ait çekimler; HK. Havada kurutulmuş, EG: Etilen glikol ile muamele edilmiş, YS: Yüksek sıcaklık (400°C)).....**58**
Şekil 3.18 : 2 No'lu ocağa ait mil havuzundan alınmış malzeme ve bu malzemeden kil fraksiyonu ile elde edilen örneklere ait XRD paternleri (TK. Tüm kaya (malzeme): kil fraksiyonuna ait çekimler; HK. Havada kurutulmuş, EG: Etilen glikol ile muamele edilmiş, YS: Yüksek sıcaklık (350°C)).....**61**
Şekil 3.19 : 1-MH ve 2-MH isimli örnekler için 50°-70° 2θ aralığında yönlenmemiş numune ile gerçekleştirilen XRD çekimi sonucunda elde edilmiş olan paternlerin görünümü. **.....62**
Şekil 3.20 : 1 No'lu ocağa ait mil havuzu örneğinin SEM görünümü. Smektitlerde kısmen gül buketi benzeri (üstte) veya mısır gevreği benzeri (üstte ve altta) yapılar görülmektedir. Yaprakların kenar uzunlukları 2-4 mikron gibidir (üstte ve altta). Yaklaşık 3-5 mikron boyutlu bir feldspatın üzerinden ve kenar zonlarından smektit oluşumu (büyümesi) (üstte ve altta).**.....64**
Şekil 3.21 : 1 No'lu ocağa ait mil havuzu örneğinin SEM-EDX analizinin alındığı görüntü alanı (solda) ve EDX paterni (sağda). **.....65**
Şekil 3.22 : Bentonit örneğinin SEM görünümünde smektit oluşumu (eğrisel-konkav kenarlı oluşumlar), feldspat (ana zeminde iri tane) ve kuvars (merkezdeki 3x5 mikron boyutlu tane) görünümleri. **.....66**
Şekil 3.23 : Smektitlerde mısır gevreği yapısı yaygın olarak bulunur (üstte). Yaprak kenarları genelde 2-4 mikron arasıdır ama resmin üst kesiminde bulunan yaprak kenar uzunluğunun devamlılığı 10 mikron üzerindedir. Smektitlerle ilişkili kaolinit oluşumuna benzeyen görünümler bulunmaktadır (altta). Ancak bunların ikiz-dilinim düzlemlerinden çözünerek kalıntı şeklinde duran feldspat olmaları da olasıdır (kimyasal analizi alınamamıştır). **.....67**
Şekil 3.24 : Bentonit örneğinde yaygın smektit oluşumu ve smektitler ile iri taneli bir feldspatların ilişkisi. Feldspat kenarlarında (üstte) ve muhtemel dilinim düzlemlerinde veya pertitik zonlarda (alt sıra) smektit oluşumu görülmektedir. Alt resimdeki feldspat-smektit ilişkisinin görünümü sağda yakınlaştırılmış olarak görülmektedir. **.....68**
Şekil 4.1 : 4-B, 1-1, 1-3, 2-2, 3-1, 1-MH, 2-MH, K.O. Ort.ve M.H. Ort. örnek ve hesaplanmış değer noktalarının, Roser ve Korsch (1988) tarafından

sedimenter köken ayrımı için önerilen F1-F2 diyagramlarındaki yerleri. **75**

Şekil 4.2 : 4-B,1-1, 1-3, 2-2, 3-1, 1-MH, 2-MH, K.O. Ort.ve M.H. Ort. örnek ve hesaplanmış değer noktalarının a: SiO_2-log(K_2O/Na_2O) (Roser ve Korsch, 1986), b: K_2O/Na_2O-SiO_2/Al_2O_3 (Maynard ve diğ., 1982) diyagramlarındaki yerleri (A1: Yay ortamı, bazaltik ve andezitik kırıntılılar, A2: Olgunlaşmış yay ortamı, felsitik-plütonik kırıntılılar)... **76**

Şekil 4.3 : 4-B,1-1, 1-3, 2-2, 3-1, 1-MH, 2-MH, K.O. Ort.ve M.H. Ort. örnek ve hesaplanmış değer noktalarının a: TiO_2-Fe_2O_3+MgO, b: Al_2O_3/SiO_2-Fe_2O_3+MgO (Bhatia, 1983) diyagramlarındaki yerleri (PM: Pasif kenar, ACM: Aktif kıta kenarı, CIA: Kıtasal ada yayı, OIA: Okyanusal ada yayı). **77**

Şekil 4.4 : 4-B,1-1, 1-3, 2-2, 3-1, 1-MH ve 2-MH, örnek değerleri ile K.O. Ort.ve M.H. Ort. hesaplanmış değer noktalarının, kimyasal alterasyon indeksinin (CIA) kullanıldığı, Nesbitt ve Young (1982, 1984, 1989) tarafından önerilen üçgen diyagramdaki yerleri (CIA: Chemical Index of Alteration, FeO*: Fe_2O_3, CaO*: sadece silikat fazı için CaO moleküler oranı). **78**

Şekil 4.5 : 4-B,1-1, 1-3, 2-2, 3-1, 1-MH, 2-MH, K.O. Ort.ve M.H. Ort. örnek ve hesaplanmış değer noktalarının alterasyon indeksini gösterir diyagram (Kronberg & Nesbitt, 1981). **79**

Şekil 5.1 : Çalışma alanından bir kum-çakıl ocağının Google-Earth görünümü. Yeşil alan üzerinde suyun altında çamurun (mil) bulunduğu mil havuzudur. Mil havuzunun uzun boyu (sarı çizgi) 166 m' dir. **90**

DOĞU TRAKYA BÖLGESİ (SİLİVRİ) ERGENE FORMASYONUNDA KUM-ÇAKIL ÜRETİMİNDEKİ ATIK KİLLERİNİN MİNERALOJİK VE JEOKİMYASAL İNCELENMESİ

ÖZET

Doğu Trakya bölgesi Ergene Formasyonu içerisinde, kum-çakıl üretimi amacıyla işletilmekte olan pek çok ocak bulunmaktadır. Üretim sonucu kilce zengin malzeme atık durumuna düşmekte ve ocaklara ait mil havuzlarında depolanmaktadır. İstanbul ili, Silivri ilçesi kuzeyinde; Çayırdere - Beyciler - Sinekli - Büyük Sinekli - Bekirli mahalleleri (köyleri) hattı, çalışma alanı olarak belirlenmiştir. "Doğu Trakya Bölgesi (Silivri) Ergene Formasyonunda Kum-Çakıl Üretimindeki Atık Killerin Mineralojik ve Jeokimyasal İncelenmesi" başlıklı bu çalışmada amaç; çalışma alanında yer alan dört kum-çakıl ocağı için atıl duruma düşen kilce zengin bu potansiyel rezervin malzeme karakterini belirlemek ve endüstriyel hammadde olarak kullanılabilirliğini minerolojik açıdan ifade etmeye çalışmaktır. Bu amaca yönelik olarak sahadan derlenmiş örneklerin mineralojik, petrografik ve jeokimyasal özellikleri incelenmiştir.

Doğu Trakya bölgesi ana olarak üç jeolojik topluluktan oluşmaktadır. Bölgenin kuzeyinde Paleozoyik yaşlı metamorfik ve magmatik kayaçlardan oluşan Istranca Birliği; doğusunda, Alt Ordovisiyen-Üst Kretase yaşlı metamorfik olmayan İstanbul Birliği yer alır. Doğu Trakya havzasının neredeyse tamamını kapsayan Orta Eosen-Pliyosen yaşlı Trakya Tersiyer Havzası birimleri ise; Istranca ve İstanbul Birlikleri'nin üzerinde yer alır. Çalışma alanı ve yakın çevresine bakıldığında Danişmen ve Ergene Formasyonlarına ait birimler gözlenmektedir. Çalışma alanının önemli bölümünü oluşturan Miyosen yaşlı Ergene Formasyonu (İstanbul Formasyonu - Kıraç Üyesi); Oligosen-Erken Miyosen yaşlı Danişmen Formasyonu'nun (çalışma alanında gözlemlenen; Gürpınar, Çantaköy Tüf ve Sinekli üyeleri) üzerine uyumsuz olarak çökelmiştir. Bu birimler üzerinde Kuvarterner yaşlı, çoğunlukla kum ve silt boyutlu bileşenlerden oluşan alüvyonlar yer alır.

Çalışmaya konu olan kum ocakları Ergene Formasyonu (İstanbul Formasyonu-Kıraç Üyesi) içerisinde yer almaktadır. Çoğunlukla tutturulmamış çakıl ve kil ile milden oluşan birim içerisinde, oluşum şekli ile ilişkili olarak, çapraz tabakalanma, teknemsi çapraz tabakalanma, kanal içi çökelleri ve benzeri yapılar gözlenebilmektedir. Baskın litolojinin kum olduğu formasyon içerisinde yaklaşık %20-30 oranında çakıl ve en az %10 oranında kil silt boyutlu malzeme bulunmaktadır. Yer yer kil seviyeleri (ve mercekleri) gözlemlenmektedir. Birim için gözlemlenebilen kalınlık 30-40 m arasındadır.

Ocakların kum-çakıl, kil seviyelerinden, stok malzemesinden ve mil havuzu çamurlarından örnekler alınmıştır. Seçilen örneklerle amaca yönelik; Binoküler mikroskop, petrografik-polarizan mikroskop, XRD, SEM+EDX, XRF ve ICP-MS analizleri gerçekleştirilmiştir. Ocak seviyelerinden alınmış tüvanan kum örnekleri ile gerçekleştirilmiş tüm çalışmalarda sonuçlar birbiriyle uyumludur. İncelemelerin birlikte değerlendirilmesi sonucunda kumlar için genel mineralojik bileşim; kuvars (+kuvarsit) (% 30-65) + feldspat (K-feldspat, plajioklaz) (% 10-55) + smektit (% 10-

25) + illit-mika (%<5-10) + kalsit (% <5) + zeolit (%<5) + kuvarsit harici kayaç parçaları (%<20)" şeklindedir. Ocak ayna seviyelerini temsil eden bu örneklere ait sonuçlara bakıldığında; alttan üste doğru kuvars oranında azalmaya karşı feldspat oranında artış olduğu görülmüştür. Benzer ters ilişki; feldspat oranında azalmaya karşın smektit oranında artış şeklinde de gözlemlenir. Binoküler ve petrografik-polarizan mikroskop incelemelerinde, feldspatlarda gözlemlenen ayrışma kile (smektite) dönüşüm olarak yorumlanmıştır. Petrografik-polarizan mikroskop çalışmalarında bölge kumlarının hem K-feldspat hem de plajioklas içerdiği gözlemlenmiştir. Ayrışmanın çoğunlukla K-feldspatlarda gözlemlenmesi, oluşan smektitin büyük ölçüde K-feldspat kaynaklı olduğunun bir göstergesidir. Buna karşın, daha az oranda, plajioklas-smektit dönüşümü de söz konusudur. XRD analiz sonuçları ve SEM görüntüleri de bölgede sadece K-feldspat-smektit dönüşümü olmadığını göstermiştir. SEM incelemelerinde smektitlerin mısır gevreği veya gül rozeti benzeri morfolojilerde oldukları; feldspat kenarlarında, dilinim ve ikiz düzlemleri boyunca ve de pertitik zonlarında oluştukları görülmüştür. SEM incelemelerinde feldspatlara ek olarak, kum-çakıl birimlerinde az oranda bulunan mikaların kenarlarından itibaren smektite dönüşüm olduğu da gözlemlenmiştir. SEM-EDX analizi ile smektitlerin yaklaşık değerler olarak Si (%20), Al (%7), Fe (%5), Mg (%1,5), Ca (%1,5), K (%0,5) kimyasında olduğu ve yüksek Fe içerikli smektitler olabileceği görülmüştür. Bu sonuçlara ek olarak; kum örneklerine ait jeokimya analizi sonuçlarına bakıldığında kuvars/feldspat oran değişimleri ile smektit varlığı ve artışı majör oksit özelinde gözlemlenmektedir. Ayrıca, smektitle doğru orantılı olarak toplam iz ve nadir toprak element değer artışı söz konusudur. SiO_2 oranında azalmaya karşın; feldspat-smektit dönüşümüyle, Al_2O_3, Fe_2O_3, MgO+CaO oranlarında artış ve Na_2O+ K_2O oranında azalma olduğu görülmektedir. Feldspat smektit dönüşümüyle ortaya çıkan feldspat kaybı, kimyasal bir sonuç olarak Na_2O+K_2O oranında azalma olarak gözlemlenmektedir. Na_2O ve K_2O majör oksit değerleri ayrı ayrı değerlendirildiğinde Na_2O değerleri önemli bir fark göstermez. Bu durum bölge kumlarında çoğunlukla K-feldspat-smektit dönüşümü gerçekleştiğini göstermektedir.

Bölgeden alınmış kil örneği (bentonit) için gerçekleştirilmiş XRD analizi sonucunda genel mineralojik bileşimin "smektit (%70-75) + illit-mika(%<5) + klorit-kaolinit (%5-10) + kuvars (%<5) + feldspat (%<5) + kalsit (%10-15)" şeklinde olduğu belirlenmiştir. Mil havuzu çamur örnekleri ve bu örneklerden hazırlanmış kil fraksiyonu ile gerçekleştirilen XRD analizleri sonucu belirlenmiş genel mineralojik bileşim ise smektit (%60-65) + illit-mika (%5-10) + klorit-kaolinit (%5-10) + kuvars (%5-10) + feldspat (%5-10) + zeolit (%<5, klinoptilolit)"şeklindedir. Kum, kil (bentonit) ve mil havuzu çamur örnekleri kullanılarak gerçekleştirilmiş XRD analizleri sonucunda bölgedeki ana kil mineralinin dioktahedral (d_{060} mesafe değeri 1,49 Å), Ca-smektit (smektit d_{001} mesafe değerlerine göre) olduğu belirlenmiştir. Kil fraksiyonu sonuçları, örneklerde ana kil minerali olan Ca-smektite ek olarak az ve eser oranda illit, klorit, kaolinit bulunduğunu göstermiştir. Ek olarak smektitin düşük oranda I/S (illit/mika) türü karışık katman içerebileceği belirlenmiştir.

Tüm bunlara ek olarak jeokimya çalışmaları sonucunda elde edilen değerler kullanılarak köken ve alterasyon indeksini gösterir diyagramlar oluşturulmuştur. CIA ve PIA değerlerinin smektitle de ilişkili olması sebebiyle ocakların kilce daha zengin alt seviye kumlarında alterasyon indekslerinin göreli yüksek olduğu saptanmıştır.

Gerçek rezerv değeri saptama amacı bulunmayan bu çalışmada, bölgedeki herhangi bir kum-çakıl ocağında gerçekleştirilen, 1 milyon ton kum-çakıl agregası üretimi sonucunda 100 bin ton atıl mil rezervi oluşacağı saptanmıştır. Bu rezerv özel bir

ekonomik harcama gerektirmeden ortaya çıkan yan ürün olarak düşünülmelidir. Bu çalışma ile mineralojik karakteri belirlenmiş atıl durumdaki potansiyel bir hammaddenin değerlendirilmesine yönelik, jeolojik-mineralojik bir değerlendirme sunulmuştur.

MINERALOGICAL AND GEOCHEMICAL INVESTIGATION OF WASTE CLAYS IN SAND-GRAVEL PRODUCTION IN THE ERGENE FORMATION OF EASTERN THRACE REGION (SİLİVRİ)

SUMMARY

Within the Ergene formation of the Eastern Thrace region, there are many quarries that are being operated for the purpose of sand and gravel production. As a result of production, the clay-rich material becomes waste and is stored in the silt ponds of the quarries. North of Silivri county in Istanbul province, Çayırdere - Beyciler - Sinekli - Büyük Sinekli - Bekirli neighborhoods (villages) line has been determined as the study area. The aim of this study, titled "Mineralogical and Geochemical Investigation of Waste Clays in Sand and Gravel Production in the Eastern Thrace Region (Silivri) Ergene Formation"; is to determine the material characteristics of this potential clay-rich reserve of the four sand and gravel quarries in the study area and to try to express its usability as an industrial raw material from a mineralogical point of view. For this purpose, mineralogical, petrographic and geochemical properties of the samples collected from the field were investigated.

The Eastern Thrace region mainly consists of three geological communities. In the north of the region, the Strandja Unit consists of Paleozoic aged metamorphic and igneous rocks. To the east is the Lower Ordovician-Upper Cretaceous non-metamorphic Istanbul Unit. The Middle Eocene-Pliocene aged Thrace Tertiary Basin Units, which cover almost the entire Eastern Thrace basin, is located above the Strandja and Istanbul Units. When the study area and its surroundings are examined, units belonging to the Danişmen and Ergene Formations are seen. Miocene aged Ergene Formation (İstanbul Formation - Kıraç member); was unconformably deposited on the Oligocene-Early Miocene Danişmen Formation (Gürpınar, Çantaköy Tuff and Sinekli members observed in the study area). These units are mostly covered by Quaternary aged alluvial deposits consisting of sand and silt sized components.

The sand quarries, that are the subject of the study, are located in the Ergene Formation (Istanbul Formation-Kıraç Member). Cross- bedding, boat-like cross- bedding, in-channel deposits and similar structures can be observed in the unit, which is mostly composed of unconsolidated gravel, clay, and silt. In the formation, where the dominant lithology is sand, there is approximately 20-30% gravel and at least 10% clay - silt - sized material. Clay levels (and lense-shaped clays) are observed in places. The observable thickness for the unit is between 30-40 m.

Sand, gravel, clay level, stocked material and silt pond mud samples were taken from the quarries. With selected samples; binocular microscope, petrographic - polarizing microscope, XRD, SEM+EDX, XRF, and ICP-MS analyzes were performed. The results of all the studies carried out with the unsorted sand samples taken from the quarry levels are compatible with each other. As a result of the evaluation of the studies together, the general mineralogical composition of the sands has been determined as "quartz (+quartzite) (30-65%) + feldspar (K-feldspar, plagioclase) (10-55%) + smectite (10-25%) + illite - mica (<5-10) + calcite (% < 5) + zeolite (<5%) + non-

quartzite rock fragments (<20%)". Considering the results of these samples representing the quarry face levels, an increase in the feldspar ratio against the decrease in the quartz ratio from the bottom to the top was observed. A similar inverse relationship between the decrease in the feldspar ratio and an increase in the smectite ratio was also seen. In binocular and petrographic- polarizing microscope examinations, the weathering observed in feldspars was interpreted as conversion to clay (smectite). In petrographic - polarizing microscope studies, it was observed that the region's sands contain both K-feldspar plagioclase. The fact that the weathering is mostly observed in K-feldspars is an indication that the formed smectite is mainly from K-feldspar. On the other hand, to a lesser extent, plagioclase-smectite transformation is also present. XRD analysis results and SEM images also show that there was not only K-feldspar-smectite transformation in the region. In SEM examinations, it was observed that smectites were in cornflakes or rose rosette-like morphologies and formed at the edges of the feldspar, along the cleavage and twin planes, and in the perthitic zones. In addition to feldspars, in SEM examinations, it was observed that micas, which are rare in sand and gravel units, also transformed into smectite from their edges. With SEM-EDX analysis, it has been found that the approximate chemical components of smectites are Si (20%), Al (7%), Fe (5%), Mg (1.5%), Ca (1.5%), K (0.5%), and that there may be smectites with high Fe content. In addition to these results, when the results of the geochemical analysis of the sand samples are examined, the quartz/feldspar ratio changes, and the presence and increase of smectite are observed in the case of major oxides. In addition, there is an increase in total trace and rare earth element value in direct proportion to smectite. In contrast to the decrease in SiO_2 ratio; as a result of the feldspar - smectite transformation, an increase in the ratios of Al_2O_3, Fe_2O_3, MgO + CaO and a decrease in the ratio of $Na_2O + K_2O$ is seen. The loss of feldspar, which occurs with the feldspar - smectite transformation, is observed as a decrease in the ratio of $Na_2O + K_2O$ as a chemical result. When Na_2O and K_2O major oxide values are evaluated separately, Na_2O values do not show a significant difference. This shows that mostly K-feldspar- smectite transformation takes place in the sands of the region.

According to the XRD analysis, the general mineralogical composition of the clay (bentonite) sample taken from the region is "smectite (70-75%) + illite-mica (<5%) + chlorite-kaolinite (5-10%) + quartz (<5%) + feldspar (<5%) + calcite (10-15%)". The general mineralogical composition, which was determined as a result of XRD analyzes performed with silt pond mud samples and the clay fraction prepared from these samples, is "smectite (60-65%) + illite-mica (5-10%) + chlorite-kaolinite (5-10%) + quartz (5-10%) + feldspar (5-10%) + zeolite (<5%, clinoptilolite)". As a result of XRD analyzes carried out using sand, clay (bentonite) and silt pond mud samples, it was determined that the main clay mineral in the region was dioctahedral (d_{060} distance value 1.49 Å), Ca-smectite (according to smectite d_{001} distance values). Clay fraction results showed that in addition to Ca-smectite, which is the main clay mineral, little and trace amounts of illite, chlorite and kaolinite were found in the samples. In addition, it was determined that smectite may contain a low percentage of I/S (illite/mica) type mixed layers.

In addition to all these, using the values obtained resulting from geochemistry studies, diagrams showing the origin and alteration index were created. Since CIA and PIA values are also related to smectite, alteration indexes were found to be relatively high in the clay-rich lower-level sands of the quarries.

In this study, which does not aim to determine the actual reserve value, it has been determined that 100 thousand tons of idle silt reserve will be formed as a result of the production of 1 million tons of sand and gravel aggregate in any sand and gravel quarry in the region. This reserve should be considered as a by-product that does not require any special economic expenditure. In this study, a geological-mineralogical evaluation was presented for the evaluation of a potential raw material in an inactive state whose mineralogical character was determined.

1. GİRİŞ

1.1 Amaç ve Kapsam

"Doğu Trakya Bölgesi (Silivri) Ergene Formasyonu'nda kum-çakıl üretimindeki atık killerinin mineralojik ve jeokimyasal incelenmesi" başlıklı bu çalışma İstanbul Teknik Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü bünyesinde yer alan Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalında Yüksek Lisans Tezi çalışması olarak hazırlanmıştır.

Trakya Tersiyer Havzası'nın stratigrafisinde tüm birimler için literatürde farklı adlandırmalar bulunmaktadır. Oligosen-Miyosen-Pliyosen yaşlı çökel birimler için de farklı adlandırmalar vardır ve bunların deneştirmeleri, bazen formasyon bazen de üye(ler) olarak karşılık bulmaktadır. Tez başlığında yer alan ve genel olarak Orta Miyosen-Pliyosen yaşlı kabul edilen (Perinçek ve diğ., 2015) "Ergene Formasyonu" adlandırması için de farklı adlandırmalar söz konusudur. Bu adlandırmalara/deneştirmelere tezin jeoloji bölümünde yer verilmesine karşın, giriş bahsinde kısa bir özet vermek gereği duyulmuştur. Aşağıdaki adlandırmalar birbirlerinin tam veya kısmi karşılıklarıdır.

Ergene Formasyonu (Orta-Üst Miyosen yaşlı çökeller; Holmes, 1961; Umut ve diğ., 1983; Turgut ve diğ., 1983; Yurtsever, 1996; Siyako, 2006).

Ergene Grubu (Ergene Formasyonu ile onun üzerine uyumsuz olarak gelen Kırcasalih Formasyonu'nun (veya Trakya Formasyonu) birlikte adlandırması (Kasar ve diğ., 1983; Turgut ve diğ., 1983; Perinçek, 1991).

İstanbul Formasyonu - Kıraç Üyesi Danişmen Formasyonu ve Çantaköy Tüfiti üzerindeki Büyükçekmece-Küçükçekmece ve daha batıda Kınalı-Çerkezköy arasında dik yamaçlı sırt ve tepecikleri oluşturan çökeller (kum-çakıl-kil) (Geç Oligosen-Orta Miyosen; Özgül, 2005; İBB, 2017).

Çorlu Formasyonu (Çorlu) Bölgesinde, Ergene Grubu'nun içerisinde tanımlanan formasyon (Yurtsever, 1996; Çağlayan ve Yurtsever, 1998).

Çukurçeşme Formasyonu veya Çekmece Formasyonu'nun Çukurçeşme Üyesi (Doğu Trakya-İstanbul Bölgesi'nde Ergene Formasyonu'nun karşılığı (Arıç, 1955; Holmes, 1961; Ünal, 1967).

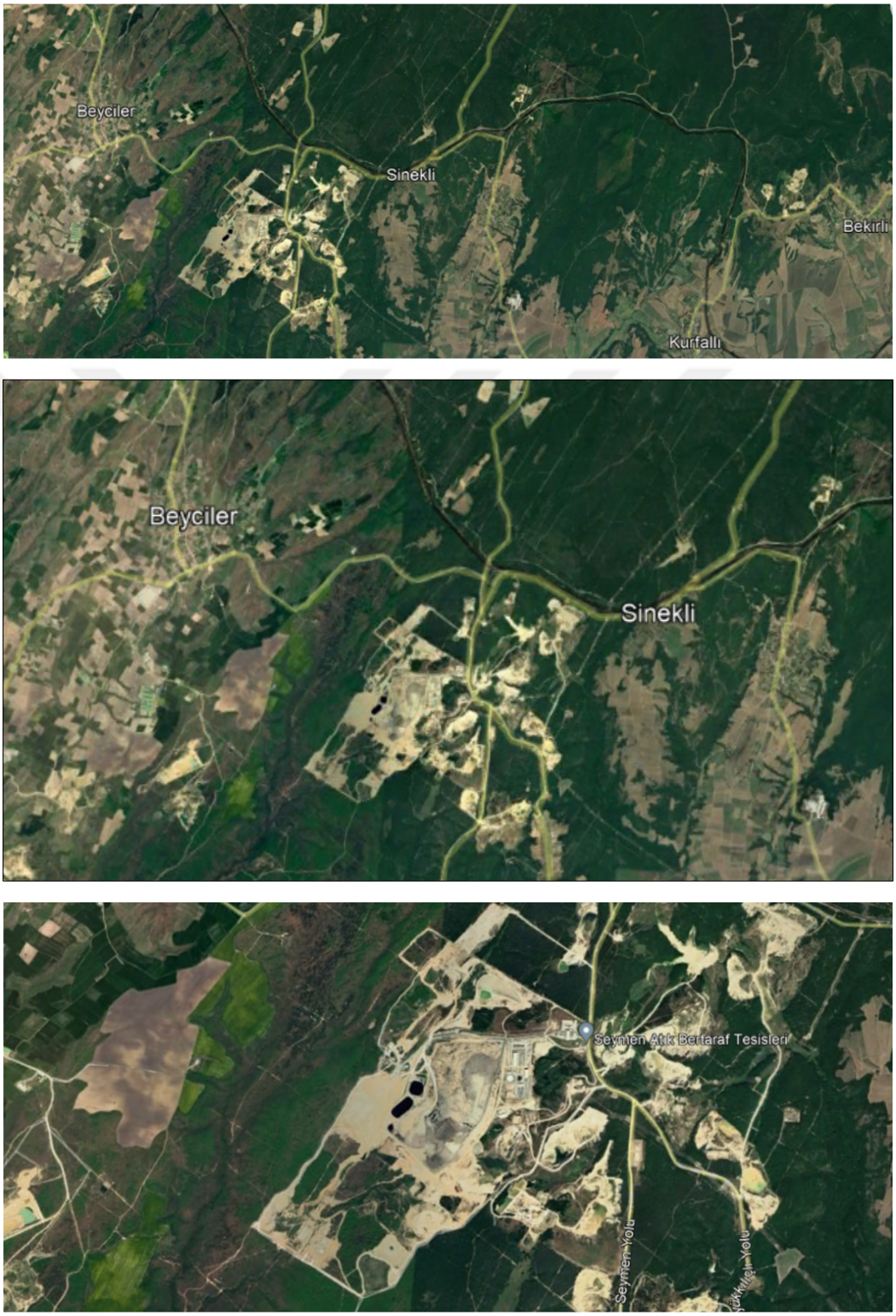
Bu tez çalışmasının, çalışma alanını içine alan ve aynı zamanda Silivri (İstanbul) kuzeyindeki kum-çakıl ocaklarını da kapsayan bölge için, yukarıdaki adlandırmalardan Ergene Formasyonu ile İstanbul Formasyonu - Kıraç Üyesi birbirleriyle kısmen örtüşmektedir. Bu birimlerin adlandırmalardan bağımsız olan ortak özelliği, bölgede var olan ve volkanik tüf katkı da içeren Çantaköy Formasyonu'nun (veya Çantaköy Tüfiti) üzerindeki çökeller olmalarıdır. Bu stratigrafik ilişki sebebiyle Çantaköy Tüfiti kılavuz seviye olarak kabul edilebilir.

Doğu-güneydoğu Trakya'da, geniş bir bölgede (Çorlu-Silivri-Çatalca) çok sayıda kum-çakıl ocağı Ergene Formasyonu içindedir. Tezin çalışma alanın bulunduğu Silivri Bölgesi'ndeki kum-çakıl ocakları da Çayırdere - Beyciler - Sinekli - Büyük Sinekli - Bekirli mahalleleri (köyleri) hattındadır. Çalışma alanı olan Silivri ilçesi kuzeyindeki Beyciler ve Sinekli çevresi ise ocakların en yoğun bulunduğu alandır (Şekil 1.1). Bölgedeki kum-çakıl istifinin kalınlığı muhtemelen 20-50 m arasında değişmekle birlikte, ocaklardaki işletme derinliği genelde 20-30 m arasındadır. Ocakların tümünde açık işletme türü madencilik faaliyeti yapılmaktadır. Genel olarak; delme patlatma işlemine gerek kalmadan, ekskavatör ile kazı sonucunda üretim gerçekleştirilmektedir.

Bölgedeki ocaklarda, uzun yıllardır üretilen ve günümüzde de üretilmekte olan kum-çakıl, daha çok inşaat agregası olarak tanımlanabilecek malzeme özelliğindedir. Kum karakteri formasyonun bazı seviyelerinde kuvars kumu karakterinde olabilmektedir. Benzer durum ocak içindeki bazı seviyeler için de söz konusudur. Formasyonun düşey ve yanal geçişlerinde; başlıca kuvars miktarı olmakla birlikte, diğer minerallerin miktarlarında da değişimler olabilmektedir. Mineralojik değişimlerden kaynaklanan kimyasal farklılıklara bağlı olarak üretilen malzeme, üretim alanlarına yönelik; kuvars kumu, döküm kumu, inşaat kumu ve benzeri isimler alabilmektedir.

İstanbul ve çevresindeki agrega kaynaklarının kullanımı, sürdürülebilir kullanımı oldukça önemlidir (Tuğrul ve Yılmaz, 2015 Tuğrul, 2017). Bölgedeki kum-çakıl ocakları İstanbul İli Batı yakasının, beton agregası (doğal kum; ince agrega) ihtiyacını büyük ölçüde karşılamaktadır. İstanbul Formasyonu - Kıraç Üyesi'nin 10 milyar metre küpten fazla jeolojik kum-çakıl rezervine sahip olduğu bilinmektedir. 2007 verilerine

göre, İstanbul'un her iki yakası için yıllık kum-çakıl (agrega) üretiminin 15.415.000 ton, yıllık tüketimin ise 17.696.000 ton olduğu BİMTAŞ (2007) raporunda yer almaktadır.



Şekil 1.1 : Silivri kuzeyinde; Beyciler – Sinekli - Bekirli hattındaki kum-çakıl üretim amaçlı ocakların Google görünümü (üstte) ve Beyciler-Sinekli kesiminde yoğun olarak bulunan ocakların yakın görünümü (altta).

Ergene Formasyonu kum ve çakıl (+blok) bileşenlerce (ince kum, kaba kum, kumlu çakıl, çakıllı kum, çakıl, blok) zengin olmasının yanı sıra, silt ve kil boyutlu elemanları da içermektedir. Formasyonun kum-çakıl litolojileri çoğunlukla az tutturulmuş; bazen orta derecede pekleşmiş veya tutturulmamış özelliktedir. Kil boyutlu oluşumlar çoğunlukla kum-çakıl taneleri arasında bulunmasına karşın; formasyonun kum-çakıl seviyeleri arasında kalınlıkları 2 m'yi aşmayan (çoğunlukla 1 m altında) kil (kiltaşı) seviyeleri şeklinde de bulunabilmektedirler. Bu seviyeler kum-çakıl seviyeleri ile yanal geçişli olup, genelde devamsızdırlar.

Çalışma alanı ve çevresinde, kum-çakıl üretiminin gerçekleştirildiği ocaklarda, hammaddenin (kum ve çakılın) kalitesini arttırmaya yönelik yıkama-eleme işlemi uygulanmaktadır. Tüvanan hammaddeden, istenmeyen ince malzemenin (kil + silt) uzaklaştırılması amacıyla uygulanan yıkama-eleme işlemi sonrasında, üretilen malzeme tane boyutuna göre ayrılmaktadır. Elek sistemi ile gerçekleştirilen ayrım sonucunda 3 farklı ürün (>7 mm, 3–7 mm ve <3 mm boyutlarında) elde edilmekte ve satışa sunulmaktadır (işletme ve ürün bazında değişimler bulunur). Yıkama-eleme işlemleri sonucunda açığa çıkan, kilce zengin ince boyutlu malzeme (mil) ise ocakların mil havuzlarında atıl olarak stoklanmaktadır (Şekil 1.2). Atık durumuna düşen kilce zengin bu malzemenin işletmelerin mil havuzlarında depolanmasıyla, madencilik faaliyeti yapıldıkça büyüyen, potansiyel bir kil rezervi ortaya çıkmaktadır.



Şekil 1.2 : Silivri kuzeyinde; Beyciler-Sinekli Bölgesi'ndeki kum-çakıl ocaklarının bazılarının açık işletme ocak alanları ve mil havuzlarının Google görünümleri.

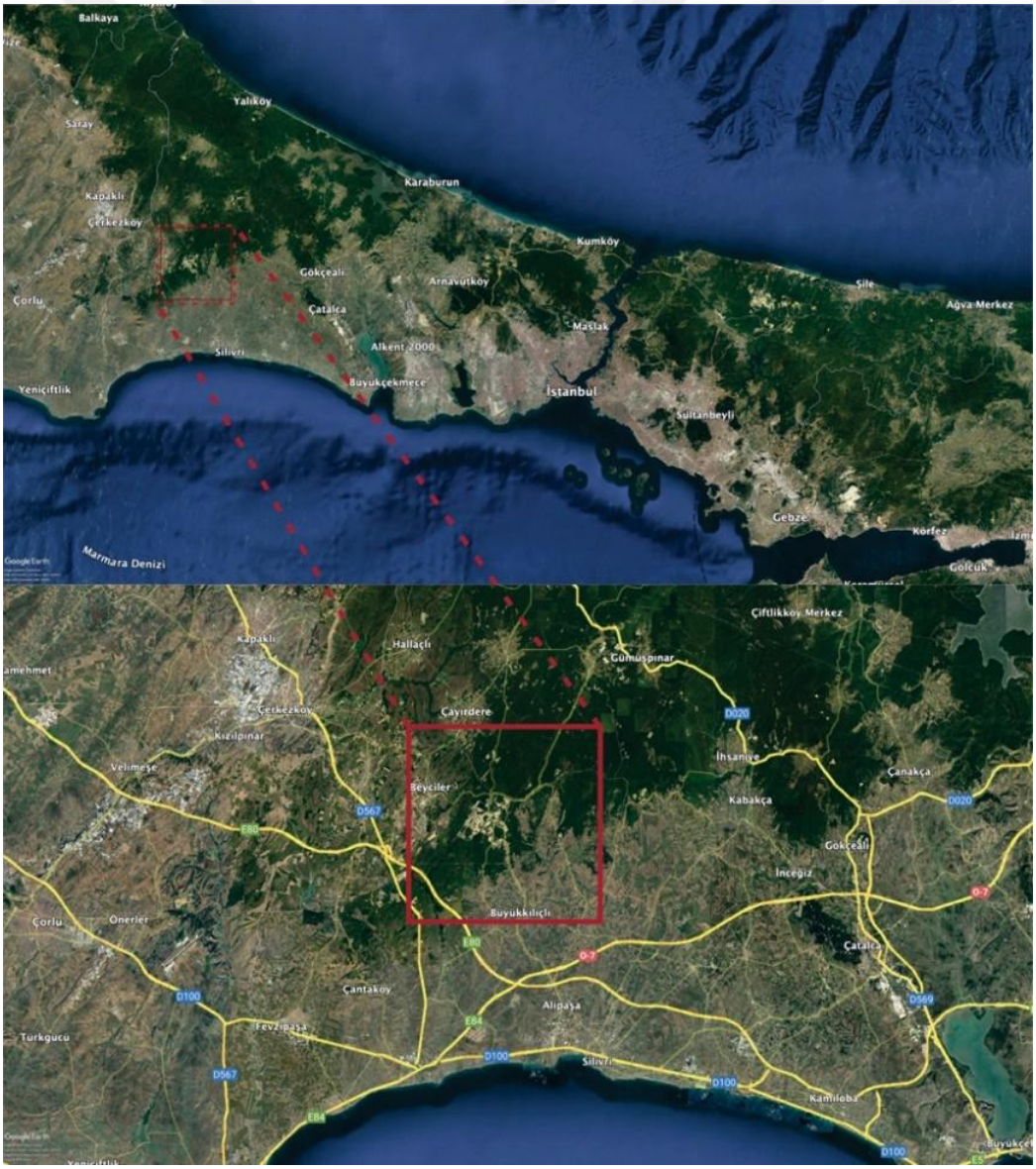
Bu tez çalışmasının ana amacı, atıl duruma düşen kilce zengin bu potansiyel rezervlerin malzeme karakterini saptamaya yönelik gerçekleştirilmiş olan; mineraloji, petrografi ve jeokimya çalışmalarından elde edilen veriler ile, bölgede atıl durumdaki potansiyel rezervin endüstriyel hammadde olarak kullanılabilirliğini mineralojik anlamda ifade etmeye çalışmak ve sonraki teknolojik çalışmalara ışık tutmaktır.

1.2 Çalışma Alanı

1.2.1 Coğrafik konum ve ulaşım

Çalışma alanı Marmara Bölgesi, İstanbul ili, Avrupa yakasında; Silivri ilçesine bağlı (güneydoğudan kuzeybatıya doğru) Yolçatı, Büyükkılıçlı, Beyciler, Sinekli, Bekirli, Çayırdere, Danamandıra mahalleleri (köyleri) arasındaki bölgede yer almaktadır (Şekil 1.3). Bölge Doğu Trakya olarak da tanımlanabilir. İnceleme alanının kuzeyinde ve doğusunda Çatalca ilçesi, güney doğusunda Büyükçekmece ilçesi, batısında Tekirdağ ili (kuzeyden güneye Çerkezköy, Çorlu ve Marmaraeğrelisi) ve güneyinde Marmara Denizi bulunmaktadır. Çalışma alanı 1/25000 ölçekli F20a3, F20a4, F20d1 ve F20d2 paftalarında yer almaktadır.

Silivri kuzeyindeki kum-çakıl ocakları (çalışma alanı) otoyol ve çevre yolları olan O-7 ve E80 ana karayollarına ve D567-İstanbul-Çerkezköy ana yoluna yakın konumdadırlar. Ocakların E80 otoyolu Çerkezköy Gişeleri çıkışına ortalama uzaklıkları birkaç kilometredir. İstanbul (merkez)-Silivri arası mesafe 67 km'dir. Ocakların bulunduğu alanlar (çalışma alanı) Marmara Denizi'ne paralel olan D100 karayolu ve Silivri ilçesine (merkez) yaklaşık uzaklığı 20 km olup, çalışma alanının İstanbul'a olan mesafesi, D100 karayolu kullanıldığında yaklaşık 100 kilometredir. Bölgedeki ocakların hemen yakınına kadar asfalt veya stabilize kaplama yol ulaşımı vardır. Ocaklar ile ana köy yollarının bağlantısı ise ham yollar şeklindedir. Ayrıca, ocakların yoğun bulunduğu alanın yakın kuzeyinde; Büyüksinekli tren istasyonu bulunmaktadır (URL-1).



Şekil 1.3 : Çalışma alanı yer bulduru görseli (Google Earth görünümü).

1.2.2 Yer şekilleri ve jeomorfolojik özellikler

Çalışma alanı Çatalca–Kocaeli Platosu olarak adlandırılan peneplenin batısında yer alır, alçak bir plato görünümündedir, platonun üzeri Neojen'de çökelmiş kırıntılı kayaçlardan oluşan örtü ile kaplıdır (İBB, 2020). Bölgenin kuzeyinde Karadeniz'e paralel uzanan Istranca Dağları bulunmakta olup, en yüksek noktası olan Mahya Tepesi'nin yüksekliği 1.031 m'dir. Silivri ilçesinde doğuda Muratçeşme bölgesinde Keltepe (110 m) ile Araptepe (81 m) başlıca engebeleri oluşturmakta olup, ilçe coğrafyasında yüksek dağlık alan bulunmamaktadır.

Bölge genelinde bulunan en önemli ve en uzun akarsular, sularını Terkos (Durusu) Gölü'ne boşaltan Istranca Deresi (50 km) ve sularını Büyükçekmece Gölü' ne boşaltan Tahtaköprü Deresi (70 km)'dir. Bunun dışında, Silivri ilçesinde uzunlukları 15- 20 km kadar olan Boğluca, Çanta, Gelevri, Kova, Tuzla ve Karılar Dereleri gibi birçok küçük akarsular bulunmaktadır. Bu dereler yaklaşık paralel hatlarda Marmara Denizi'ne dökülürler. Bölgedeki en önemli göller ise Terkos (Durusu) (31,77 km²) ile Büyükçekmece (24,17 km²) Gölleri olup, daha küçük ölçekli Çilingözdere, Düzdere ve Kuzuludere baraj gölleri Çatalca ilçesi sınırları içinde yer almaktadır (İBB, 2020).

1.2.3 İklim ve bitki örtüsü

Bölgenin iklimi, Akdeniz ve Karadeniz iklimleri arasında geçişli, ılıman iklim koşullarına sahiptir. Yazlar kurak ve sıcak, kışlar ılık ve yağışlı geçmektedir. Bölgenin kuzey kıyılarında Karadeniz iklimi hakimken, güney kıyılarında Akdeniz iklimi hakimdir. Bölgede kuzeye ve doğuya gidildikçe Karadeniz ikliminin özellikleri artmaktadır. Akdeniz ve Karadeniz iklim tipleri arasında bulunan bu bölge, tüm mevsimlerde aldığı yağışlarla Karadeniz iklimi özellikleri artarken, yaz dönemlerindeki yağışın göreceli azlığı ile de karasal iklim özelliğindedir (URL-1). Meteorolojik istasyonlardan 2019 yılına ait elde edilen değerlere göre ocak ayı 98,70 kg/m² ile en yağışlı ay, Haziran ayı ise 12,50 kg/m² ile en az yağışlı aydır. Bölgede yıllık yağış değeri 554,65 kg/m²dir (Çizelge 1.1). En düşük sıcaklık ortalaması 4,54°C ile ocak ayında, en yüksek sıcaklık ortalaması ise 23,01°C ile ağustos ayında kaydedilmiştir (İBB, 2020' den; Meteoroloji Genel Müdürlüğü (MGM), Afet Koordinasyon Merkezi (AKOM), 2019).

Çizelge 1.1 : Silivri-Çatalca istasyonuna ait mevsimsel ortalama sıcaklık, yağış ve nem değerleri (Meteoroloji Genel Müdürlüğü (MGM); Afet Koordinasyon Merkezi, AKOM, 2019).

	İlkbahar	Yaz	Sonbahar	Kış
Ortalama Sıcaklık (°C)	12,29	22,81	17,4	9,05
Ortalama Yağış Miktarı (kg/m^2)	36,71	25,9	43,75	75,18
Ortalama Nem (%)	55,85	50,14	51,13	59,75

Bölge güneyinde hâkim bitki örtüsü step olup, özellikle kuzeyde Karadeniz'e bakan kıyı yamaçları ormanlıktır. Istranca (Yıldız) dağları ormanlarının büyük çoğunluğu kayın ve meşeliktir. Binkılıç, Kıyıköy, Çilingöz tarafında çam ormanları yaygındır. Biyolojik çeşitlilik açısından çok zengin fauna ve floraya sahip Istranca Ormanları 1988 yılında korumaya alınmıştır (İBB, 2020).

1.2.4 Ekonomik etkinlikler

Bölge için sayılabilecek ekonomik etkinlikler tarım ve hayvancılık ile turizm faaliyetleridir. Turizm faaliyetleri özellikle yaz mevsiminde gözlenmekle birlikte önemli bir kısmını, yerli turist ve günü birlikçiler oluşturmaktadır. Bölgede akarsu kenarlarındaki alçak düzlükler tarım alanlarıdır. Bu arazilerde daha çok buğday ve ayçiçeği ve kısmen de mısır, yulaf, arpa ve soğan ekilir. Silivri ilçesi 38.202 hektarlık toplam işlenen tarım alanı ile 68.191 hektara sahip İstanbul'a ait tarım alanının %56'sını oluşturarak en fazla tarım alanına sahip ilçesidir. Bağ-bahçe arazilerinde ise çeşitli meyve ve yemiş üretimleri yapılmaktadır. Bölgedeki hayvancılık faaliyetleri büyükbaş ve küçükbaş hayvan yetiştiriciliği, mandıracılık ve arıcılık şeklindedir (URL-1).

1.3 Önceki Çalışmalar

Çalışma alanı ve yakın çevresinde gerçekleştirilmiş olan; çalışma konusu ile ilişkili ve bölgenin jeolojisini anlamaya yönelik yayınlar, önceki çalışmalar başlığı altında aktarılmaya çalışılmıştır.

Turgut ve diğ. (1983), Trakya Tersiyer Havzası'nın jeolojik evrimini yorumladıkları çalışmada Ergene ve Kırcasalih Formasyonlarını, Ergene Grubu adı altında incelemişlerdir. Turgut ve diğ. tarafından gerçekleştirilen çalışmada havzanın jeolojik evrimine ilişkin yorumların özeti şu şekildedir: Orta Eosen'de transgresyon başlamış, Alt Oligosen'de havzanın tamamı transgresif çökellerle kaplanmıştır. Bu çökelme sürecini takiben volkanizma şekillenmiştir. Alt Miyosen başlarında havzanın yükselmesiyle ilişkili olarak çökelme regresyonel bir ortamda şekillenmeye başlamıştır ve bunun sonucu olarak aşınmanın da etkisiyle kalın gölsel ve akarsu fasiyesleri gelişmiştir. Orta Miyosen'de etkili olan tektonizma sonucunda kuzey ve güney kıyılarında geniş çaplı kırılma ve kıvrılma şekillenmiş olup, daha sonra gelişen tektonik hareketlerle havza bugünkü halini almıştır.

Sümengen ve diğ. (1987), Gerçekleştirmiş oldukları çalışmada Ergene Formasyonu'ndan, Ergene Grubu olarak bahsetmektedirler. Grubun çoğunlukla akarsu ürünü kum, çakıl ile az miktarda silt ve kilden oluşan, Miyosen yaşlı bir istif olduğunu belirtmişlerdir. İstif kalınlığının 40-400 m, bazı yerlerde 1000 m'ye yakın olduğunu açıklamışlardır.

Yeniyol (1987), Trakya'da Enez (Edirne) İlçesine yakın kesimde Oligosen yaşlı piroklastik kayaçlar içerisindeki bentonit oluşumunu çalışmıştır. Bu oluşum literatürde Enez bentonitleri olarak bilinmektedir. Çalışmacı bentonitteki ana mineral olan smektit türü kil minerallerinin andezitik özellikteki piroklastik kayaçların volkanik camlarında otijenik oluşumlar olarak geliştiğini açıklamıştır.

Koral (1997), Trakya Havzası Doğusunun Neotektoniği başlıklı çalışmada, çalışmacı bölge birimlerini Temel Birimleri ve Tersiyer Sedimanter İstifi başlıkları altında incelemiştir. Bölgenin jeolojik evriminin de aktarıldığı çalışmada; neotektonik evrimin oldukça karışık olduğuna, Trakya fayının gelişimine sebep olan tektonizmanın havzanın bugünkü halini almasında etkili olduğuna değinilmiştir. Trakya Havzası'nın doğusu için Orta-Eosen-Alt Oligosen süresince resifler içeren sığ bir denizle kaplandığını, Alt Oligosen-Alt Miyosen süresince de etkili bir yükselme evresi geçirerek, önce sığ deniz ve delta özelliği kazandığını, sonra kara haline dönüştüğünü belirtmiştir.

Erdoğan ve diğ. (1999), Silivri çevresindeki Ergene Formasyonu'nun agrega potansiyeli ve özelliklerini ele aldıkları çalışmada; bölgenin jeolojik ve litolojik

özelliklerini sunmuş, Ergene formasyonunun kökenine ve oluşum mekanizmasına değinmişlerdir. İstifin %70-80 oranında kum, %20-30 oranında çakıl boyutlu malzemeden oluştuğunu belirtmişlerdir. Gerçekleştirdikleri deneyler sonucunda; yıkama olmaksızın bölge malzemesinin kullanılamayacağını, yıkanmış kumun inşaat sektöründe kullanılabileceğini belirtmişlerdir. Bölgedeki malzemesinde çakıl formunda bentonit bulunduğunu ve yıkama sürecinde şişerek tanelere yapıştığını belirtmişlerdir. Ek olarak bölge çakıllarının doğal özellikleri sebebiyle nitelikli beton üretimine uygun olmadığını, kullanılabilmesi için mutlaka kırıcıdan geçirilmesi gerektiğini de belirtmişlerdir. Gerçekleştirmiş oldukları çalışmada ocaklar bölgesinde bir milyar m^3 dolayında rezerv belirlemiş ve yüzeysel yayılım değerlendirildiğinde formasyonun agrega potansiyelinin çok daha yüksek olacağına değinmişlerdir.

Yenipazar (2000), Büyükkılıçlı (Silivri) bentonitinin döküm ve sondaj sanayi yönünden özelliklerinin incelemesi başlıklı çalışma kapsamında, inceleme alanının 1/25.000 ölçekli ve bentonitin yoğun olarak gözlemlendiği mevkilerin 1/5.000 ölçekli jeoloji haritalarını hazırlamıştır. Bentonit örnekleri ile gerçekleştirdiği çalışmalar sonucunda malzemenin yoğun oranda montmorillonit kil minerali içerdiğini saptamıştır. TSE 5360 standartlarına göre bakıldığında bölge bentonitinin, döküm bentoniti olarak kullanıma uygun olmadığı sonucuna ulaşmıştır. Sondaj sanayi yönünden kullanılabilirliği çalışmalarında TSE 977 ve API standartlarına uygunluğu takip eden çalışmacı, deneyleri ham ve soda ile modifiye edilmiş bentonit örnekleri ile gerçekleştirmiştir. Sondaj sanayi yönünden ham bentonitin, sondaj bentoniti üretimine uygun olmadığını; %4,5 soda katkısıyla üretilmiş bentonitten en yüksek verimi aldıklarını belirtmiştir.

Türkecan ve Yurtsever (2002), MTA tarafından uygulamaya alınan Türkiye Jeoloji Haritası isimli proje kapsamında, 1/500.000 ölçekli İstanbul paftası (Rodop-Istranca, İstanbul ve Sakarya zonlarını kapsayan bölge) için jeoloji haritasını oluşturmuşlardır. Litolojileri sedimanter kayalar, volkanik kayalar, metagranit, metamorfik kayalar ve ofiyolitik kayalar başlıkları altında gruplayarak sunmuş; litolojik özelliklere de bu başlıklar altında değinmişlerdir.

İBB (2005, 2017, 2020), 2005: Planlama ve İmar Daire Başkanlığı, Zemin ve Deprem İnceleme Müdürlüğü tarafından gerçekleştirilen çalışmada; İstanbul il alanının genel jeoloji özellikleri incelenmiştir. İstanbul il sınırları içerisinde metamorfik ve metamorfik olmayan iki büyük kaya stratigrafi topluluğunun bulunduğuna değinilen

çalışmada; metamorfizma gösteren istif "Istranca Birliği", metamorfizma göstermeyen istif ise "İstanbul Birliği" adlarıyla açıklanmıştır.

_2017: Deprem Risk Yönetimi ve Kentsel İyileştirme Daire Başkanlığı, Deprem ve Zemin İnceleme Müdürlüğü tarafından gerçekleştirilmiş olan İstanbul ili, 1/25.000 ölçekli arazi kullanımına esas jeolojik etüt raporu başlıklı çalışmada, İstanbul il alanının genel jeomorfolojik ve jeolojik özellikleri ile formasyonların ilişkileri verilmektedir. Bölgenin jeolojisini Istranca Birliği, İstanbul Birliği ve Üst Kretase-Tersiyer stratigrafi birimleri başlıkları altında sunulmuştur. Formasyon ve üye bazında farklı adlandırmaların deneştirmelerine de yer verilmiştir.

_2020: Deprem Risk Yönetimi ve Kentsel İyileştirme Daire Başkanlığı, Deprem ve Zemin İnceleme Müdürlüğü tarafından Çatalca ve Silivri bölgeleri için gerçekleştirilmiş olan çalışmadadır. Bölgenin jeomorfolojik, jeolojik ve hidrojeolojik özellikleri ile depremselliği ve kütle hareketleri çalışılmıştır.

Siyako (2006), Trakya tersiyer havzasının litostratigrafik çatısını ve havzayı oluşturan birimlerin detaylı tanımlamalarını derleyerek sunduğu çalışmadır. Havza içerisinde farklı bölgelerde, farklı formasyonlar olarak tanımlanmış birimlerin deneştirmelerine de yer vermektedir. Trakya'da Yenimuhacir Grubu'na ait olan ve Keşan'dan Büyükçekmece'ye kadar alanlarda görülen linyitli kumtaşlarının Osmancık ve Danişmen Formasyonlarının eşdeğeri olduğunu belirtmiştir. Ek olarak önceki çalışmacılar tarafından tanımlanmış olan Ergene Formasyonu'nun üst kesimlerinin Kırcasalih Formasyonu'na karşılık geldiğini belirtmiştir.

Hasdemir (2007), gerçekleştirmiş olduğu çalışmada Marmara bölgesinin farklı alanlarında işletilmekte olan farklı kökenli doğal kumların beton özelliklerine etkisini incelemiştir. Çalışma kapsamında gerçekleştirilen jeolojik, mineralojik, kimyasal incelemeler ve standart agrega deneyleri sonucunda; doğal kumların bünyesinde bulunan kil minerallerinin uygun ve etkin yıkama sonrası uzaklaştırılması ile kumların fiziksel ve dayanıklılık özelliklerinin değiştirilebildiğine, buna paralel olarak beton ve harç dayanımları arttırılabildiğine değinilmiştir.

Hasdemir ve diğ. (2012) tarafından gerçekleştirilen çalışmada; Marmara Bölgesi'ndeki yedi farklı kum ocağından alınmış doğal kum örneklerinin alkali-silika reaktivitesinin karşılaştırması amaçlanmıştır. Bu amaçla gerçekleştirilen inceleme ve analizler sonucunda, aktif silika ve silikat mineralleri, metamorfik ve volkanik kaya

parçacıkları içeren kumların alkali-silika reaksiyonu için potansiyel olarak tehlikeli olduğunu tespit etmişlerdir.

Erdoğan ve Mahmutoğlu (2009), Büyükkılıçlı (Silivri) civarındaki Çantaköy formasyonunda bulunan bentonitin metal döküm sanayinde kullanılabilirliğini araştırmışlardır. Hem doğal hem de soda katkılı örnekler üzerinde gerçekleştirdikleri çalışmalar sonucunda, bölge bentonitlerinin soda katkısıyla geliştirme işlemi sonrası döküm sanayinde kullanılabileceğini belirtmişlerdir.

Tuğrul ve Yılmaz (2015) ve Tuğrul (2017) tarafından gerçekleştirilen çalışmalarda; İstanbul ve çevresindeki agrega kaynaklarının etkin ve sürdürülebilir kullanımını sağlamak için bölge plan ve programının, mühendislik jeolojisi araştırma verileri dikkate alınarak oluşturulması gerekliliğine değinmişlerdir. Ek olarak kaynakların sürdürülebilir yönetimi için yeni stratejilerin geliştirilmesinin gerekliliği vurgulamışlardır.

Esenli ve diğ. (2010) ve Esenli ve diğ. (2019) tarafından yapılan çalışmalarda Çorlu (Tekirdağ) Bölgesinde, Ergene Formasyonu içindeki kum ocaklarının mil havuzları kil bileşenleri açısından incelenmiştir. Hem kum hem de doğrudan kil seviyeleri çalışılmıştır. Kumlarda <44 μm fraksiyonunun toplam malzemenin % 4-17' si olduğu, çakıllarda ise % 2 olduğu açıklanmıştır. XRD verilerine göre; tüvanan kumun mineralojik bileşimi kuvars + feldspat + muskovit + klorit + smektit (<% 10) olarak belirlenmiş; mil havuzu malzemesinin ise smektit (>% 50) + kuvars + feldspat + klorit olarak ortaya konmuştur. Mil havuzu malzemesinin kil fraksiyonu örneğinin ise büyük oranda smektit (% >85) ile az oranlarda klorit-kaolinit ve illit içerdiği rapor edilmiştir. Bu çalışmalarda, kum litolojilerindeki ince boyut malzemenin, dolayısıyla mil havuzu malzemesinin de nem içerikleri % 4,12-5,88, şişme indeksi değerleri 2-3 ml/2g, su emme kapasitesi % 120-135 ve yağ emme kapasitesi % 34-54 ve katyon değişim kapasitesi 0,3 meq/g olarak verilmiştir. Sonuç olarak, Ergene Formasyonu'nun litolojilerinden malzeme alımı yapılan ocaklarında kullanılmayan-değerlendirilmeyen ince boyutlu malzemenin toplam rezervin içinde % 2-15 (ağırlıkça) arasında olduğu; genelde ise % 5-10 oranında beklenebileceği anlaşılmıştır. Bölgede, sadece ocaklar bazında düşünüldüğünde de smektit içeriği yüksek (% >50) ve bazı bentonit standartlarını sağlayabilecek özellikte önemli bir atık malzeme stoku bulunduğu bildirilmiştir.

Perinçek ve diğ. (2015), Danişmen Formasyonu'nun stratigrafisini ve birim içindeki linyit düzeylerinin havzadaki dağılımını incelemişlerdir. Danişmen Formasyonu içindeki linyitli seviyelerin ekonomik değerlendirmesini amaçlayan çalışma kapsamında; pek çok kuruluş tarafından sağlanan kuyu ve sismik veriden faydalanılmıştır. Linyitli seviyelerin yanal değişimlerini saptayabilmek amacıyla korelasyonlar hazırlamışlardır. Amaca yönelik olarak Ergene-Kırcasalih formasyonlarının toplam kalınlık haritalarını da oluşturan Perinçek ve diğ. bu formasyonlar ile Danişmen Formasyonu'nun kalınlık dağılımını kontrol eden faktörün Orta Miyosen sırasında etkin olan Trakya Fay sistemi olduğunu belirtmişlerdir. Ergene Formasyonu için kalınlığın, havza kenarında 0-60 metre aralığında, havza ortalarında ise 800-1200 metre aralığında olduğunu; Danişmen Formasyonu içinse havza ortasında kalınlığın 1300 metreyi geçtiğini belirtmişlerdir.

Ekinci Şans (2018), gerçekleştirmiş olduğu çalışmada, İslambeyli Formasyonu'nun ve bentonit oluşumlarının jeolojisi, mineralojisi, jeokimyası ve teknolojik özelliklerini incelemiştir. Çalışma sonucunda Lalapaşa alanı için smektit oranının %50-95 arası iken, Pınarhisar alanı için bu oranın %50'den az olduğunu belirtmiştir. İslambeyli Formasyonu'nda bulunan smektitlerin, montmorillonitik dioktahedral Ca-smektit olduğunu; oluşumlarının ise doğrudan çökelme, çözünme-çökelme ve psödomorfik dönüşümler şeklinde gerçekleşmiş olduğunu belirtmiştir. Gerçekleştirmiş olduğu karakterizasyon deneyleri sonucunda, Lalapaşa alanında yer alan ocaklara ait Ca-bentonitlerin endüstriyel hammadde olarak sınıflanabilecekleri sonucunu paylaşmıştır.

Şafak (2019), Babaeski-Lüleburgaz-Muratlı-Çorlu bölgesindeki Paleojen-Neojen istiflerinin paleo ortamsal özellikleri ve ostrakod incelemesini yapmıştır. Çalışma alanı için oldukça geniş yayılım gösteren Danişmen ve Ergene formasyonlarının iyi korunmuş ostrakod faunası ile bazı katmanlarda mikro mollusk bulunduğunu saptamışlardır. Ostrakod ve mikro fauna örneklerine dayanarak sedimantasyon yaşının Erken Oligosen-Pliyosen olduğunu belirtmişlerdir.

Bekar ve diğ. (2021) ve Gökçe ve diğ. (2022), Silivri (İstanbul) bölgesinde Ergene Formasyonu'nun kil oluşumunun değerlendirilmesine yönelik çalışmalarında, ocaklardaki mil havuzu malzemesinin kedi kumu olarak değerlendirilebileceğini, topaklaşmanın başarılı olduğunu açıklamışlardır.

1.4 Çalışma Yöntemleri

1.4.1 Saha çalışmaları

Saha çalışmaları kum ocaklarının bulunduğu Silivri ilçesi (İstanbul) yakın kuzeyinde; Beyciler-Sinekli-Büyüksinekli çevresindeki bölgede gerçekleştirilmiştir. Saha çalışmalarında çalışma alanı olarak belirlenmiş bölgede yer alan jeolojik birimler gözlenmiş, formasyon/birim sınırları izlenmiş, tabaka durumları jeolog pusulası ile ölçülerek haritaya aktarılmıştır. Koordinat verileri için GPS uygulamasından faydalanılmıştır. Çalışma alanından incelemeler amacıyla; 13 adet mostradan (ocak aynaları) kum (kum+çakıl), 2 adet stok örneği kum, 2 adet yıkanmış-elenmiş kum ve çakıl ürünleri, 3 adet kil (bentonit), ve kum ocaklarına ait mil havuzlarından 2 adet mil çamuru örneği alınmıştır.

1.4.2 Laboratuvar çalışmaları

Laboratuvar çalışmaları; mineralojik-petrografik incelemeler ile kimyasal analiz çalışmalarını kapsamaktadır.

Binoküler mikroskop çalışmaları, Leica marka binoküler mikroskop yardımıyla gerçekleştirilmiş ve köken kayaç/mineral bileşimlerine ve bunların oranlarına yaklaşımlar getirilmiştir.

Optik mikroskop çalışmaları için 4 adet kum örneği İstanbul Teknik Üniversitesi (İTÜ), Maden Fakültesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, İnce Kesit Atölyesi'nde hazırlatılmıştır. Optik mikroskop incelemeleri Leica marka petrografik-polarizan mikroskop kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

X-ışınları kırınımı (X-Ray Diffraction; XRD) çalışmaları İTÜ, Maden Fakültesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, X-Işınları Laboratuvarında gerçekleştirilmiştir. Örnekler analiz öncesi, tüm örnek 325 mesh altı boyuta gelecek şekilde, Retsch-RS 200 marka öğütme cihazında öğütülmüştür. Tüm kaya ve kil fraksiyonu örneklerinin analizi Bruker D8 Advance marka X-ışınları difraktometresinde CuKα radyasyon ve Ni filtre kullanılarak, 2θ= 2-0° ile 2θ= 2-45° (bazı örnekler için 2-72°) aralıklarında, çekim hızı 2°/dakika/cm ve 1°/dakika/cm, 40kV voltaj ve 40 mA akım şartlarında gerçekleştirilmiştir.

Kil fraksiyonu çalışmaları, 2 adet örnekte havada kurutulmuş (HK), etilen glikollü (EG) ve yüksek sıcaklık/ısıtmalı (YS) XRD çekimleri olarak tamamlanmıştır. Kil

fraksiyonu için örnekler 100 g saf su ile karıştırılarak 24 saat boyunca çökelme için bekletilmiştir. Sedimantasyonun gerçekleştiği süspansiyonlar daha sonra kil partiküllerinin birbirinden ayrılması için UH-500B marka ultrasonik homojenleştiricide 10 dk titreşime tabii tutulmuştur. Süspansiyonlar en son olarak Beckman Coulter Avanti J-E marka santrifüje yerleştirilerek 2 dk süreyle 4000 rpm döndürme değerinde iki kez yıkama ve 10 dk süreyle 10000 rpm, döndürme şartları altında çöktürme işlemine tabii tutulmuştur. Elde edilen süspansiyonlardan <2 μm olacak şekilde yönlenmiş kil boyu fraksiyonları elde edilmiştir. Bu yönlenmiş fraksiyonlar cam lameller (ince kesit) üzerine ince tabakalar halinde sürülüp "pasta" yapılarak kurumaya bırakılmıştır. Kil fraksiyonu-HK örneklerinin XRD analizi doğrudan doğruya kuruma sonrası yapılmıştır. Kil fraksiyonu-EG örneklerin XRD çekimi yönlenmiş kil fraksiyonu örneklerinin 60 °C'de 16 saat süreli etilen glikol buhar banyosunda bırakılmasının ardından gerçekleştirilmiştir. Kil fraksiyonu-YS örneklerin oluşturulması için hazırlanmış olan pastalar 350-400 °C sıcaklıkta 2 saat fırınlanmıştır. Fırından çıkarılan örnekler yaklaşık 10 dk desikatörde bekletildikten sonra XRD çekimine maruz bırakılmışlardır. Kil fraksiyonu yönlenmemiş numunelerin paternlerinde d(060) mesafesinin değeri elde edilmiştir.

Taramalı elektron mikroskobu (Scanning Electron Microscope; SEM) çalışmaları; bentonit ve 1 adet mil havuzu örneği için yaptırılmıştır. Bentonit örneği; İTÜ, Kimya-Metalürji Fakültesi, Biyomalzeme Araştırma ve Karakterizasyon Laboratuvarı'nda, JEOL JSM 7000F marka alan emisyonlu taramalı elektron mikroskobu (Field Emission-Scanning Electron Microscope, FE-SEM) kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Mil havuzu örneğine ait SEM analizi ise İTÜ, Membran Teknolojileri Merkezi (MEM-TEK), Uygulamalı Araştırma Merkezinde yaptırılmıştır. Örneklerin taze ve düzgün yüzeye sahip parçaları alüminyum tutuculara yerleştirilerek iletkenliğin sağlanabilmesi için 2 mbar, 15 mA ve 50 sn şartlarında SPI-MODULE marka püskürtmeli kaplayıcıda, yaklaşık 150 Å kaplama kalınlığında olacak şekilde Pt-Pd alaşımı ile kaplanmıştır. Kaplanan örnekler taramalı elektron mikroskobuna yerleştirilerek 10 kV voltaj, 5-15 mA akım ve 10-20 sn sayma zamanı şartları altında görüntüler elde edilmiştir. Mil havuzu örneği için, Oxford/Inca marka enerji dağılım spektrometresi (EDS) yardımıyla yarı-kantitatif kimyasal analiz değerleri de elde edilmiştir.

Tüm kaya ve kil fraksiyonu kimyasal analiz çalışmaları; majör oksit, iz element ve nadir toprak element analizleri İTÜ, Maden Fakültesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Jeokimya Analiz Laboratuvarı'nda (JAL) yaptırılmıştır. Majör oksit ve bazı iz element analizlerinde X-Işınları Flüoresans (X-Ray Fluorescence, XRF) ve indüklenerek birleşmiş plazma kütle spektrometresi (Inductively Coupled Plasma Mass Spectrometry, ICP-MS) yöntemi uygulanmıştır. Bu çalışmalar için, 7 adet örnek kullanılmıştır. XRF analizlerinde Bruker S8 Tiger model dalga boyu dağılımlı cihaz kullanılmıştır.

1.4.3 Büro çalışmaları

Büro çalışmaları literatür araştırması, arazi ve laboratuvar çalışmalarının derlenmesi kısmını oluşturmaktadır. Elde edilen tüm veriler bu aşamada değerlendirilerek düzenlenmiştir. Harita ve çeşitli görsellerin düzenlenmesinde CorelDraw 2019 programı; haritaların sayısallaştırılması aşamasında Global Mapper ve Google Earth Pro programları; yazım ve tabloların düzenlenmesinde ise Microsoft Office programları kullanılmıştır.

2. JEOLOJİ

2.1 Bölgesel Jeoloji

Çalışma alanı Doğu-Güney Doğu Trakya Bölgesi'nde, Silivri kuzeyinde yer almaktadır. Ana hatlarıyla bölge üç ana jeolojik topluluktan oluşmaktadır. Bu jeolojik topluluklar; bölge kuzeyinde yaklaşık KB-GD uzanımlı Istranca Birliği'ne, bölgenin doğusunda İstanbul Birliği'ne ve güneyinde Trakya Tersiyer Havzası'na ait birimlerden oluşmaktadır.

Doğu Trakya olarak anılan bölgenin kuzeyinde yer alan metamorfik ve magmatik birimler Istranca Birliği olarak adlandırılmıştır. Istranca Birliği; Tekedere Formasyonu, Kırklareli Grubu (Şeytandere ve Kızılağaç Metagranitleri ile Sivriler Metagranodiyoriti), Kocabayır Grubu (Şermat Kuvarsiti, Çiftlik Kuvarsşisti, Rampana Kuvarsşisti, Mahya Şisti ve Demirköy Sokulumu) ve Dolapdere Grubu (Çukurpınar Kalkşisti, Keltepe Formasyonu, Kapaklı Dolomiti ve Karlık Mermeri) olarak tanımlanmış birimlerden oluşmaktadır (Okay ve Yurtsever, 2006). Bu birlik Permiyen öncesi - Üst Kretase yaş aralığına sahiptir.

Istranca Birliği'nin temelini amfibolit ve yüksek yeşilşist fasiyesinde metamorfizmaya uğramış, kesin yaş verisi bulunmayan Tekedere Formasyonu ile Permiyen yaşlı birimlerden oluşan Kırklareli Grubu oluşturmaktadır. Bu temel üzerine uyumsuz olarak; Triyas-Jura yaşlı, düşük yeşilşist fasiyesinde metamorfizmaya uğramış, genel olarak metaçakıltaşı, metakumtaşı ve şistlerden oluşan Kocabayır Grubu (Demirköy Sokulumu hariç) yer almaktadır (Okay ve Yurtsever, 2006). Kocabayır Grubu üzerine uyumsuz olarak Dolapdere Grubunu oluşturan Orta Triyas-Jura yaşlı, zayıf metamorfizma ürünü olan mermer, kalkşist ve dolomitten oluşan birimler gelmektedir. Kocabayır Birliği'ne ait Demirköy Sokulumu için belirlenmiş yaş Üst Kretase'ye (84.0±1.6 My – 70.9±3.5 My) denk gelmektedir (Moore ve diğ., 1980; Ohta ve diğ., 1988; Çağlayan ve Yurtsever, 1998). Demirköy sokulumu egemen kaya türü granodiyorit olup, granit, siyenit, monzonit, diyorit vb. derinlik kayaçlarını da kapsamaktadır. Gelişimi esnasında Şermat kuvarsiti, Çiftlik ve Rampana Kuvarsşistleri ile Dolapdere Grubu'na ait birimleri kesen Demirköy sokulumu

birimleri, yer yer bu birimlerin dokanak zonlarında kontak metamorfizmaya sebep olmuşlardır (Aydın, 1988; Çağlayan ve Yurtsever, 1988; Okay ve diğ. 2001; Okay ve Yurtsever, 2006).

Istranca Birliği başlığı altında toplanmış olan bu birimler üzerine; Üst Kretase yaşlı İğneada Grubu (Sislioba Kumtaşı, Kadembaba Formasyonu, Rezve Formasyonu ve Limanköy Formasyonu) birimleri gelmektedir. Grubu oluşturan ve genel olarak kumtaşı, çamurtaşı, şeyl ve tüf içeren birimler metamorfik olamamaları sebebiyle Istranca birliğine dahil edilmemişlerdir (İBB, 2017)

Bölgenin doğusuna bakıldığında İstanbul Birliği olarak adlandırılmış birimler görülmektedir. İstanbul Birliği ile Istranca Birliğini yan yana getiren önemli tektonik aktivitenin niteliği, günümüzde hala netlik kazanmamıştır. İstanbul Birliği, Alt Ordovisiyen-Üst Triyas yaş aralığında bulunan birden fazla formasyonu ifade etmesine karşın; bölgenin Doğu Trakya olması sebebiyle İstanbul Birliği'nin yalnızca İstanbul Boğazı batı yakasında yer alan birimleri olan Denizli Köyü Formasyonu-Baltalimanı Üyesi ile Trakya Formasyonu aktarılmaya çalışmıştır. Baltalimanı Üyesi Üst Devoniyen yaşlı, genel olarak silisli şeyl arakatkılı liditlerden oluşmaktadır. İstanbul Boğazı batı yakasında kısıtlı bir alanda gözlemlenmektedir. Alt Karbonifer yaşlı Trakya Formasyonu İstanbul boğazı batı yakasında geniş bir alanda yayılım göstermektedir. Dört üyesi (Acıbadem, Cebeciköy Kireçtaşı, Kartaltepe ve Küçükköy Üyeleri) bulunan formasyon genel olarak kumtaşı, miltaşı ve şeyl ardalanmasından oluşmaktadır. Ek olarak formasyonun çakıltaşı ile farklı kalınlıklarda kireçtaşı ara katkı ve mercekleri (çoğunlukla formasyonun alt seviyelerinde) içerebildiği bilinmektedir (Önalan, 1981; Tüysüz ve diğ., 2004; Özgül, 2005). İstanbul Birliğinde dahil edilmemiş olan Sarıyer Grubu-Garipçe Formasyonuna ait birimler; çoğunlukla volkanitlerden oluşmakta ve İstanbul Boğazı batı yakası kuzey ucu ile Arnavutköy güneyinde kısıtlı bir alanda gözlemlenmektedir (İBB, 2017).

Doğu Trakya bölgesinin orta ve güney kısımlarına bakıldığında, Trakya Tersiyer Havzası olarak adlandırılan jeolojik topluluk yer almaktadır. Bu topluluğu oluşturan birimlerin, neredeyse tüm Doğu Trakya'yı kapladığı bilinmektedir. Topluluk Gaziköy, Keşan, Koyunbaba, Soğucak, Ceylan, Pınarhisar, Danişmen, Hisarlıdağ, İstanbul Formasyonu, Çekmece ve Kırcasalih Formasyonlarından oluşmaktadır.

Gaziköy Formasyonu; Doğu Trakya bölgesi, Gaziköy kuzey batısında kalan Ganosdağ eteklerinde yaklaşık KD-GB uzanımlı olarak, kısıtlı denebilecek bir alanda gözlenmektedir (Kasar ve diğ., 1983; Sümengen ve diğ., 1987). Orta Eosen yaşlı bu birim, ince kumtaşı, siltaşı ve silisifiye tüf seviyeleri içeren şeyllerden oluşmaktadır. Alt dokanağı gözlemlenemeyen birimin, üstte dereceli olarak Keşan Formasyonuna geçtiği bilinmektedir. Geç Eosen yaşlı, klastiklerden oluşan Keşan Formasyonu; Gelibolu Yarımadası kuzeyinde gözlemlenir ve birim üst dokanağı Mezardere Formasyonu ile dereceli geçişlidir (Kasar ve diğ., 1983; Siyako, 2006).

Koyunbaba Formasyonu Istranca dağlarının güney eteklerinde, Çatalca (İstanbul) batısında ve Arnavutköy (İstanbul) güneyinde gözlemlenmektedir. Birim, çakıltaşı ve kumtaşından oluşmasına karşın yer yer marn, kil ve kireçtaşı da gözlemlenmektedir. Orta-Geç Eosen yaşlı birimin taban ilişkisi kendinden yaşlı birimler üzerine uyumsuz iken; üst sınır ilişkisi Soğucak Formasyonu ile dereceli geçişlidir (Batı ve diğ., 2002; Siyako, 2006). Birim için İslambeyli Formasyonu adlandırması da çeşitli çalışmacılar tarafından kullanılmıştır (Keskin, 1966; Umut ve diğ., 1984; Çağlayan ve Yurtsever, 1988; Duman ve diğ., 2004).

Soğucak Formasyonu, kuzeyde yer alan Istranca Birliği birimlerinin güneyinde, bu birimler üzerine uyumsuz olarak gözlemlenmektedir. Doğu yönüne bakıldığında Başakşehir (İstanbul) kuzeyinde ve güneyinde gözlemlenen birim; Keşan (Edirne) ilçesi Mecidiye köyü civarında da gözlemlenir. Orta-Geç Eosen yaşlı fosilli kireçtaşından oluşan birim, Koyunbaba Formasyonunun gözlemlenmediği durumlarda kendinden yaşlı birimleri uyumsuzluk ile örter. Üst dokanak ilişkisi ise Ceylan Formasyonu ile dereceli geçişlidir (Kasar ve diğ., 1983; Sümengen ve diğ., 1987; Özgül, 2005).

Başlıca marn, killi kireçtaşı ve kireçli kil taşından ardalanmasından oluşan Ceylan Formasyonunda; kumtaşı ve kireçtaşı ara katkıları ile alt seviyelerinde tüf ara düzeyleri de bulunmaktadır. Büyükçekmece (İstanbul) kuzeyinden Karadeniz'e kadar olan kesimde, Gelibolu Yarımadası KB kenarında ve Mecidiye Köyü (Edirne) kuzeyinde gözlemlenmektedir. Geç Eosen-Erken Oligosen yaşlı birimin üst dokanağı, Danişmen Formasyonu ile dereceli geçiş gösterir. Birimin Pınarhisar Formasyonu ile olan dokanak ilişkisi ise uyumsuzdur. Ek olarak Siyako, (2006) tarafından birimin Güney Trakya'da haritalanan Keşan Formasyonun üst seviyelerinin eşiti olduğu belirtilmiştir.

Pınarhisar Formasyonu başlıca çakıltaşı ara katkılı kireçtaşı, kalkarenit ve çakıllı kum taşından oluşmaktadır. Pınarhisar (Kırklareli) doğusundan, Çatalca (İstanbul) çevresine kadar dar şeritler şeklinde gözlemlenebilmektedir (Siyako, 2006). Erken Oligosen yaşlı birim uyumsuz olarak Soğucak Formasyonu üzerinde yer alır. Birim üst sınırında Danişmen Formasyonu-Süloğlu Şeyl Üyesi ile uyumludur. Umut ve diğ. (1983) Saray-Safaalan yolunda bu iki birimin ardalandıklarını, buna karşın Pınarhisar çimento fabrikası ocaklarında gözlemlenen dokanak ilişkisinin ise uyumsuz olduğunu belirtmişlerdir.

Danişmen Formasyonu, birçok çalışmacı tarafından Mezardere ve Osmancık Formasyonları ile Yenimuhacir Grubu adı altında incelenmiştir (Boer, 1954; Beer ve Wright, 1960; Holmes, 1961; Ünal, 1967; Kasar ve diğ., 1983; Umut ve diğ., 1984, Duman ve diğ., 2004; Siyako, 2006). Ek olarak Siyako ve Kasar (1985) gerçekleştirdikleri çalışmada, Danişmen Formasyonu tabanında Taşlısekban ve Pınarhisar üyelerini, formasyon içerisinde ise Armut burnu üyesini ayırtlamıştır. Birbiriyle girik olan bu çökeller, Özgül (2005) tarafından Danişmen Formasyonu adı altında toplanmıştır. Oligosen-Erken Miyosen yaşlı formasyon, çoğunlukla kumtaşı, çakıltaşı, kiltaşı, çamurtaşı ve şeylden oluşmaktadır. Tüf-tüfit ve kömür (linyit) ara düzeyleri de gözlemlenebilmektedir. Formasyon altı alt üyeye ayırtlanmıştır: Süloğlu Şeyl, Silivri Kumtaşı, Gürpınar, Çantaköy Tüf, Sinekli ve Ağaçlı üyeleri. Doğu Trakya Bölgesi'nde Büyükçekmece Gölü'ne kadar oldukça geniş alanda bulanan birim; İstanbul ve Kırcasalih Formasyonları'na ait birimler tarafından uyumsuz olarak örtülür. Üzerinde yer aldığı kendinden yaşlı birimlerle olan dokanak ilişkisi ise uyumsuzdur (Siyako, 2006; İBB, 2017).

Hisarlıdağ Formasyonu Enez (Edirne) doğusundaki Hisarlıdağ mevkiinde gözlemlenmektedir. Birim genel olarak tüf, andezit, bazalt ve ignimbiritten oluşmaktadır. Volkanizmanın aktif olmadığı dönemlerde çökelmiş olan kumtaşı, şeyl ve kömür seviyeleri de gözlemlenebilmektedir. Geç Oligosen yaşlı birim üzerinde yer aldığı Danişmen Formasyonu ve kendisini örten Miyosen yaşlı Çanakkale Grubu birimleri ile uyumsuz dokanak ilişkisine sahiptir.

Ergene Formasyonu olarak adlandırılmış birim birden fazla çalışmacı tarafından farklı adlandırmalarla anılmıştır. İlk kez Boer (1954) tarafından adlandırılan birim daha sonra; Trakya katı (Hochstetter, 1870; Lebküchner, 1974), Belgrat Çakılları (Baykal, 1963), Çukurçeşme Formasyonu (Sayar, 1977), Ergene Grubu (Umut ve diğ., 1983),

Trakya Formasyonu (Umut ve diğ., 1984; Yurtsever, 1996), Ergene Formasyonu (Duman ve diğ., 2004) ve Kıraç Formasyonu (Özgül, 2005) adları altında incelenmiştir. İBB (2017) tarafından gerçekleştirilen çalışmada, İstanbul Formasyonu adı altında toplanmış ve Kıraç, Kayalı Tepe ve Meşe Tepesi üyeleri ayırtlanmıştır. İstanbul Formasyonu neredeyse tüm Doğu Trakya'yı kaplamaktadır. Genel olarak çakıl ve kumdan oluşan birim, kil-mil boyutlu tutturulmamış gereçleri de içerir. Geç Oligosen-Erken Miyosen döneminde gelişen sıkışma hareketleriyle şekillenmiş karasallaşma ve peneplenme süreci sonucunda gelişmiştir. Geç Oligosen-Erken Miyosen yaşlı bu birimin altında ve üstünde yer alan birimlerle olan dokanak ilişkisi uyumsuzdur (Siyako, 2006).

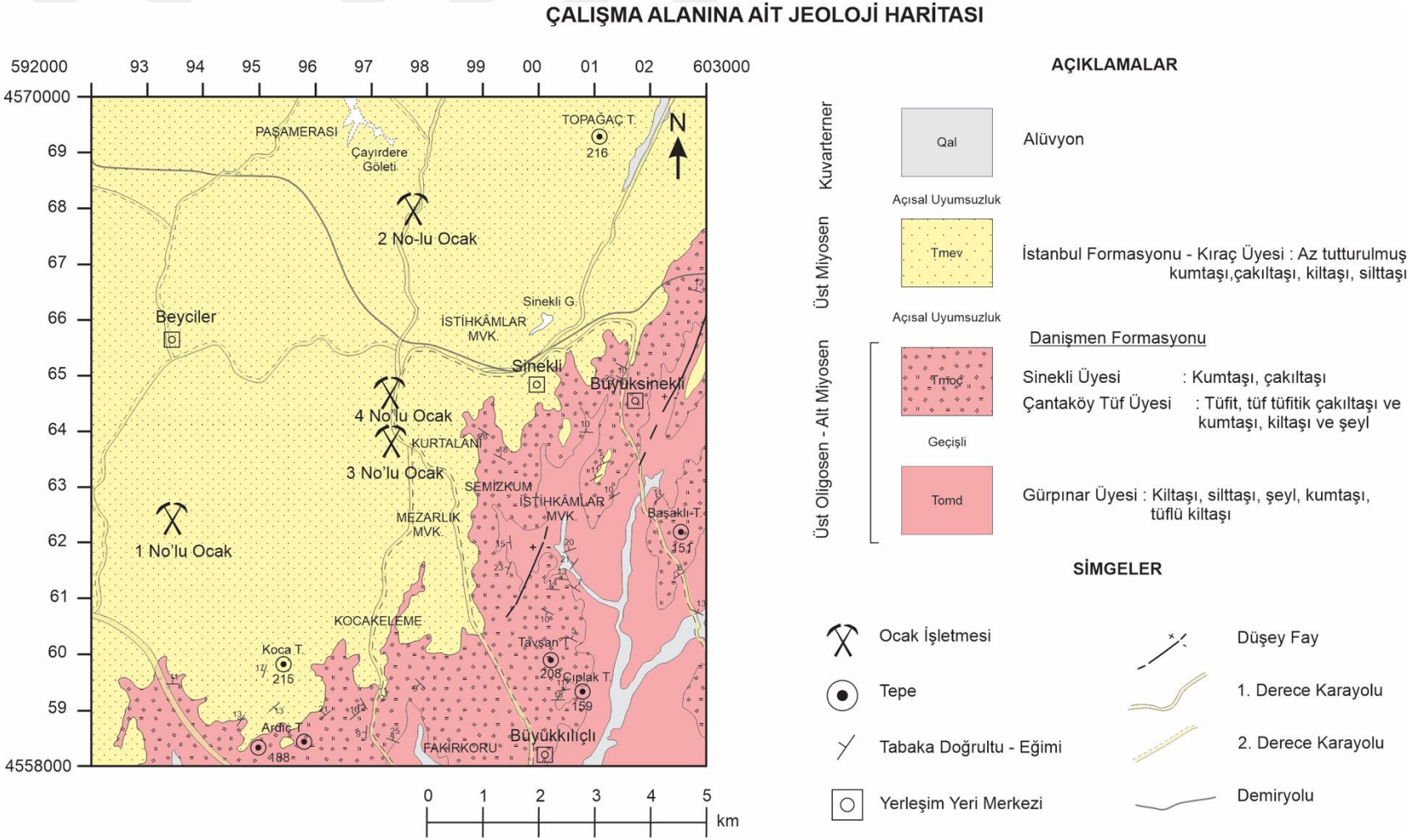
Çekmece Formasyonu Büyükçekme Gölü ve Haliç (İstanbul) arasında gözlemlenen, kum-çakıl, kil-mil ve marn-kireçtaşı birimlerinin oluşturduğu üç farklı düzey olarak tanımlanmıştır. Bu farklı düzeyler Çukurçeşme, Güngören ve Bakırköy üyeleri olarak ayırtlanmış (Sayar, 1989a) ve bu adlandırma Özgül (2005) tarafından da kullanılmıştır. Birim için Çekmece Grubu (Sayar, 1976; Siyako, 2006) adlandırması da kullanılmaktadır. Geç Miyosen yaşlı birim Doğu Trakya da yalnızca İstanbul il sınırı içerisinde gözlenmekte olup; Soğucak ve Pınarhisar formasyonları ile uyumsuz dokanak ilişkisine sahiptir. Birim üzerine Kuvarterner birimleri gelmektedir.

Kırcasalih Formasyonu bölge için Kuvarterner öncesi son birim niteliğinde olup; İğneada (Kırklareli) çevresi ile Ergene nehri vadisi ve Edine-Çerkezköy arasında gözlemlenmektedir. Geç Miyosen-Pliyosen yaşlı birim; tutturulmamış çakıl, kaba çakıltaşı ve kumtaşı ile kiltaşından oluşmaktadır. Birim neredeyse üzerinde yer aldığı tüm birimler ile uyumsuz dokanak ilişkisine sahip olup, birim üzerine Kuvarterner çökelleri gelmektedir (Umut ve diğ., 1988; Çağlayan ve Yurtsever, 1998; Türkecan ve Yurtsever, 2002; Siyako, 2006).

2.2 Çalışma Alanı Jeolojisi

Bu tez çalışması kapsamında seçilmiş olan kum-çakıl ocakları, Doğu Trakya'da neredeyse Trakya Tersiyer havasının tamamını oluşturan İstanbul Formasyonu (Ergene Formasyonu) içerisinde yer almaktadır. Silivri kuzeyi, Çayırdere - Beyciler - Sinekli - Büyük Sinekli - Bekirli mahalleleri (köyleri) hattı, çalışma alanı olarak belirlenmiştir. Çalışma alanı olarak belirlenmiş bölgeye bakıldığında, GD-KB istikametinde sırasıyla Danişmen Formasyonu; Gürpınar, Çantaköy Tüf ve Sinekli

üyeleri ile İstanbul Formasyonu-Kıraç üyesi görülmektedir. Bu birimler üzerinde çoğunlukla akarsu sistemleri yakın çevresinde yer alan alüvyonlar bulunmaktadır. İlerleyen başlıklarda birimler daha detaylı anlatılmaya çalışılmıştır.



Şekil 2.1 : Çalışma alanına ait jeoloji haritası; MTA (Özcan, 1982) ve İBB (2017)'den derlenerek oluşturulmuştur.

2.2.1 Danişmen Formasyonu-Gürpınar Üyesi

Danişmen Formasyonu-Gürpınar üyesi (İBB, 2017) olarak ayırtlanmış birim; kil-mil boyutlu gereçten ve ince kum ara katkılarından oluşmaktadır. Çalışma alanının GD kısımlarında yayılım gösteren birimin; yeşil-gri-bej-kahve renkli olabilen kil, kumlu kil, killi kum düzeyleri ancak bazı dere içlerinde görülebilmiştir.

Gürpınar Üyesi'nin çalışma alanındaki mostraları azdır ve birim genellikle sürülü tarım alanı ile örtülüdür. Görülebilen düzeylerde tabaka kalınlıkları da çoğunlukla anlaşılmamıştır; görülen bazı düzeylerdeki tabakaları ince kalınlıktadır.

Gürpınar Üyesi, Danişmen Formasyonu'nun diğer üyeleri ile düşey ve yanal geçişli olarak açıklanmıştır. Bu nedenle kalınlığının da farklılık gösterdiği belirtilmiştir. (Özgül, 2005; İBB, 2017)

2.2.2 Çantaköy Tüf Üyesi

Çantaköy Tüf Üyesi, Gürpınar Üyesi ile geçişlidir (Özgül, 2005). Gerek literatür bilgileri, gerekse saha çalışmalarında bu birimlerin yanal ve düşey geçişli olabileceğinin düşünülmesi nedeniyle çalışma alanının jeoloji haritasında (Şekil 2-1) Çantaköy Tüf Üyesi ile Sinekli Üyesi birlikte, tek bir birim olarak gösterilmiştir.

Çantaköy Tüf Üyesi yeşilimsi, boz, kirli beyaz renklerde; kaba kum boyu taneli, felsik tüf ve tüffitlerden oluşur. Belirli düzeylerde derecelenme, çapraz katmanlanma gösterir. Üyenin kalınlığı, Çantaköy yöresi için 100 m olarak belirlenmiştir ancak, yüzeylemelerinin büyük bölümünde birim kalınlığı 20-25m dolayındadır. Birim üst dokanağı Sinekli üyesi ile geçişli iken; Gürpınar dolayında İstanbul Formasyonu-Kıraç Üyesi ile uyumsuz dokanak ilişkisi göstermektedir (Umut, ve diğerleri, 1983).

Çantaköy Tüf Üyesi çalışma alanında oldukça kısıtlı bir alanda gözlemlenebilmiştir. Gözlemlenebildiği kısıtlı alanlarda birimin genel yüzey rengi grimsi koyu bej rengindedir. Mostralarda tüfit düzeyleri şeklinde, ince tabakalı seviyeler ile kumtaşı görünümlü ince tabakalı düzeylerin içinde beyazımsı, gri-bej renkli tüf blokları görülmüştür. Tüfit düzeylerinin taze yüzey rengi yer yer açık sarı ve koyu krem rengidir (Şekil 2.2).

Çantaköy Tüf Üyesi ile Sinekli Üyesi büyük olasılıkla yatay ve düşey geçişlidir. Çalışma alanında, Kocakeleme Mevkiinde Çantaköy Tüf Üyesi'nin tüfleri ile Sinekli

Üyesi kumtaşları mostraları kısıtlı olmasına rağmen çok yakın mesafede izlenebilirler. Bu ilişkinin yatay geçişli bir ilişki olabileceği düşünülmüştür.



Şekil 2.2 : Çantaköy Tüf Üyesine ait mostra (üstte) ve el örneği (altta) görünümü.

2.2.3 Sinekli Üyesi

Sinekli Üyesi haritada görünür kalınlığının azlığı ve Çantaköy Tüf Üyesi ile geçişli (düşey ve yanal) olması sebebiyle tek bir birim gibi haritalanmıştır. Birim çakıltaşı ara katkılı, kaba kum taşıdır (Duman ve diğerleri, 2004). Yaklaşık olarak 30-40m kalınlığa sahip olan birim üzerine uyumsuz olarak İstanbul Formasyonu-Kıraç Üyesi gelmektedir (Özgül, 2005). Tarım arazilerinin geniş alan kapladığı çalışma alanında, birim kısıtlı bir alanda gözlemlenebilmiştir. Grimsi yeşilimsi ayrışmış yüzey rengi ile

gözlemlenen birimden alınmış el örneğine bakıldığında; taze kırık yüzey renginin yeşilimsi gri, yer siyahımsı kahverengi olduğu gözlemlenmiştir. Birimi oluşturan tane boyutuna bakıldığında ince-kaba kum boyutlu tanelerden oluştuğu gözlemlenmiştir (Şekil 2.3). Çalışma alanı olarak belirlenmiş bölgede birimin Çantaköy Tüf Üyesi ile olan dokanak ilişkisinin izleri çok kısıtlı bir alanda gözlemlenebilmişken; diğer birimler ile olan dokanağı net olarak gözlemlenememiştir. Birimin kumtaşı düzeyleri yataya yakın tabaka eğimli olarak Çantaköy Tüf Üyesinin altında izlenmiştir ve büyük olasılıkla iki birim yanal geçişlidir.



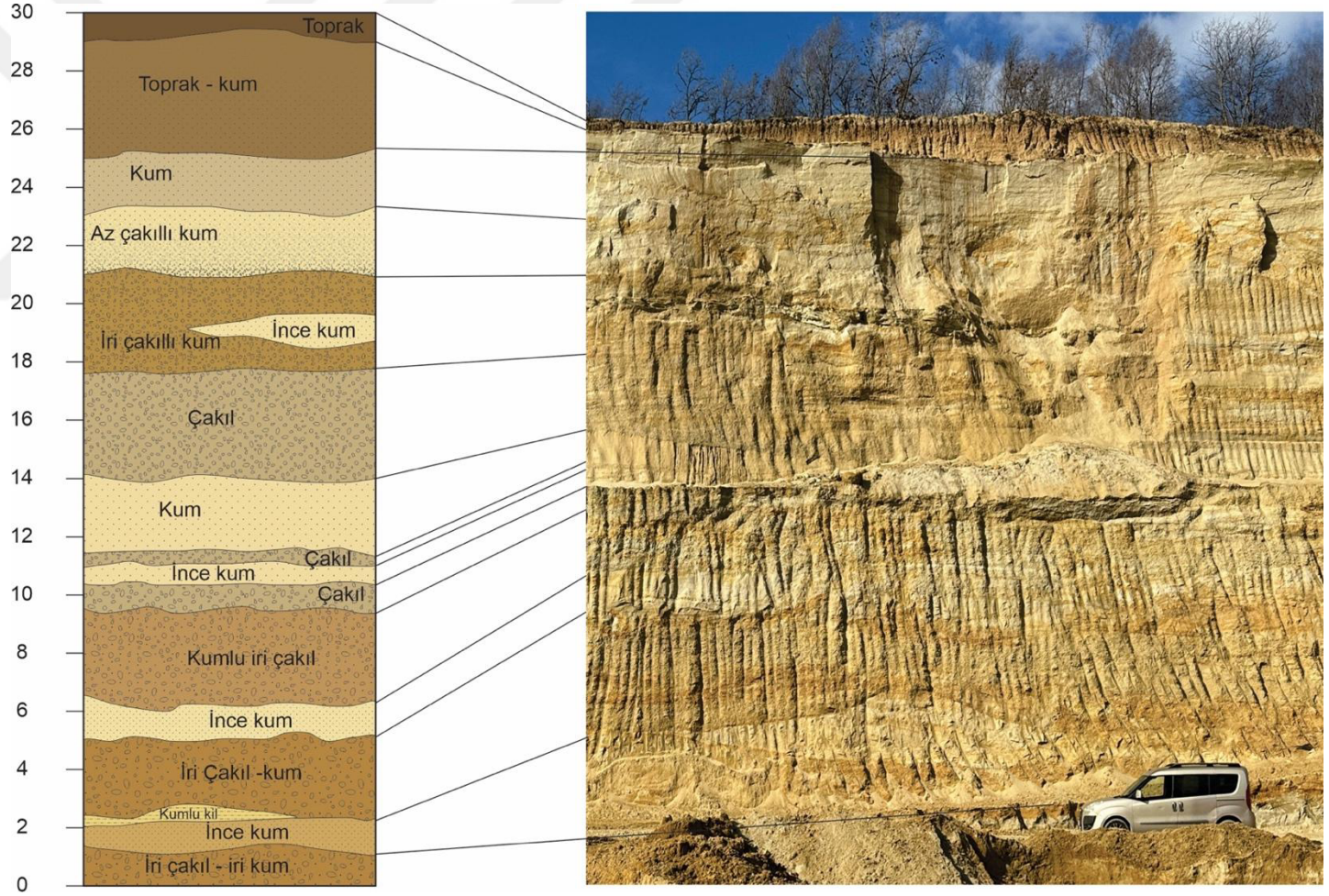
Şekil 2.3 : Sinekli Üyesine ait mostra görünümü (üstte) ve el örneği (altta) görünümü.

2.2.4 İstanbul Formasyonu-Kıraç Üyesi

İstanbul Formasyonu-Kıraç Üyesi belirlenmiş çalışma alanının neredeyse tamamını kaplamaktadır. Çalışma kapsamında seçilmiş olan kum-çakıl ocakları bu birim içerisinde bulunmaktadır. Çoğunlukla tutturulmamış çakıl ve kum ile milden oluşan birim, yer yer kızılımsı, açık kahve ve grimsi bej renklerde gözlemlenmektedir. Çalışma alanında üyenin çakıllı seviyeleri, Danişmen Formasyonu'nun Gürpınar ve Çantaköy Tüf Üyeleri ile olan dokanağını teşkil eder. Bölgede formasyon içindeki çakıl oranı yaklaşık %20-30 aralığında olup baskın litoloji kumdur. Göl ortamına gelen akarsu ve delta ortamı ürünlerinden oluşmuş olan bu formasyona bakıldığında; oluşum şekli ile ilişkili olarak, çapraz tabakalanma, teknemsi çapraz tabakalanma, kanal içi çökelleri ve benzeri yapılar gözlenebilmektedir (Perinçek, 2015). Birim kalınlığı bölgesel olarak değişmekle birlikte yaklaşık 30-40 m kalınlığa sahiptir. Çalışma için seçilmiş kum ocaklarından biri olan, 1 No'lu ocağın kum seviyelerine ait görünüm Şekil 2-4 ve Şekil 2-5' de verilmiştir.



Şekil 2.4 : 1 No'lu Ocak, ocak aynaları genel görünümü, ocak basamaklarının (1, 2 ve 3) ve kum seviyelerinin durumu.



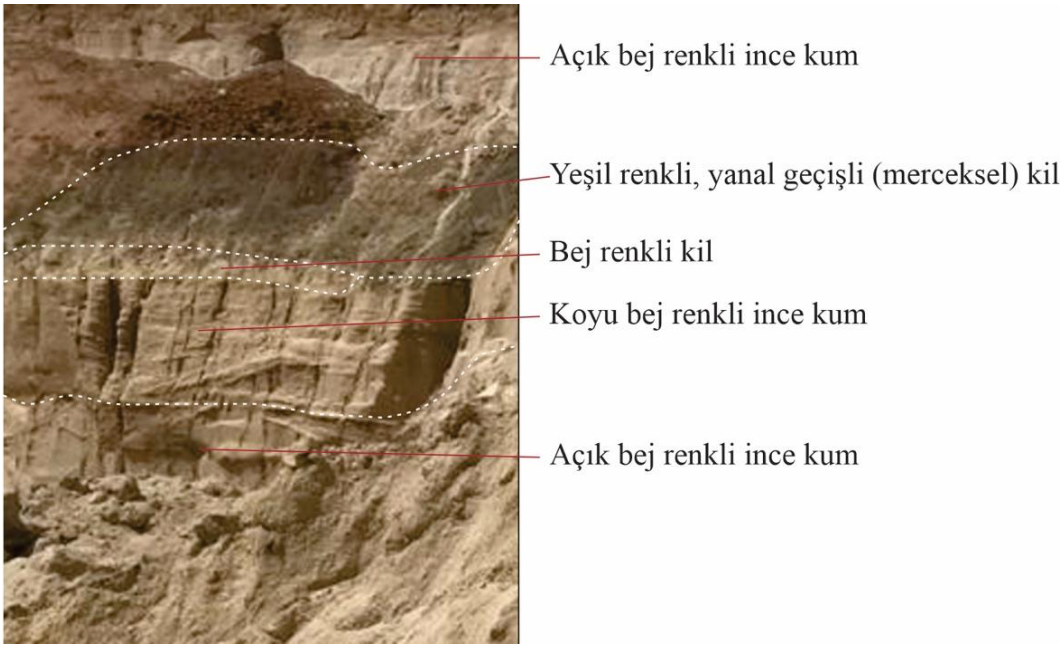
Şekil 2.5 : 1 No'lu Ocak, ocak aynasında kum seviyelerinin görünümü ve ölçeksiz stratigrafik kesiti.

1 No'lu kum ocağında; genellikle bej, açık sarımsı renkli kumlar az tutturulmuş, veya tutturulmamış, özelliktedir. Ocak aynalarında 30 m yükseklikte gözlemlenmişlerdir. Kum seviyelerinde sarımsı ve turuncumsu renk değişimleri bulunmaktadır. Bunlar genellikle demir oksit getirimi sonucu meydana gelmiştir.

2 No'lu kum ocağında, çoğunlukla açık bej ve grimsi renkli kumlar bulunmaktadır. Bu kumlar genellikle tutturulmamış olup; az tutturulmuş olan kesimler sergiledikleri dayanım farkıyla ayırt edilebilmektedir. Kumlar ocak aynalarında 30 m yükseklikte gözlemlenmişlerdir. Ocak aynalarında yer yer yoğun killeşme izlenmiştir. Ocak geneline hâkim olan birim kum olmasına rağmen bu düzeylerde kil oranı kum oranını geçmiştir. Killerin yoğunlaştığı düzeyler çok açık kahverengi, açık sarı ve yeşilimsi renklerdedir (Şekil 2.6,Şekil 2.7).



Şekil 2.6 : 2 No'lu kum ocağı aynasına ait genel görünüm ve organik bileşence zengin bentonitik kil düzeyleri.



Şekil 2.7 : 2 No'lu kum ocağı kum seviyelerine ait görünüm.

3 No'lu kum ocağının üst ve alt seviyelerinde genelde açık bej renkli, az tutturulmuş ince-çok ince taneli kum gözlenmektedir. Tabandan 15 metre yukarıda genelde çakıltaşı-kumtaşı geçişleri görülmektedir. Altta çapraz tabakalı, kum içeriği açısından baskın çakıltaşı ve koyu yeşil veya açık yeşil renkli bentonitik kil düzeyleri görülmektedir. Yine alt seviyelerde hidrotermal alterasyonla gelen sıvıların demir oksit ve hidroksit oluşturduğu gözlemlenmektedir (Şekil 2.8, Şekil 2.9).



Şekil 2.8 : 3 No'lu kum ocağı kum seviyelerine ait genel bir görünüm.



Şekil 2.9 : 3 No'lu kum ocağı bentonitik kil seviyesinin genel ve yakın görünümü.

2.2.5 Alüvyon

Alüvyonlar, çalışma alanı genelinde çoğunlukla akarsu sistemleri yakın çevresinde şekillenmişlerdir. Su akış hızının düşmesi sonucu uygun alanlara gelen gevşek blok, kil, kum ya da çakılların birikmesiyle oluşan birimlerin kalınlığı çalışma alanı içerisinde 5 m'ye kadar ulaşmaktadır.

3. MİNERALOJİK VE PETROGRAFİK İNCELEMELER

Çalışma alanında bulunan kum ocaklarından derlenen örneklerin mineralojik-petrografik inceleme ve analizleri kum, kil ve mil havuzu örneklerinde gerçekleştirilmiştir. Kum örneklerinde hem mikroskop (petrografik-polarizan ve binoküler mikroskoplar) hem de XRD analiz çalışmaları yapılmıştır. Kil ve mil havuzu örneklerinde ise tüm malzeme ve bazılarının da kil fraksiyonlarında XRD analizleri gerçekleştirilmiştir. Bu analizlere ek olarak kil ve mil havuzu tüm kaya örnekleri için SEM ve EDX analizleri gerçekleştirilmiştir.

3.1 Binoküler Mikroskop İncelemeleri

Çalışmaya konu olan kum ocaklarından; 1 No'lu ocağa ait üç farklı ardışık seviyeye ait kum örneği; 2 No'lu kum ocağına ait iki farklı ardışık seviyeden alınmış kum örneği; 3 No'lu kum ocağına ait seviyeden alınmış çakıllı kum ile stoktan alınmış olan ince kum ve çakıl örnekleri incelenmiştir.

İnceleme kapsamında örnekler manyetik bileşen tayini için mıknatıs ile kontrol edilmiştir. 1 No'lu kum ocağına ait örnekler ile 2 No'lu kum ocağına ait örnekte mıknatıs ile etkileşim gözlemlenmiştir (etkileşim olması sebebiyle manyetik mineral içerdikleri varsayımı yapılmıştır.)

Karbonatlı bileşen tespiti amacıyla alınmış olan örnekler seyreltik %10 HCl çözeltisi ile muamele edilmiştir. Değerlendirilen örnekler içerisinde sadece 1 No'lu kum ocağına ait en alt seviyeden alınmış olan örnek tepkime göstermiştir. Bu seviye haricinde kalan örneklerde tepkime gözlemlenmemesi sebebiyle karbonatlı bileşen içermedikleri sonucuna (bazı karbonat mineral türleri için kesin olmamakla beraber) varılmıştır. Görüntüleme sürecinde örnekler önce kuru daha sonra saf su ile yıkanarak incelenmiştir.

3.1.1 1 No'lu kum ocağı

Bu ocak işletmesinden üç adet seviyeyi temsil eden örnek alınmıştır. Binoküler mikroskop incelemeleri için ocak dikme kesitinde alt seviyeyi temsil eden örnek 1-1,

orta seviyeyi temsil eden örnek 1-2 ve üst seviyeyi temsil eden örnek 1-3 olarak isimlendirilmiştir.

Ocak dikme kesitinde alt seviyeyi temsil eden 1-1 isimli örneğin genel görünümü kahverengi-sarı-gri renkleri arasındadır. 1-1 örneği çok kaba çakıl-çok ince kum boyutlu, tutturulmamış bir örnektir. Tanelerin saydam ve yarı saydam olanları; renksiz, beyaz, krem ve açık kahve renklerdedir. Opak tanelere bakıldığında ise beyaz, bej, koyu sarı, açık kahve, mavimsi ve yeşilimsi gri ile siyah taneler gözlemlenmektedir. 1-1 örneği küresel olmayan, az yuvarlaklaşmış tanelerden oluşmaktadır. Örnek yaklaşık-ortalama olarak; % 70-75 kuvars (+kuvarsit) + % 10-15 kayaç parçası (kumtaşı, silttaşı), % 10-15 feldspat + % < 3 biyotit % < 2 muskovit) + % < 1 klorit bileşimindedir (Şekil 3.1).



Şekil 3.1 : 1-1 örneğine ait ıslatılmış, genel görünüm (üstte) ile binoküler mikroskop görünümü (altta, 0,7 x yakınlaştırma).

Ocak dikme kesitinde orta seviyeyi temsil eden 1-2 isimli örneğin genel görünümü kahverengi-yeşil -gri renkleri arasındadır. 1-2 örneği çok kaba çakıl-çok ince kum boyutlu, tutturulmamış bir örnektir. Tanelerin saydam ve yarı saydam olanları; renksiz, beyaz, krem ve açık kahve renklerdedir. Opak tanelere bakıldığında ise beyaz, bej, koyu sarı, açık kahve, mavimsi ve yeşilimsi gri ile siyah taneler gözlemlenmektedir. 1-2 örneği küresel olmayan, az yuvarlaklaşmış tanelerden oluşmaktadır. Örnek yaklaşık-ortalama olarak: % 70-75 kuvars (+kuvarsit) + % 5-10 kayaç parçası (kumtaşı, silttaşı + çört), % 15-20 feldspat + % < 3 muskovit, % <2 biyotit % <1 klorit bileşimindedir (Şekil 3.2, Şekil 3.3).



Şekil 3.2 : 1-2 örneğine ait genel görünüm(üstte) ile binoküler mikroskop görünümü (altta, 0,7 x yakınlaştırma).



Şekil 3.3 : 1-2 örneğine ait ıslatılmış binoküler mikroskop genel görünümü (0,7 x yakınlaştırma).

Ocak dikme kesitinde üst seviyeyi temsil eden 1-3 isimli örneğin genel görünümü kahverengi-sarı-yeşil -gri renkleri arasındadır. 1-3 örneği çok kaba çakıl-çok ince kum boyutlu, tutturulmamış bir örnektir. Tanelerin saydam ve yarı saydam olanları; renksiz, beyaz, krem ve açık kahve renklerdedir. Opak tanelere bakıldığında ise beyaz, bej, koyu sarı, açık kahve, mavimsi ve yeşilimsi gri ile siyah taneler gözlemlenmektedir. 1-3 örneği küresel olmayan, az yuvarlaklaşmış tanelerden oluşmaktadır. Örnek yaklaşık-ortalama olarak: % 50-55 kuvars (+kuvarsit) + % 30-35 feldspat, % 10-15 kayaç parçası (kumtaşı, gnays, şist, çört) + % <3 muskovit + % <1 biyotit + % <1 klorit bileşimindedir (Şekil 3.4).



Şekil 3.4 : 1-3 örneği ıslatılmış; üstte: kuvars ve feldspat minerallerinin görünümü; altta: kayaç parçası ile farklı boyutlu tanelerin genel görünümü (0.7 x yakınlaştırma).

3.1.2 2 No'lu kum ocağı

Bu ocak işletmesinden iki adet seviyeyi temsil eden örnek alınmıştır. Binoküler mikroskop incelemeleri için 2-2 olarak isimlendirilmiş olan, ocak aynası dikme kesitinde üstte kalan örnek seçilmiştir. Ocak dikme kesitinde üst seviyeyi temsil eden 2-2 isimli örneğin genel görünümü bej-gri renkleri arasındadır. 2-2 örneği çok kaba

çakıl-çok ince kum boyutlu, tutturulmamış bir örnektir. Taneler çoğunlukla saydam ve yarı saydam olup; renksiz, beyaz, sarı ve krem renklerdedir. Opak tanelere bakıldığında ise beyaz, bej, açık kahve, yeşilimsi gri ve siyah taneler gözlemlenmektedir. 2-2 örneği orta derecede küreselliğe sahip, az yuvarlaklaşmış tanelerden oluşmaktadır. Örnek yaklaşık-ortalama olarak: % 55-60 kuvars (+kuvarsit) + % 30-35 feldspat + % 5-10 kayaç parçası (kumtaşı, silttaşı) + % <2 biotit + % <1 muskovit + % <1 klorit bileşimindedir (Şekil 3.5).



Şekil 3.5 : 2 No'lu Kum Ocağına ait 2-2 isimli örneğe ait binoküler mikroskop görünümü (0,7 x yakınlaştırma).

3.1.3 3 No'lu kum ocağı

Bu ocak işletmesinden bir adet seviyeyi temsil eden kum örneği ile iki adet farklı boyutlara ait stok örneği alınmıştır. Kum seviyesini temsil eden örnek tabandan 15 metre yukarıdan alınmıştır. Seviyeyi temsil eden kum örneği 3-1; stoktan alınmış örnekler ise 3-S1 (ince kum) ve 3-S2 (çakıl-kum) olarak isimlendirilmiştir.

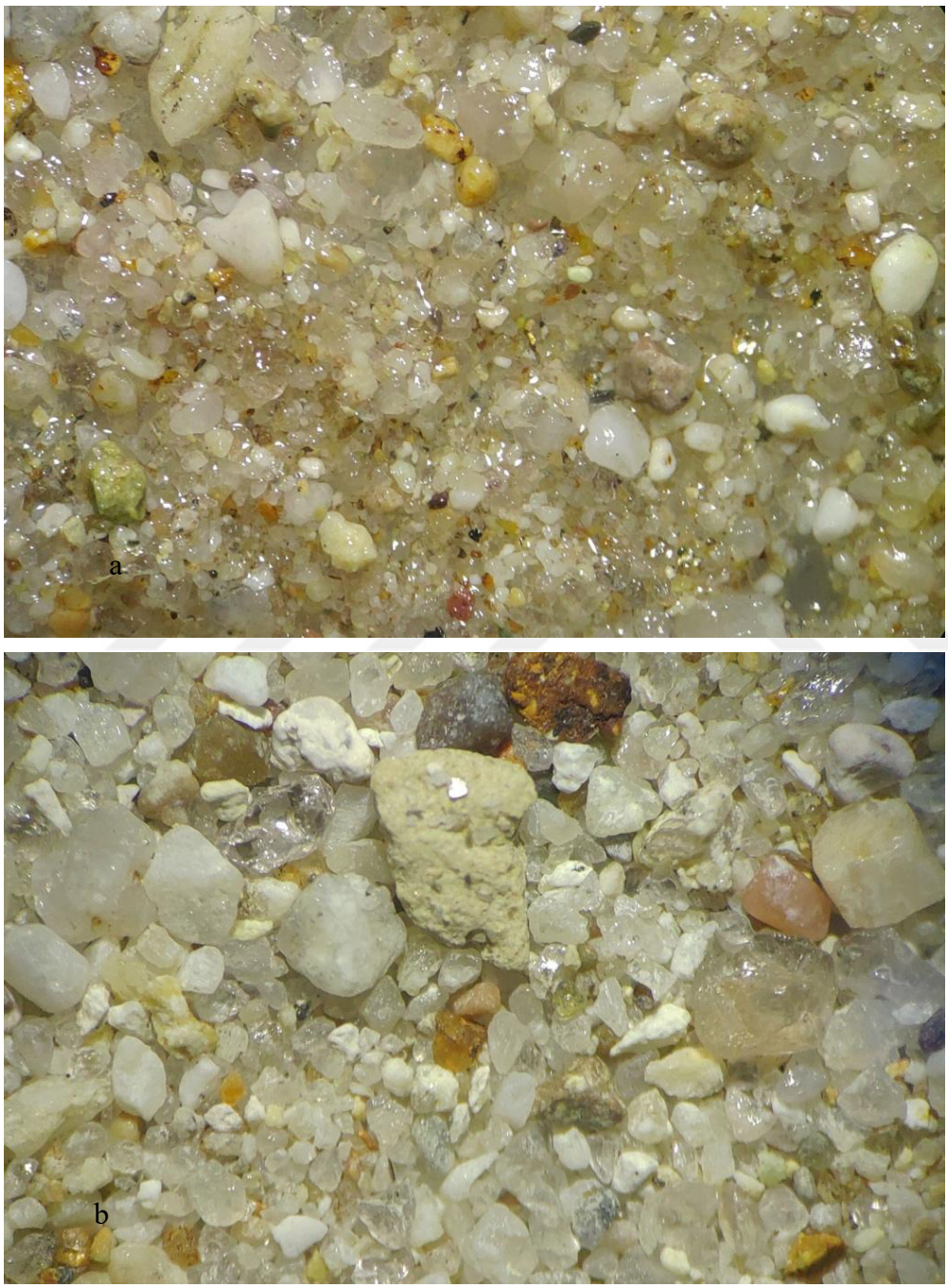
Seviyeden alınmış olan 3-1 isimli örneğin genel görünümü bej-gri renkleri arasındadır. 3-1 örneği ince-kaba kum boyutlu, tutturulmamış bir örnektir. Taneler çoğunlukla saydam ve yarı saydam olup; renksiz, beyaz ve sarı renklerdedir. Bu renklere oranla daha az miktarda pembe ve açık kahve renginde tanelerde bulunmaktadır. Opak tanelere bakıldığında çokluk sırasına göre; beyaz, açık sarı, siyah, mavimsi ve yeşilimsi gri taneler görülmektedir. 3-1 örneği küresel olmayan, yarı yuvarlaklaşmış tanelerden oluşmaktadır. Örnek yaklaşık-ortalama olarak; % 55-60 kuvars (+kuvarsit) + % 30-35 feldspat + % <3 kayaç parçası (gnays, şist, kumtaşı) + % <2 muskovit + % <2 biyotit) + % <1 klorit + % <1 amfibol bileşimindedir (Şekil 3.6).



Şekil 3.6 : 3 No'lu kum ocağına ait tabandan 15m yükseklikten alınmış seviyeye ait 3-1 isimli örneğe ait binoküler mikroskop görünümü (0,8 x yakınlaştırma).

Stoktan alınmış olan 3-S1 örneğinin genel görünümü gri-bej renkleri arasındadır. Örnek ince-kaba kum boyutludur. Taneler çoğunlukla saydam-yarı saydam (~%80); renksiz, beyaz, sarı, krem, gri, pembe ve yeşil renklerdedir. Opak taneler; beyaz, siyah,

mavimsi ve yeşilimsi gri ile kızıl kahve renklerdedir. 3-S1 örneği küresel olmayan, az yuvarlaklaşmış tanelerden oluşmaktadır. Örnek yaklaşık-ortalama olarak: % 80-85 kuvars (+kuvarsit) + % 5-10 feldspat + % <5 kayaç parçası (granit-metagranit) + % <1 biyotit + % <1 muskovit + % <1 klorit + % 1 amfibol + % <1 granat bileşimindedir (Şekil 3.7).



Şekil 3.7 : 3-S1 örneğine ait (a: ıslatılmış görünüm; b: kuru görünüm) binoküler mikroskop genel görünümü (0,7x yakınlaştırma).

Stoktan alınmış olan 3-S2 örneğinin genel görünümü bej-gri renkleri arasındadır. Örnek çok ince çakıl-kaba kum boyutlu tanelerden oluşmaktadır. Taneler saydam-yarı

saydam (~%50): renksiz, beyaz, açık kahve, sarı ve turuncu-pembe renklerdedir. Opak taneler: mavimsi yeşilimsi gri, bordo ve kahverengi olarak gözlemlenmiştir. 3-S2 örneğindeki taneler küresel olmayan, az yuvarlaklaşmış tanelerdir. Örnek yaklaşık-ortalama olarak: % 80-85 kuvars (+kuvarsit) + % 15-20 kayaç parçası (granit-metagranit, gnays, kumtaşı) + % <5 feldspat + % <1 amfibol bileşimindedir (Şekil 3.8).



Şekil 3.8 : 3-S2 örneğine ait binoküler mikroskop genel görünümü (0,7 x yakınlaştırma).

Çalışma alanı örneklerinin binoküler mikroskop incelemeleri ile saptanan mineral bileşimleri Çizelge 3.1'de özetlenmiştir. Stok örnekleri olan 3-S1 ve 3-S2 kodlu olanlar hariç örnekler tüvanan (ham) örneklerdir, bu nedenle kil boyutlu bileşen içermektedirler (kil mineralleri XRD ile belirlenmiştir). Binoküler mikroskop altında kil bileşenlerin tanımı yapılamamaktadır hatta oranları da anlaşılmamaktadır. Binoküler mikroskop ile belirlenen mineral oran sonuçlarını XRD ile belirlenen mineral oran sonuçlarına göre de adapte etmek veya ortak bir değere yaklaşım yapmak gerekmektedir.

Çizelge 3.1 : Çalışma alanı kum örneklerinin binoküler mikroskop inceleme sonuçlarına göre mineralojik bileşimi.

Örnek Kodu	Kuvars + Kuvarsit	Feldspat	Muskovit	Biyotit	Klorit	Amfibol	Granat	Kayaç parçaları (kuvarsit dışı)
1-1	70-75	10-15	<2	<3	<1	-	-	10-15 (kumtaşı, sittaşı)
1-2	70-75	15-20	<3	<2	<1	-	-	5-10 (kumtaşı, kiltaşı, çört)
1-3	50-55	30-35	<3	<1	<1	<1	-	10-15 (kumtaşı, gnays, şist, çört)
2-2	55-60	30-35	<1	<2	<1	-	-	5-10 (kumtaşı, silttaşı)
3-1	55-60	30-35	<2	<2	<1	<1	-	<3 (gnays, şist, kumtaşı)
3-S1	80-85	5-10	<1	<1	<1	<1	<1	<5 (granit-metagranit)
3-S2	80-85	<5	-	-	<1	<1	-	15-20 (granit-metagranit, gnays, kumtaşı)

3.2 Polarizan Mikroskop İncelemeleri

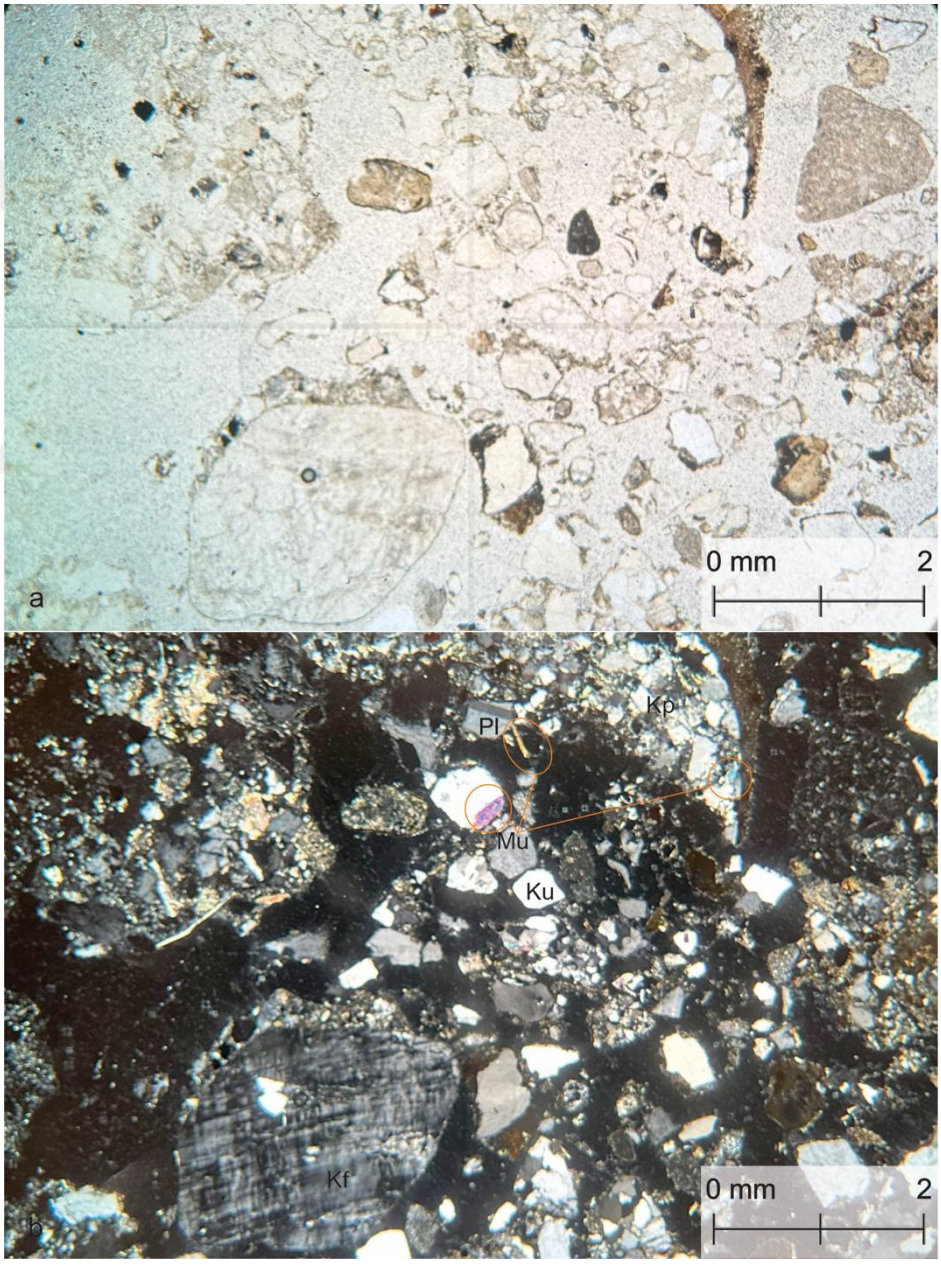
İncelemeye alınan kum örneklerinin kötü tutturulmuş, gevşek karakterli olması sebebiyle ince kesitler epoksi muamelesi ile sabitlenerek hazırlanmıştır. 1 No'lu ocağına ait iki farklı seviye ile 2 No'lu Kum ve 3 No'lu Kum ocaklarına ait toplam dört örnek hazırlatılmıştır.

3.2.1 1 No'lu kum ocağı

Bu ocağa ait işletme seviyesinden alınmış olan kum örneklerinden iki tanesi polarizan mikroskop incelemeleri için seçilmiştir. Ocakta görünen en alt seviyeyi temsil eden örnek polarizan mikroskop incelemeleri için 1-1 olarak isimlendirilmişken; en üst seviyeyi temsil eden örnek 1-3 olarak isimlendirilmiştir.

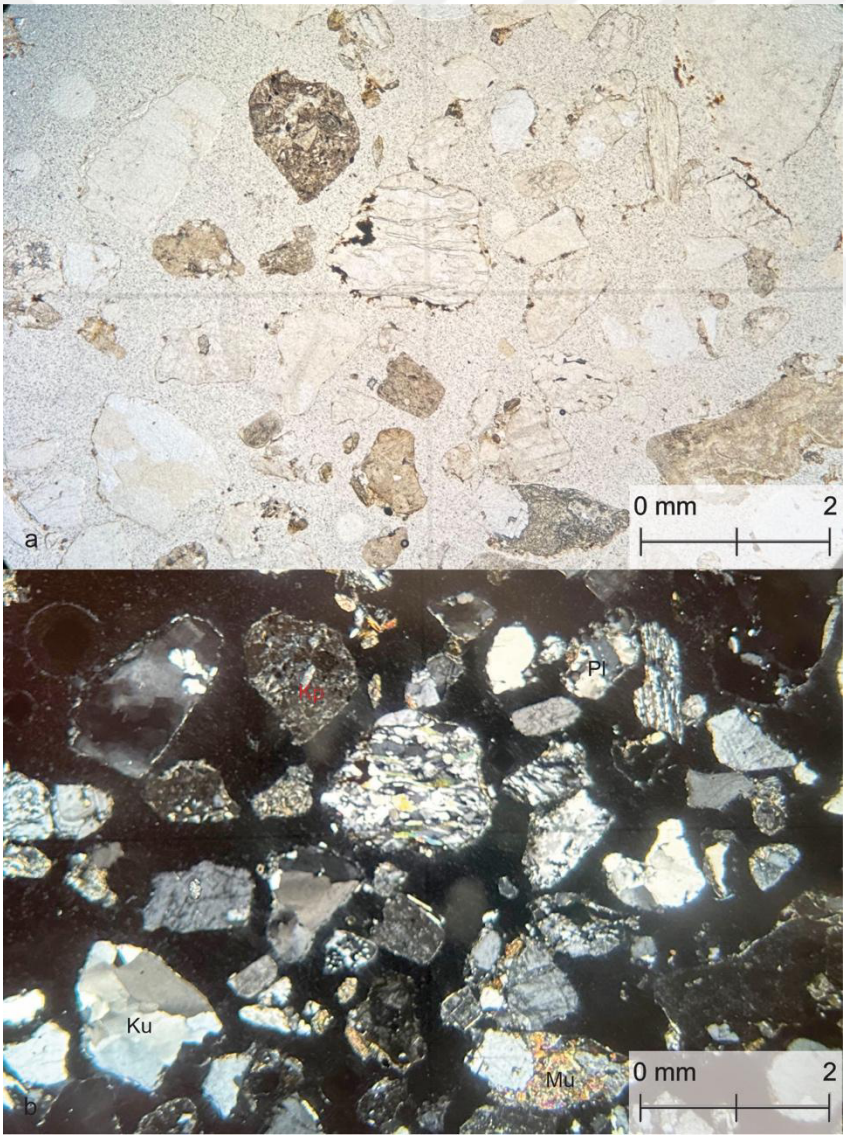
Şekil 3.9' da görülen 1-1 isimli örnekte kuvars, K-feldspat, plajioklas, mika mineralleri ile kayaç parçaları bulunmaktadır. Kuvarslar çoğunlukla dalgalı sönme gösteren polikristalen kuvarslardır. Bunlara ek olarak tek sönme gösteren monokristalen kuvarslar da mevcuttur. K-feldspatlar çoğunlukla serizitleşmiş olarak görülmektedir. Serizitleşmenin hafif olarak gözlemlendiği ya da gözlemlenmediği tanelerde albit ve

periklin ikizlerinin birlikte gözlemlenmesi ile oluşan mikroklin kafes yapısı görülmektedir. İncelenen kesit genelinde feldspatların neredeyse yarısı tamamen serizitleşmiştir. Plajioklaslara bakıldığında albit ikizleri gözlemlenmekte ve herhangi bir ayrışma izlenmemektedir. Çoğunlukla kuvars minerali ile ilişkili olarak gözlemlenmesi, bu plajioklasların incelenmekte olan kum örneğinde mevcut olan kayaç parçalarından kaynaklandığını düşündürmektedir. Mika mineralleri çok yaygın görülmemekle birlikte; gözlemlenebilenler muskovit mineralidir. Kayaç parçalarına bakıldığında kuvarsit, kil taşı, kumtaşı ile serizitleşme ve kloritleşmenin gözlemlenebildiği metagranit (veya gnays) parçaları görülmektedir.



Şekil 3.9 : 1-1 isimli kesite ait genel görünüm (a: Tek Nikol (PPL), b: Çift Nikol (XPL)). (Ku: kuvars, Kf: mikroklin, Mu: muskovit, Kp: kayaç parçası).

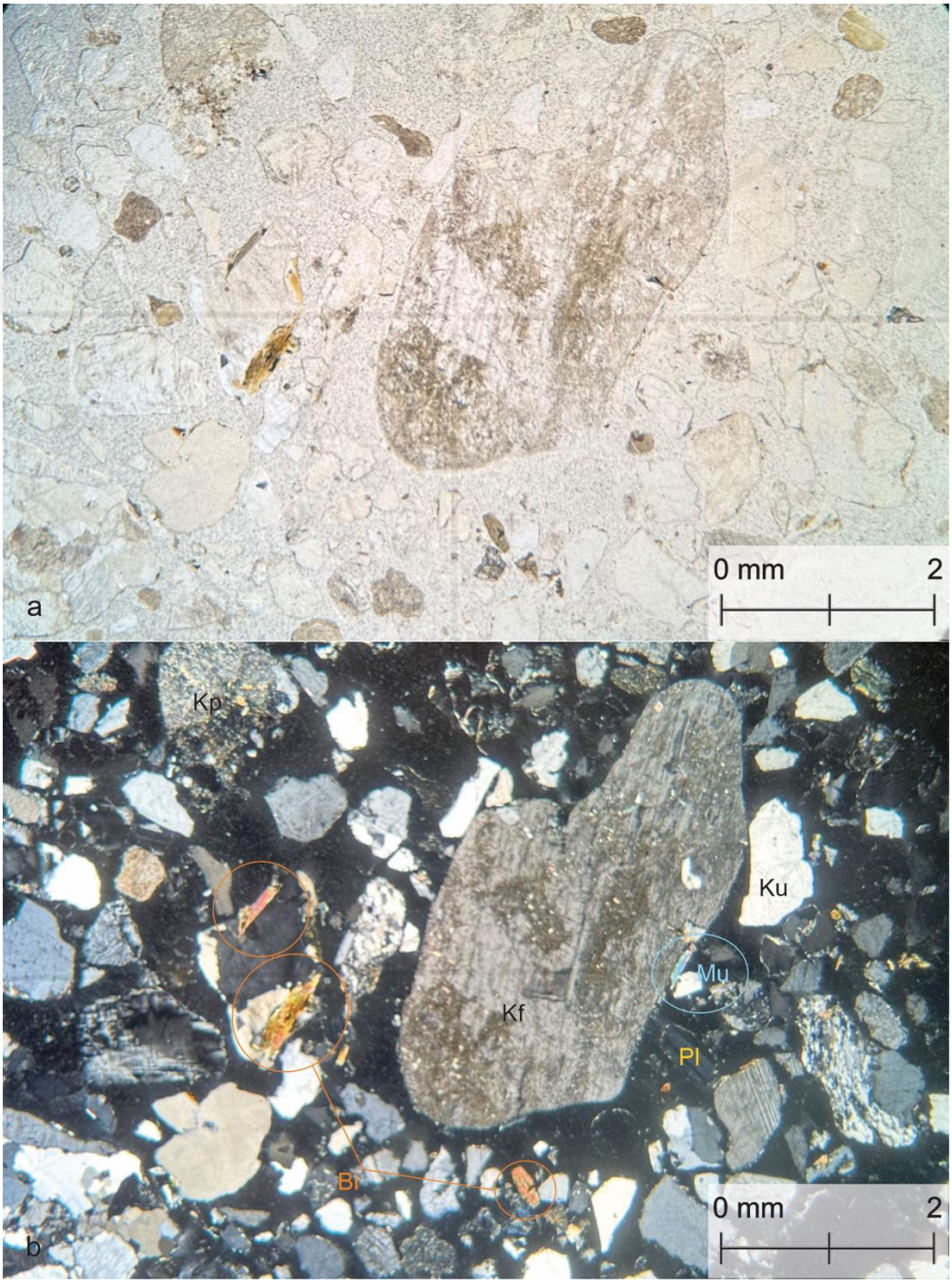
Şekil 3.10’ da görülen 1-3 isimli örneğe bakıldığında kuvars, K-feldspat, plajioklas, mika mineralleri ile kayaç parçaları bulunmaktadır. Hazırlatılmış olan kesitte çoğunlukla kayaç parçaları gözlemlenmektedir. Kuvarslar çoğunlukla dalgalı sönme gösteren polikristalen yapıdadır. Monokristalen kuvarslar tek sönme göstermekte ve daha az gözlenmektedir. K-feldspatlar neredeyse tamamen ayrışmış ve serizitleşmiştir. Ayrışmanın daha az şiddetli olduğu tanelerde karsblad ikizi görülmektedir. Plajioklaslarda albit ikizi ve hafif ayrışma gözlenmektedir. Mika mineralleri kesit genelinde çok az miktarda bulunmaktadır. Bu grup içerisinde yer alan minerallerin çoğunu biyotit minerali oluşturmakta ve çok nadir olarak muskovit gözlenmektedir. Kayaç parçalarına bakıldığında kuvarsit, metagranit, kil taşı ve kumtaşı gözlemlenmektedir.



Şekil 3.10 : 1-3 isimli kesite ait genel görünüm (a: Tek Nikol (PPL), b:Çift Nikol (XPL)). (Ku: kuvars, Pl: plajioklas, Mu: muskovit, Kp: kayaç parçası).

3.2.2 2 No'lu kum ocağı

Ocağa ait işletme seviyesinden alınmış olan örneklerden bir tanesi polarizan mikroskop incelemeleri için seçilmiştir. 2-2 olarak isimlendirilmiş örnek üst seviyeyi temsil etmektedir. Şekil 11' de görülmekte olan örnek kuvars, K-feldspat, plajioklas, mika ve amfibol mineralleri ile kayaç parçalarından oluşmaktadır.

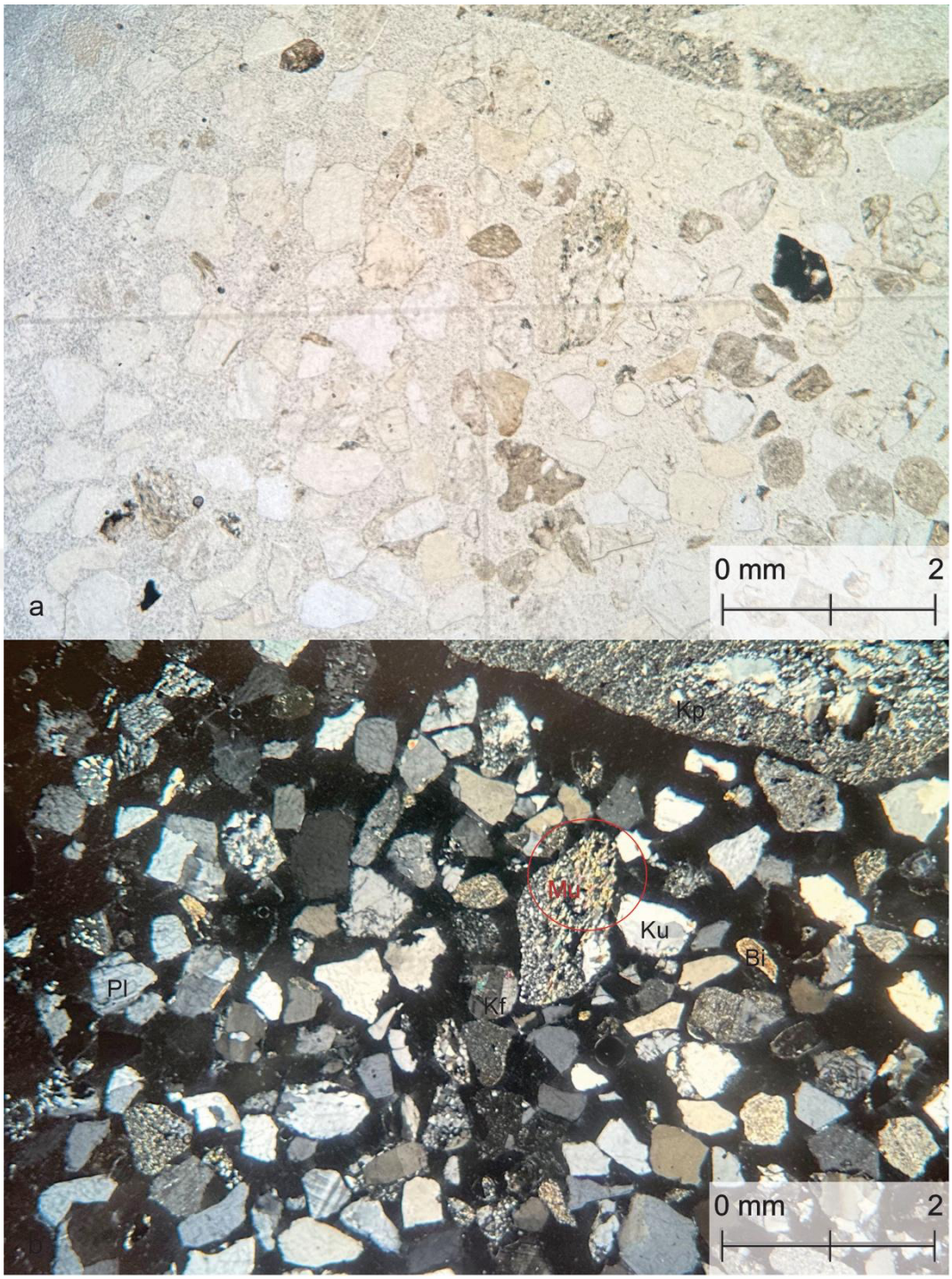


Şekil 3.11 : 2-2 isimli kesite ait genel görünüm (a: Tek Nikol (PPL), b:Çift Nikol (XPL)). (Ku: kuvars, Pl: plajioklas, Bi: biyotit, Kp: kayaç parçası).

Kuvarslar çoğunlukla tek sönme sergilemekte ve monokristalen yapıdadır. Miktar olarak oldukça az gözlemlenen polikristalen kuvarslar ise dalgalı sönme sergilemektedir. K-feldspat mineralleri ile plajioklas mineralleri farklı tanelerde farklı ikizlenme türlerini göstermektedir. Bu noktada K-feldspat minerallerinde serizitleşme gözlemlenirken; plajioklas minerallerinde herhangi bir ayrışma gözlemlenmemiştir. Mika mineral grubu kesit özelinde çoğunlukla biyotit, daha az miktarda ise muskovit mineralinden oluşmaktadır. Amfibol grubu mineraller kesitte çok yaygın gözlemlenememektedir. Gözlemlenenlerin ise hornblend minerali olduğu saptanmıştır. Kayaç parçaları kuvarsit, metagranit, silttaşı ve kiltaşı şeklindedir.

3.2.3 3 No'lu kum ocağı

Bu ocağa ilişkin işletme seviyesinden bir adet örnek alınmış ve polarizan mikroskop incelemeleri için hazırlatılmıştır (3-1). Şekil 3.12' de görülmekte olan örnek kuvars, feldspat, mika ve amfibol mineralleri ile kayaç parçalarından oluşmaktadır. İncelenen kesit alanında kuvarslar çoğunlukla tek sönme gösteren monokristalen yapıdadır. Çok az oranda polikristalen kuvars da gözlemlenmektedir. Ortoklazlar çoğunlukla karsblad ikizlidir ve orta derecede ayrışma gösterirler. Bu ayrışma serizitleşme olarak gözlemlenmektedir. Hafif derecede kloritleşme de gözlemlenmektedir. Mikroklin ikizi sergileyenlerinde ise hiç ayrışma gözlemlenmemektedir. Mika mineral grubu kesit özelinde muskovit ve biotitten oluşmaktadır. Çoğunlukla kesit içerisindeki kayaç parçalarında gözlemlenmektedirler. Amfibol mineralleri çok nadir gözlemlenmektedir. Gözlemlenebilenlerin hornblend minerali olduğu saptanmıştır. Kayaç parçaları metagranit, kuvarsit, kiltaşı ve kumtaşı şeklindedir.



Şekil 3.12 : 3-1 isimli kesite ait genel görünüm (a: Tek Nikol (PPL), b:Çift Nikol (XPL)). (Ku: kuvars, Kf: K-feldspat, Pl: plajioklas, Bi: biyotit, Kp: kayaç parçası

3.3 X-Işınları Difraksiyonu (XRD) İncelemeleri

Çalışma alanının, kum ocaklarından alınan kum örnekleri ve ocakların mil havuzlarından alınan çamur örnekleri ile bu örneklere ek olarak, bölge bentonit karakterini görebilmek amacıyla (bölgede kil seviyeleri için yanal ve dikey geçişler olsa da) ocaklardaki taban bentonit seviyesini temsil eden örnek (4 No'lu kum ocağı) XRD ile analiz edilmişlerdir.

3.3.1 1 No'lu kum ocağı; kum örnekleri

1 No'lu kum ocağından derlenen kum örneklerinin XRD analiz sonuçları mineral türleri açısından önemli farklılık göstermese de alttan üste doğru kum seviyelerinin örnekleri için bazı farklılıklar göstermektedir.

Şekil 3.13'de 1 No'lu ocağın basamak aynalarından derlenmiş olan örneklerin XRD paternleri (difraktogramları) görülmektedir. Şekilde alttan üste doğru verilmiş olan paternler, sırasıyla ocağın en alt seviyesi (1-1), orta seviyesi (1-2) ve en üst seviyesinden (1-3) derlenmiş olan örneklere aittir.

1 No'lu ocağın XRD ile belirlenen genel mineralojik bileşimi kuvars + feldspat + smektit + illit-mika + kalsit + zeolit birliği şeklindedir. Ancak son iki mineralin sadece bir örnekte ve çok düşük oranda bulundukları göz önüne alınırsa; 1 No'lu ocak kuvars, feldspat, smektit ve illit-mika mineralleri varlığı ile ifade edilebilir.

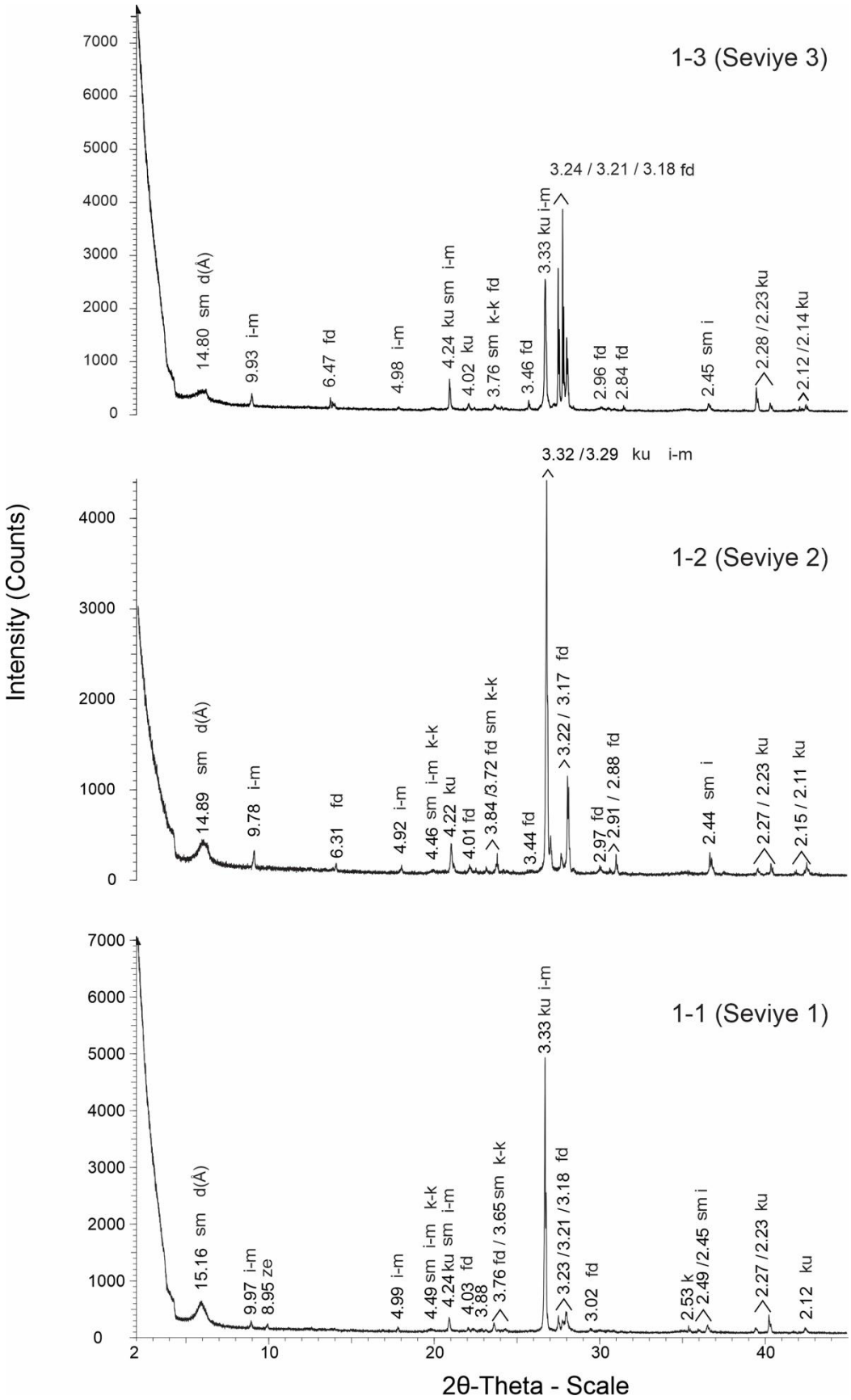
1-1 örneğinde smektit d_{001} mesafesi 15.16 Å olup Ca-Smektiti işaret eder. 001 bazal piki orta şiddetli, çok keskin olmayan ancak simetrik ve hafif yayvan görünümlü bir piktir. İllit-mika bazal piki (d_{001}) 9.97 Å olup çok düşük şiddetli, keskin ve simetrik görünümlü bir piktir. Zeolit bazal piki 8.95 Å olup çok düşük şiddetli, keskin, simetrik ancak yüksek 2θ tarafında hafif asimetrik görünüme sahip bir piktir.

1-2 örneğinde smektit d_{001} mesafesi 14.89 Å olup Ca-Smektiti işaret eder. 001 bazal piki düşük şiddetli, yayvan görünümlü ve simetrik bir piktir. İllit-mika bazal piki (d_{001}) 9.78 Å olup düşük şiddetli, keskin ve simetrik görünümlü bir piktir.

1-3 örneğinde smektit d_{001} mesafesi 14.80 Å olup Ca-Smektiti işaret eder. 001 bazal piki düşük şiddetli, yayvan görünümlü ve düşük 2θ tarafında asimetrik bir piktir. İllit-mika bazal piki (d_{001}) 9.93 Å olup düşük şiddetli, keskin ve simetrik görünümlü bir piktir.

1 No'lu kum ocağı seviyelerine ait XRD paternlerinin hiçbirinde klorit-kaolinit minerallerine ait bazal pik olan 7 Å pikinin görülmemesi bu minerallerin eser miktarda olabileceğini düşündürür.

1 No'lu ocağın mineral oranlarındaki başlıca farklılık kuvars ile feldspat minerallerinin oranlarındaki değişimlerdir. Ocak aynaları dikme kesiti için alttan üste doğru kuvars miktarında azalma, buna karşın feldspat minerallerinin miktarında artış bulunmaktadır. Diğer taraftan, smektit ile feldspat arasında da bir ilişki muhtemelen bulunmaktadır. Feldspat oranında düşme ile smektit oranında artış olduğu söylenebilir. Bu sonuç smektitlerin başlıca feldspatlardan itibaren meydana gelmiş olmalarının da bir doğrulamasıdır. Feldspatın smektite dönüşmesi yüksek oranda meydana gelmiş ise feldspat azalması ile smektit çoğalması beklenecek bir sonuçtur. Diğer ifade ile feldspatta killeşme (smektite dönüşüm) düşük derecede kaldıysa bu tür örneklerde smektit oranı düşük olabilecektir. Ergene Formasyonu genelinde, feldspattan smektite olan dönüşümün bir göstergesi de 1 No'lu ocağın kum oluşumlarının bileşiminde görülebilmektedir.



Şekil 3.13 : 1 No'lu kum ocağı kum örneklerinin tüm kaya (TK) XRD paternleri (alttan üste doğru 1-1: Ocak en alt seviye; 1-2: Ocak orta seviye ve 1-3: Ocak en üst seviyeden derlenen örneklerin paternleri).

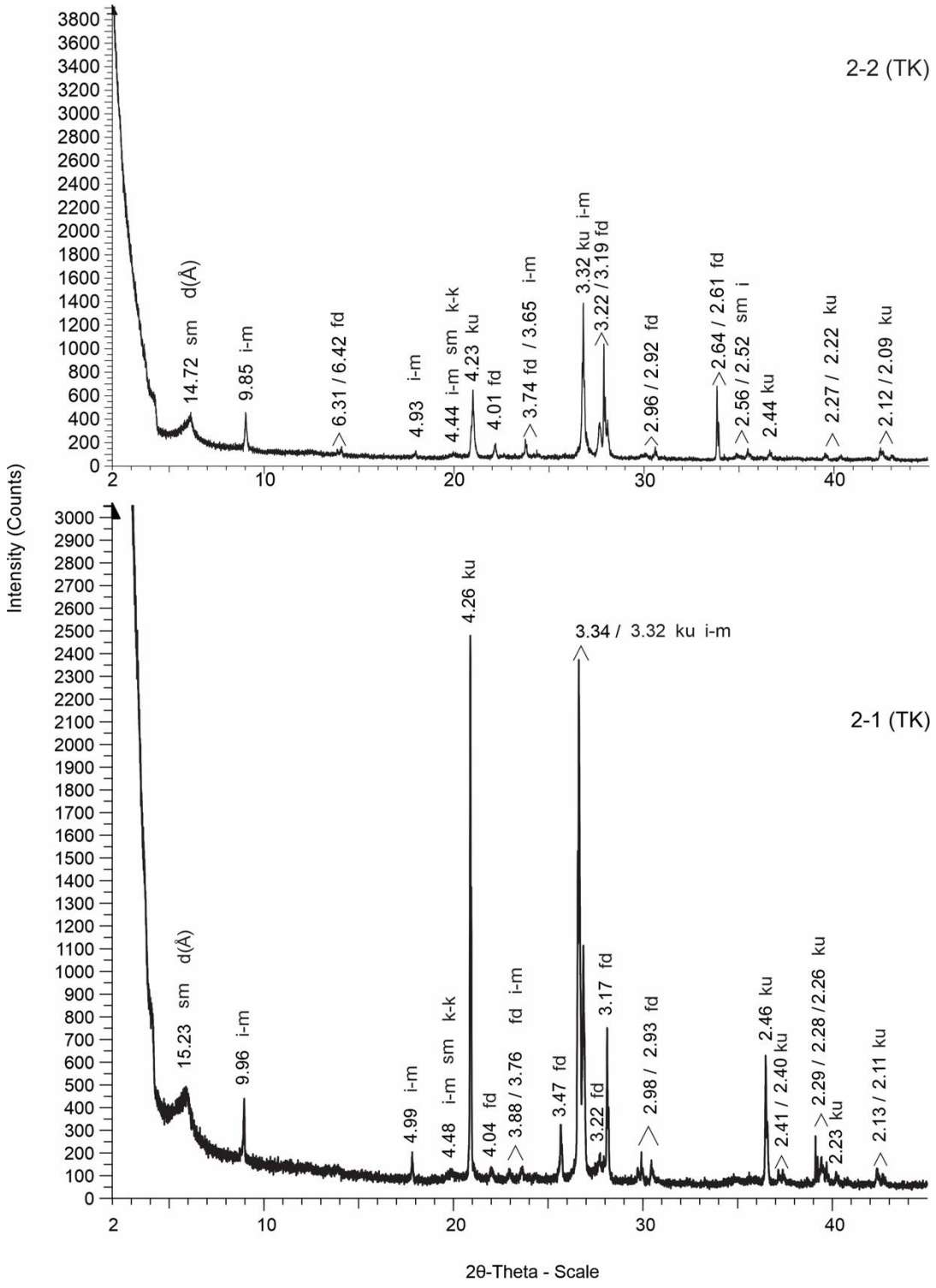
3.3.2 2 No'lu kum ocağı; kum örnekleri

2 No'lu kum ocağının XRD ile belirlenen genel mineralojik bileşimi kuvars + feldspat + smektit + illit-mika birliği şeklindedir. Ancak kaolinit-klorit grubu mineral oranlarının iki örnek içinde çok düşük olduğu göz önüne alınırsa, 2 No'lu kum ocağı için kuvars, feldspat, smektit ve illit-mika mineralleri varlığı ile ifade edilebilir.

2-1 isimli seviyeye ait kum örneğinin tüm kaya XRD paterni Şekil 3.14 (altta)'de görülmektedir. Tüm kaya paterninde smektit, illit-mika, türü kil mineralleri ile kuvars ve feldspat mineralleri saptanmıştır. Smektit bazal piki çok keskin olmayan, simetrik görünümlü ancak düşük 2θ tarafında hafif asimetrik, orta derecede yayvan ve orta şiddetli bir piktir. Smektit d_{001} mesafesi 15.23 Å olup Ca-Smektiti işaret eder. İllit-mika bazal piki (d_{001}) 9.96 Å olup oldukça keskin, orta şiddetli, simetrik bir piktir ve mikayı işaret eder. Klorit-kaolinit minerallerine ait bazal pik olan 7 Å piki paternlerde bulunmamaktadır.

2-2 isimli seviyeye ait kum örneğinin tüm kaya XRD paterni Şekil 3.14 (üstte)'de görülmektedir. Tüm kaya paterninde smektit, illit-mika, türü kil mineralleri ile kuvars ve feldspat mineralleri saptanmıştır. Smektit bazal piki çok keskin olmayan, simetrik görünümlü ancak düşük 2θ tarafında hafif asimetrik, orta derecede yayvan ve orta şiddetli bir piktir. Smektit d001 mesafesi 14.72 Å olup Ca-Smektiti işaret eder. İllit-mika bazal piki (d_{001}) 9.85 Å olup oldukça keskin, orta şiddetli, simetrik bir piktir ve mikayı işaret eder. Klorit-kaolinit minerallerine ait bazal pik olan 7 Å piki paternde bulunmaz.

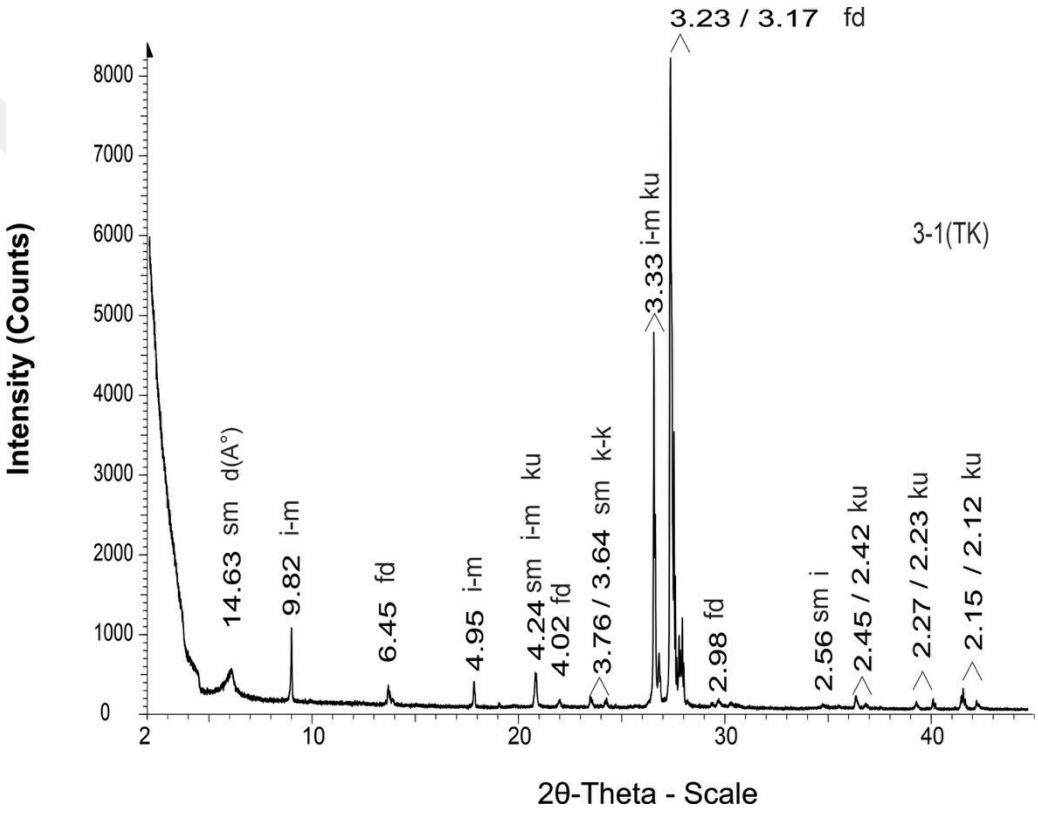
2 No'lu kum ocağının mineral oranlarındaki başlıca farklılık kuvars ile feldspat minerallerinin oranlarındaki değişimlerdir. Ocak aynası dikme kesiti için alttan üste doğru kuvars miktarında azalma, buna karşın feldspat minerallerinin miktarında ise artış bulunmaktadır. Diğer taraftan, smektit ile feldspat arasında da bir ilişki muhtemelen bulunmaktadır. Feldspat oranında düşme ile smektit oranında artış olduğu söylenebilir. Bu sonuç smektitlerin başlıca feldspatlardan itibaren meydana gelmiş olmalarının da bir doğrulamasıdır. 2 No'lu ocağın kum oluşumlarının bileşimlerinde de bu sonuç görülmüştür.



Şekil 3.14 : 2 No'lu kum ocağı kum örneklerinin tüm kaya (TK) XRD paternleri (alttan üste doğru 2-1 ve 2-2 kodlu örnekler).

3.3.3 3 No'lu kum ocağı; kum örnekleri

Kum ocağına ait işletme seviyesinden alınmış olan 3-1 örneğine ait tüm kaya XRD paterni Şekil 3.15'de görülmektedir. Tüm kaya paterninde smektit, illit-mika, kaolinit-klorit türü kil mineralleri ile kuvars ve feldspat mineralleri saptanmıştır. Smektit bazal piki çok keskin olmayan, simetrik, düşük 2θ tarafında hafif asimetrik, kısmen yayvan ve düşük şiddetli bir piktir. Smektit d_{001} mesafesi 14.63 Å olup Ca-Smektiti işaret eder. İllit-mika bazal piki (d_{001}) 9.65 Å olup oldukça keskin, orta şiddetli, simetrik bir piktir, mikayı işaret eder. Klorit-kaolinit minerallerine ait bazal pik olan 7 Å paternde bulunmamaktadır.



Şekil 3.15 : 3 No'lu kum ocağı kum örneğinin XRD paterni (3-1 kodlu örnek).

Tüm kaya XRD paternleri incelenmiş olan üç ocağın genel mineralojik bileşimleri kuvars + feldspat + smektit + illit-mika şeklindedir. Örneklerdeki ana kil minerali smektittir. Örneklerdeki illit-mika mineraline ait olan 10 Å pikinin çok ince-keskin olması bu gruba ait mineral fazının (her ne kadar kil fraksiyonu-XRD verileri bulunmasa da) mika olduğunu düşündürür. Üç farklı ocağa ait örneklerin XRD paternlerinde kil minerallerinden kaolinit-klorit bazal piki olan 7 Å pikinin bulunmaması, bu minerallerin örneklerde bulunmadığını veya eser miktarda bulunabileceği düşündürmüştür. Çalışma alanı içerisinde 1 No'lu kum ocağı batıda, 3

No'lu kum ocağı merkezde ve 2 No'lu kum ocağı kuzeyde bulunmaktadır. İncelemesi gerçekleştirilmiş olan ocakların, mineral oranları arasındaki başlıca farklılık kuvars ve feldspat minerallerinin oranlarındaki değişimlerdir. 1 No'lu ve 3 No'lu kum ocaklarından 2 No'lu kum ocağına doğru (batı ve merkezden, kuzeye) kuvars minerali oranında artış gözlemlenirken, feldspat oranında ise azalma söz konusudur. Ancak üç işletme içerisinde oransal olarak feldspat en çok 3 No'lu kum ocağında (merkez) bulunmaktadır. Smektit ile feldspat minerali ilişkisine bakarsak; 2 No'lu kum ocağı oransal olarak en az feldspat oranına sahip ocak iken en yüksek smektit oranını göstermektedir. 1 No'lu ve 3 No'lu kum ocakları için smektit oranı benzerdir. Genel olarak kuzey yönüne doğru feldspat oranı azalırken, smektit oranı artmaktadır. Bu durum smektitlerin başlıca feldspatlardan meydana gelmiş olmalarının, üç kum ocağı özelinde doğrulamasıdır.

Çalışma alanı kum örneklerinin XRD ile belirlenmiş mineralojik bileşimleri ve tahmin edilmiş mineral oranları özet olarak Çizelge 3.2' de verilmiştir. 1 No'lu, 2 No'lu ve 3 No'lu kum ocaklarının kum örneklerinin XRD analiz sonuçları genelde benzer mineralojik bileşimde, ancak, kuvars, feldspat gibi ana minerallerin göreceli oranları açısından farklı özellikte bulunmuşlardır.

Çizelge 3.2 : Kum örneklerinin XRD ile belirlenen mineralojik bileşimleri tahmin edilmiş mineral oranları (% ağırlıkça).

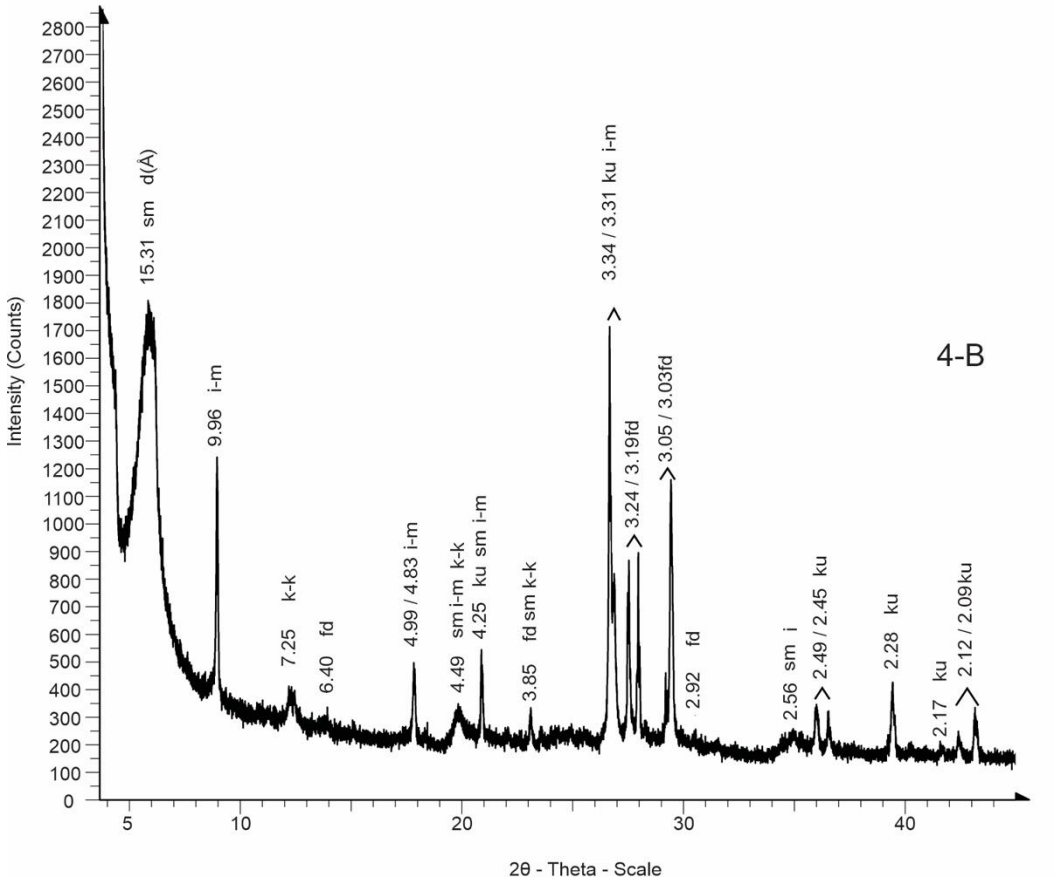
Örnek / (Ocak)	Kuvars	Feldspat	Smektit	İllit-Mika	Kalsit	Zeolit
1-3 (1 No'lu en üst seviye)	30-35	50-55	10-15	<5	-	-
1-2 (1 No'lu orta seviye)	40-45	15-20	20-25	<5	-	-
1-1 (1 No'lu en alt seviye)	50-55	10-15	20-25	<5	<5	<5
2-2 (2 No'lu Kum üst seviye)	40-45	25-30	20-25	5-10	-	-
2-1 (2 No'lu Kum alt seviye)	60-65	10-15	20-25	<5	-	-
3-1 (3 No'lu Kum üst seviye)	30-35	40-45	15-20	5-10	-	-

3.3.4 4 No'lu kum ocağı; bentonit örneği

4 No'lu kum ocağı işletme seviyesinden alınmış 4-B isimli bentonit örneğinin tüm kaya XRD paterni Şekil 3.16 da görülmektedir. Tüm kaya paterninde smektit, illit-mika, klorit-kaolinit türü kil mineralleri ile kuvars ve feldspat mineralleri saptanmıştır. Smektit ana kil mineralidir ve belirgin oranda bulunmaktadır. Smektit oranının %50'nin üzerinde olduğu tahmin edilmektedir. Smektit d_{001} mesafesi 15.31 Å olup Ca-Smektiti işaret eder. 001 bazal piki simetrik görünümlü çok keskin olmayan bir piktir. Düşük 2θ tarafında kısmen asimetriktir. Bu kısmi asimetri karışık katmanlı kil minerali fazı olabileceğine işaret etmektedir.

İllit-mika bazal piki (d_{001}) 9.96 Å olup oldukça şiddetli ve keskin bir piktir, bu keskinlik mikayı işaret eder.

Klorit-kaolinit piki mesafe değeri 7.25 Å' dur. Bu pike bakıldığında düşük orta şiddetli, kısmen simetrik, yüksek 2θ tarafında asimetrik ve kısmen yayvan bir pik olduğu görülmektedir.



Şekil 3.16 : 4 No'lu kum ocağı bentonit örneğinin XRD paterni (4-B kodlu örnek).

Çalışmaya konu olan kum ocaklarında, işletme sonrası atıl durumda kalan ve mil havuzlarında toplanan malzemenin karakterini saptayabilmek amacıyla, mil havuzlarından örnekler alınmıştır. Öğütme işlemi sonrasında tüm kaya (malzeme) XRD analizi yapılmıştır. Aynı işlem hazırlanmış olan kil fraksiyonları için de gerçekleştirilmiştir.

3.3.5 1 No'lu kum ocağı mil havuzu çamur örneği

1 No'lu kum ocağı mil havuzundan alınmış olan örnek 1-MH olarak isimlendirilmiştir. 1-MH isimli mil havuzu örneğinin tüm kaya (malzeme) ve kil fraksiyonu XRD paternleri (TK: tüm Kaya; HK: Havada Kurutulmuş; EG: Etilen Glikol ile muamele edilmiş; YS: Yüksek Sıcaklığa maruz bırakılmış) Şekil 3.17'de görülmektedir.

Tüm kaya paterninde smektit, illit-mika, klorit -kaolinit türü kil mineralleri ile kuvars ve feldspat mineralleri saptanmıştır. Smektit ana kil mineralidir ve belirgin oranda bulunmaktadır. Smektit oranının %50'nin üzerinde olduğu tahmin edilmektedir. Smektit d_{001} mesafesi 14.98 Å olup Ca-Smektiti işaret eder. 001 bazal piki şiddetli, çok keskin olamayan ancak simetrik görünümlü bir piktir. Yüksek 2θ tarafında kısmı bir asimetri bulunur. Kısmı asimetri karışık katmanlı kil minerali fazı olabileceğine işaret etmektedir. İllit-mika bazal piki (d_{001}) 9.65 Å olup oldukça keskin bir piktir, bu keskinlik mikayı işaret eder.

1-MH örneğine ait kil fraksiyonu HK paternine bakıldığında başarılı bir fraksiyon gerçekleştirildiği görülmektedir. Smektit bazal piki (14.30 Å) çok yüksek şiddetli, keskin ve nispeten simetrik bir piktir. İllit-mika bazal piki 9.59 Å olup çok düşük şiddette görülmektedir. Muhtemelen örnekte illit-mika fazı büyük oranda mikadır ve HK paterninde kaybolmuştur kısmen bir miktar illit kalmıştır.

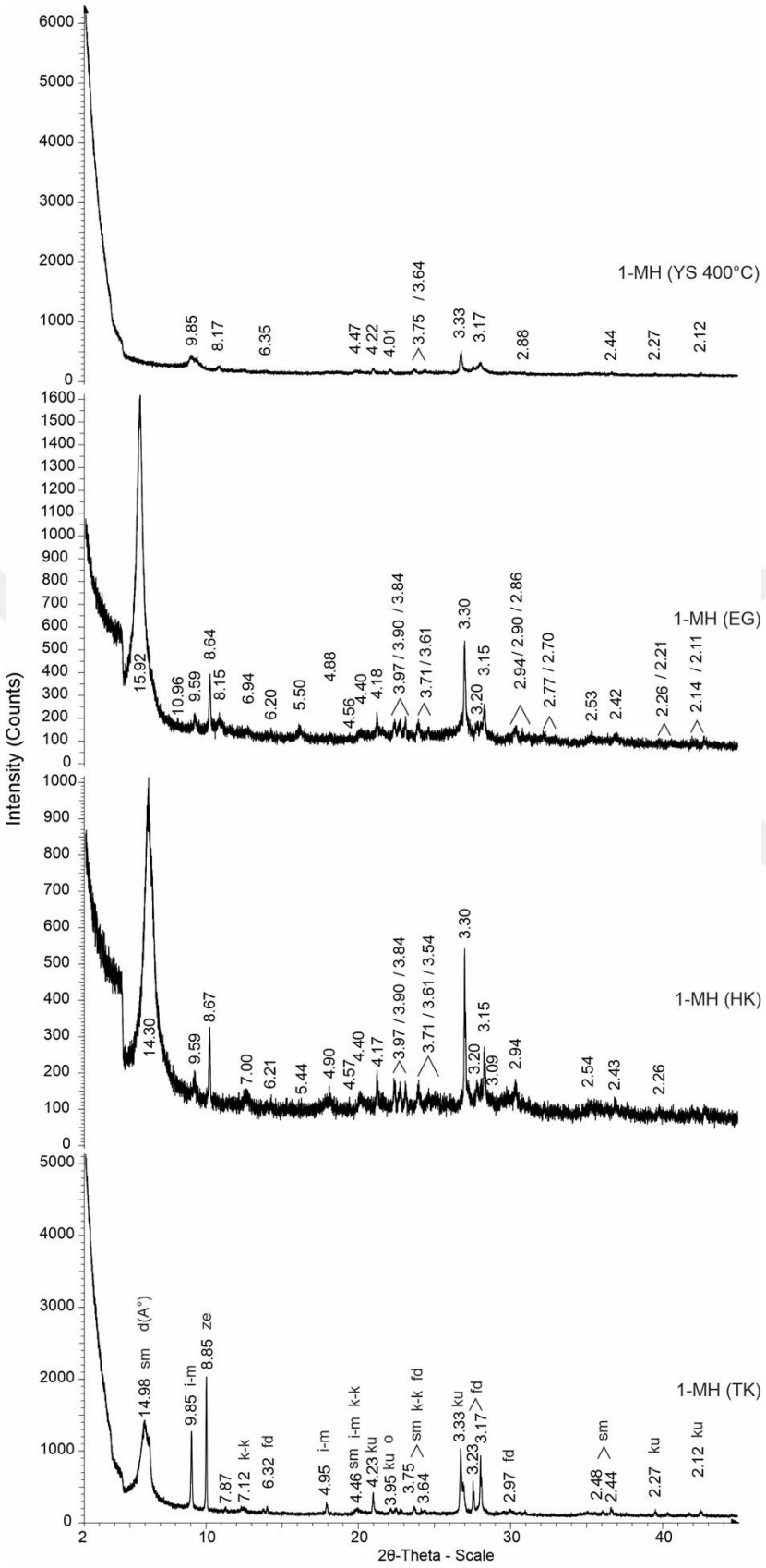
Klorit-kaolinit piki 7.00 Å olup düşük şiddetlidir.

1-MH örneğine ait kil fraksiyonu EG paternine bakıldığında etilen glikol ile muamelenin başarılı sonuçlandığı görülmektedir. Smektit bazal piki ($001_{smektit}$) 15.92 Å değerli, keskin ve simetrik görünümlüdür. HK paterni ile kıyaslandığında Δ = 15.92 Å (EG)-14.30 Å (HK) farktan 1.62 Å' luk genişleme gösterdiği anlaşılır.

EG paterninde smektitin bazal serisi (001): 15.92; (002): 8.15; (003): 5.50; (004): 3.97; (005): 3.30; (006): 2.70 (?) şeklindedir. Bu değerler ile bazal seri N [1/2/3…] için [15.92/16.30/16.50/15.88/16.50/16.2] şeklinde hesaplanmıştır. Bazal serinin homojen

olmayan bu dağılımı örneğin karışık katman içerebileceği şüphesini uyandırmıştır. Bu sebeple EG paternindeki İllit (002) / Smektit (003) ve İllit (001) /Smektit (002) değerleri kontrol edilmiştir. İllit (002) /Smektit (003) mesafe değeri 5.50 Å' dur ve %40 illit varlığına işaret eder. İllit (001) /Smektit (002) mesafe değerine bakıldığında, bu değer 8.15 Å' dur ve illit varlığı göstermez (Moore ve Reynolds, 1997). Bu iki pikin (8.15 Å ve 5.50 Å) hesaplanmış Δ2θ değeri (16.1°-10.8°) 5.3°'dir ve illit varlığı göstermez. EG paternine bakıldığında çok düşük şiddette görülen 10.96 Å değerli pik muhtemelen çok az oranda smektit karışık katman içeren illit varlığını göstermektedir.

1-MH örneğine ait kil fraksiyonu ile gerçekleştirilen Yüksek Sıcaklık (400 °C) XRD paternine bakıldığında; smektit bazal piki 9.85 Å mesafe değerli, düşük şiddetli, yayvan, simetrik görünümlü ancak yüksek 2θ tarafında kısmen asimetriktir. HK smektit bazal piki ile olan farkına bakıldığında 4.45 Å' luk çökme gerçekleştiği görülmektedir. Klorit-kaolinit bazal piki olan 7 Å değeri YS paterninde görülmemektedir. Bu durum 1-MH örneğinde kaolinit varlığı ile eser oranda muskovit klorit varlığını göstermektedir.



Şekil 3.17 : 1 No'lu ocağa ait mil havuzundan alınmış malzeme ve bu malzemeden kil fraksiyonu ile elde edilen örneklere ait XRD paternleri (TK. Tüm kaya (malzeme): kil fraksiyonuna ait çekimler; HK. Havada kurutulmuş, EG: Etilen glikol ile muamele edilmiş, YS: Yüksek sıcaklık (400°C)).

3.3.6 2 No'lu kum ocağı mil havuzu çamur örneği

2 No'lu kum ocağına ait mil havuzundan alınmış örnek 2-MH olarak isimlendirilmiştir. 2-1 isimli mil havuzu örneğinin tüm kaya (malzeme) ve kil fraksiyonu XRD paternleri (TK: tüm Kaya; HK: Havada Kurutulmuş; EG: Etilen Glikol ile muamele edilmiş; YS: Yüksek Sıcaklığa maruz bırakılmış) Şekil 3.18'de görülmektedir.

Tüm kaya paterninde smektit, illit-mika, klorit-kaolinit türü kil mineralleri ile kuvars ve feldspat mineralleri saptanmıştır. Belirgin oranda smektit ve illit-mika bulunmaktadır. Smektit d_{001} mesafesi 14.89 Å olup Ca-smektiti işaret etmektedir. 001 bazal piki simetrik görünümlü, keskin, kısmen yayvan ve orta şiddetli bir piktir. İllit-mika bazal piki (d_{001}) 9.89 Å değerinde, simetrik, çok keskin ve şiddetli bir piktir, mikayı işaret eder.

Klorit-kaolinit piki mesafe değeri 7.16 Å' dur. Bu pike bakıldığında düşük şiddetli, simetrik, yayvan yapılı bir pik olduğu görülmektedir.

2-MH mil havuzu örneğine ait kil fraksiyonu HK paternine bakıldığında fraksiyonun başarılı olduğu görülmektedir. Smektit bazal piki (14.55 Å) şiddetli, kısmen keskin ve hafif yayvan görünümlü bir piktir. İllit mika bazal piki 9.89 Å olup düşük şiddette görülmektedir. Muhtemelen örnekte illit-mika fazı büyük oranda mikadır ve HK paterninde kaybolmuştur kısmen bir miktar illit kalmıştır.

Klorit-kaolinit piki 7.14 Å olup çok düşük şiddetlidir.

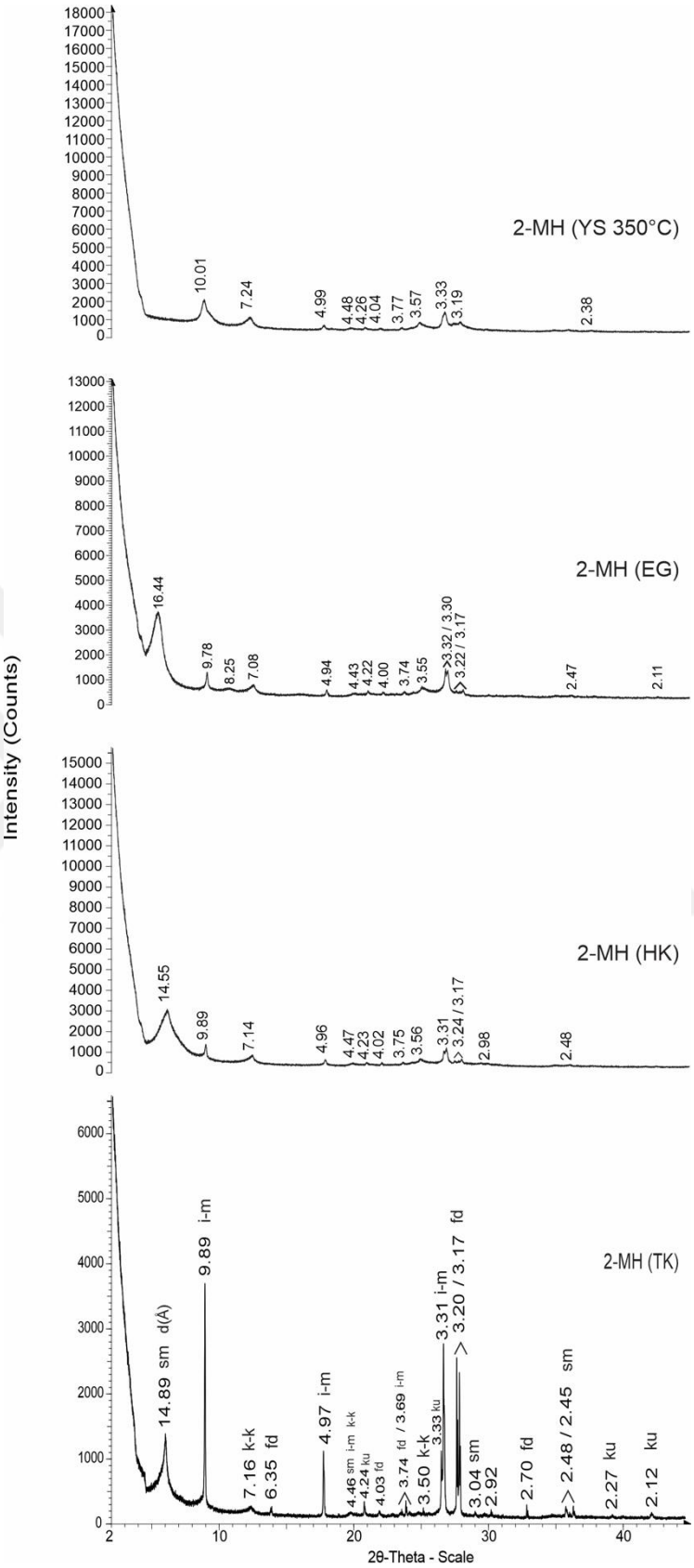
2-MH isimli mil havuzu örneğine ait kil fraksiyonu EG paternine bakıldığında etilen glikol ile muamelenin başarılı sonuçlandığı görülmektedir. Smektit bazal piki ($001_{smektit}$) 16.44 Å değerli, kısmen keskin ve simetrik görünümlüdür. HK paterni ile kıyaslandığında Δ = 16.44 Å (EG)-14.55 Å (HK) farktan 1.89 Å'luk genişleme gösterdiği anlaşılır.

EG paterninde smektitin bazal serisi (001) 16.44; (002) 8.25; (003) 4.94; (004) 4.22; (005) 3.30; (006) 2.47 (?) şeklindedir. Bu değerler ile bazal seri N [1/2/3…] için [16.44/16.50/14.82/16.88/16.50/14.82] şeklinde hesaplanmıştır. Bazal serinin homojen olmayan bu dağılımı karışık katman içerebileceği şüphesi uyandırmıştır. Bu sebeple EG paternindeki İllit (002) / Smektit (003) ve İllit (001) / Smektit (002) değerleri kontrol edilmiştir. İllit (002) / Smektit (003) mesafe değeri 4.94 Å' dur ve %90 dan fazla illit varlığına işaret eder. İllit (001) / Smektit (002) mesafe değerine

bakıldığında, bu değer 8.25 Å dur ve illit varlığı göstermez (Moore ve Reynolds, 1997). Bu iki pikin (8.25 Å ve 4.94 Å) hesaplanmış Δ2θ değeri (18°-10.8°) 7.2°'dir ve %60-70 arası illit varlığına işaret eder.

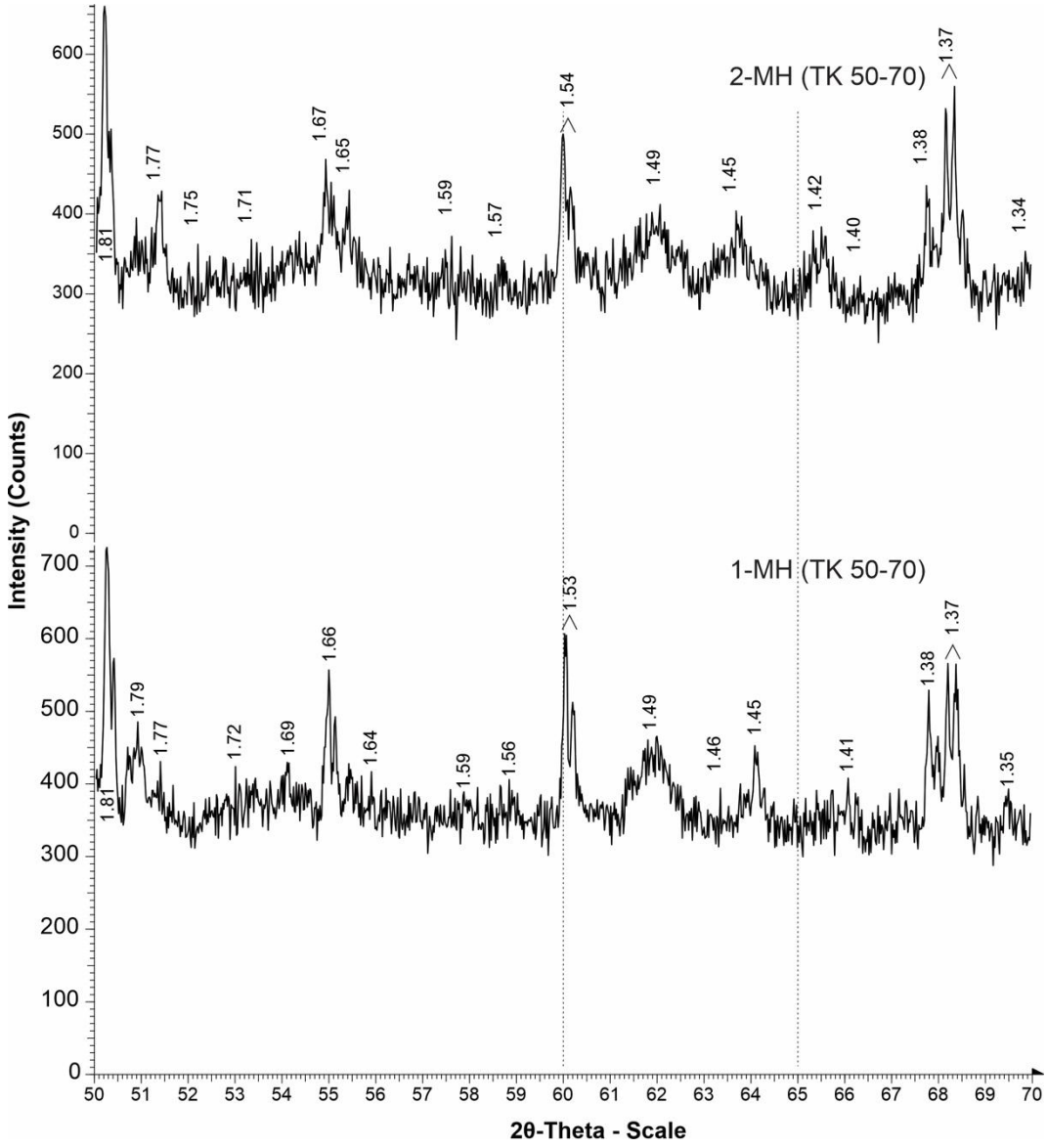
2-MH örneğine ait kil fraksiyonu ile gerçekleştirilen Yüksek Sıcaklık (350°C) XRD paternine bakıldığında; smektit bazal piki 10.01 Å değerli, düşük orta şiddetli, çok keskin olmayan, simetrik görünümlü ancak yüksek 2θ tarafında kısmen asimetri gösteren hafif yayvan bir piktir. HK smektit bazal piki ile olan farkına bakıldığında 4.54 Å'luk çökme gerçekleştiği görülmektedir. Klorit-kaolinit bazal piki 7.24 Å mesafe değerli, düşük şiddetli, yayvan bir piktir.

Çalışma alanı içerisinde 2 No'lu kum ocağı, 1 No'lu kum ocağının kuzey doğusunda yer almaktadır. Bu işletmelere ait mil havuzlarından alınmış örneklerin, tüm kaya (malzeme) XRD paternlerine bakıldığında; kuvars oranlarında ciddi bir fark gözlemlenmemektedir. Buna karşın 2 No'lu ocağa ait mil havuzunun, 1 No'lu ocağın mil havuzundan daha fazla feldspat ve illit-mika grubu mineralleri içerdiği gözlemlenmiştir.



Şekil 3.18 : 2 No'lu ocağa ait mil havuzundan alınmış malzeme ve bu malzemeden kil fraksiyonu ile elde edilen örneklere ait XRD paternleri (TK. Tüm kaya (malzeme): kil fraksiyonuna ait çekimler; HK. Havada kurutulmuş, EG: Etilen glikol ile muamele edilmiş, YS: Yüksek sıcaklık (350°C)).

1-MH ve 2-MH olarak isimlendirilmiş örnekler ilgili kum ocaklarının mil havuzlarından alınmış örneklerdir. Yönlenmemiş numune ile 50°-70° 2θ aralığında XRD çekimi gerçekleştirilmiştir. İki örnek içinde d_{060} mesafe değerleri 1.49 Å' dur. 060 bazal piki için bu değerler, analizi gerçekleştirilmiş olan örneklerdeki smektit minerallerinin dioktahedral karakterde olduğunu göstermektedir. (Şekil 3.19)



Şekil 3.19 : 1-MH ve 2-MH isimli örnekler için 50°-70° 2θ aralığında yönlenmemiş numune ile gerçekleştirilen XRD çekimi sonucunda elde edilmiş olan paternlerin görünümü.

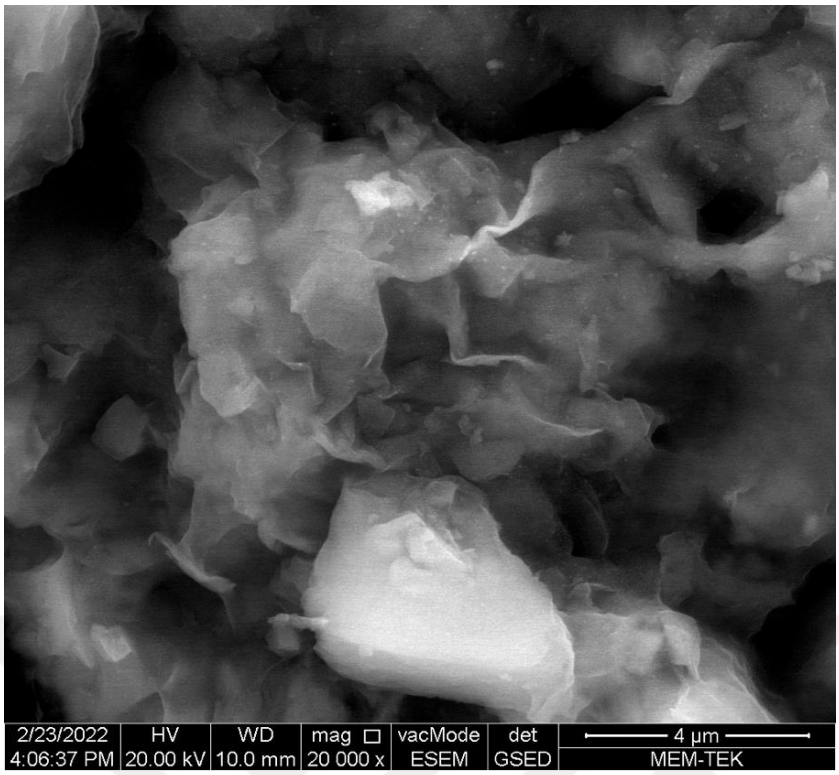
3.4 Taramalı Elektron Mikroskobu İncelemeleri (SEM+EDS)

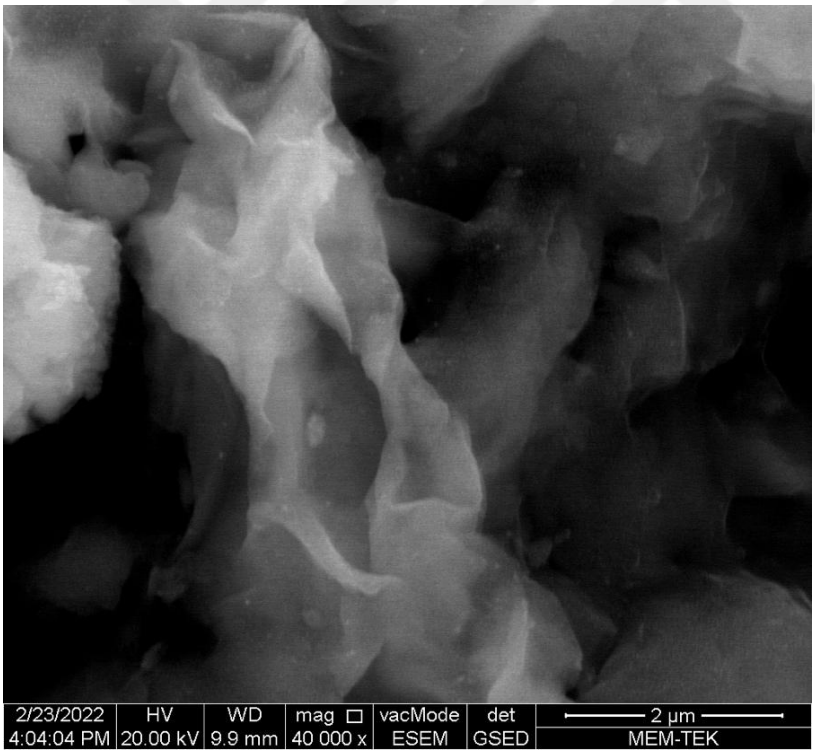
Çalışma alanında yer alan 1 No'lu kum ocağı mil havuzundan alınmış olan 1-MH örneği ile 4 No'lu kum ocağı, işletme seviyesinden alınmış olan 4-B örneği için taramalı elektron mikroskobu (SEM) incelemeleri gerçekleştirilmiştir. Enerji dağılımlı X-ışını spektroskopisi (EDX) yalınızca 1-MH örneğinde gerçekleştirilmiştir.

3.4.1 1 No'lu mil havuzu; çamur örneği (1-MH)

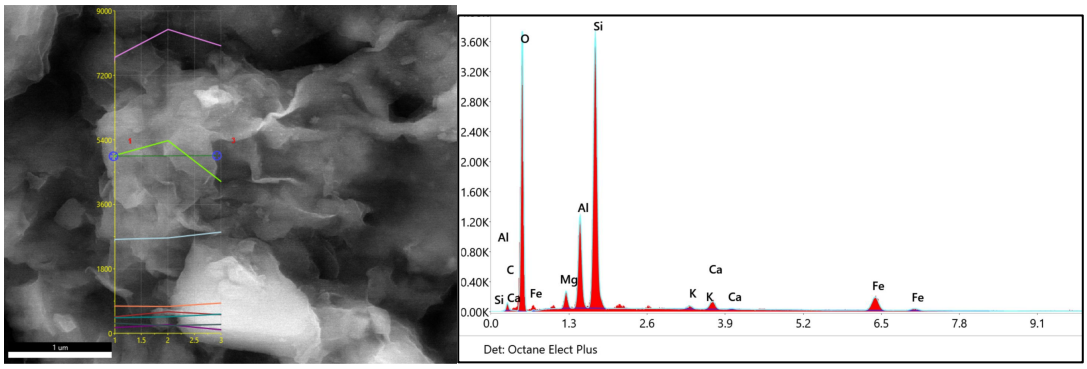
1 No'lu ocağa ait mil havuzu örneğinin SEM görünümleri düzenli ve yoğun smektit oluşumları göstermemiştir. Bunun muhtemel nedeni, ocaklarda doğal formasyondan gelen ham kayacın bazı işlemler geçirmiş olmasıdır. Ocak aynalarından alınan tüvanan kum-çakıl malzemesi önce yıkama-eleme işlemleri geçirmektedir. Sonrasında, elek altı ince malzeme belli su deşarj yoluyla (genelde borularla) çamurlu su kıvamlı akıcılıkla mil havuzlarına gönderilmektedir ve havuzlarda birikmektedir. Malzeme bu işlemler ve birikme neticesinde çok ince boyutlarda dağılmış durumda, doğal durumundan uzak bulunmaktadır. SEM görünümünde smektit yapılarının-dokularının görülmesi ama devamlılıkla ve yoğunlukla izlenememesi bu nedenledir.

Smektitlerde devamlılığa sahip, yoğun bal peteği yapısı görülmemiştir. Bunun nedeni de muhtemelen yukarıda açıklanan işlemlerdir. Ancak, kopuk-parçalı taneciklerde smektitlerin mısır gevreği, muhtemel gül-rozet yapıları bellidir (Şekil 3.20). Smektit yaprak kenarları belirlidir ve yaklaşık 2-4 mikron arasında değişmektedir (Şekil 3.20). SEM çalışmalarında, smektitlerle ilişkili olan bazı feldspat taneciklerinde, feldspat – smektit dönüşümünü işaret eden görünümler elde edilmiştir. Şekil 3.20'de üstteki resmin alt kesiminde ve alttaki resmin ise sol kenar kesiminde yaklaşık 3-5 mikron boyutlu bir feldspat taneciklerinin üzerlerinden ve kenar zonlarından itibaren smektitin meydana gelmesi (büyümesi) görülmektedir. 1 No'lu ocağa ait mil havuzu örneğinin SEM görünümlerinde tanımlanan alandan EDX analizi de elde edilmiştir. Analiz alınan alan ve EDX paterni Şekil 3.21' de, EDX analiz değerleri ise Çizelge 3.3'de görülmektedir. Analiz sonuçları yüksek Fe göstermiştir ve doğal mil havuzu kimyasal analizlerinin (XRF) sonuçları ile örtüşmektedir. Yaklaşık-yuvarlatılmış değerler olarak ve düzeltme yapılmamış sonuçlara göre 1 No'lu ocağa ait mil havuzu malzemesindeki smektit mineralinin bazı element değerleri şu şekildedir: Si (%20), Al (% 7), Fe (% 5), Mg (% 1,5), Ca (% 1,5), K (% 0,5).





Şekil 3.20 : 1 No'lu ocağa ait mil havuzu örneğinin SEM görünümü. Smektitlerde kısmen gül buketi benzeri (üstte) veya mısır gevreği benzeri (üstte ve altta) yapılar görülmektedir. Yaprakların kenar uzunlukları 2-4 mikron gibidir (üstte ve altta). Yaklaşık 3-5 mikron boyutlu bir feldspatın üzerinden ve kenar zonlarından smektit oluşumu (büyümesi) (üstte ve altta).



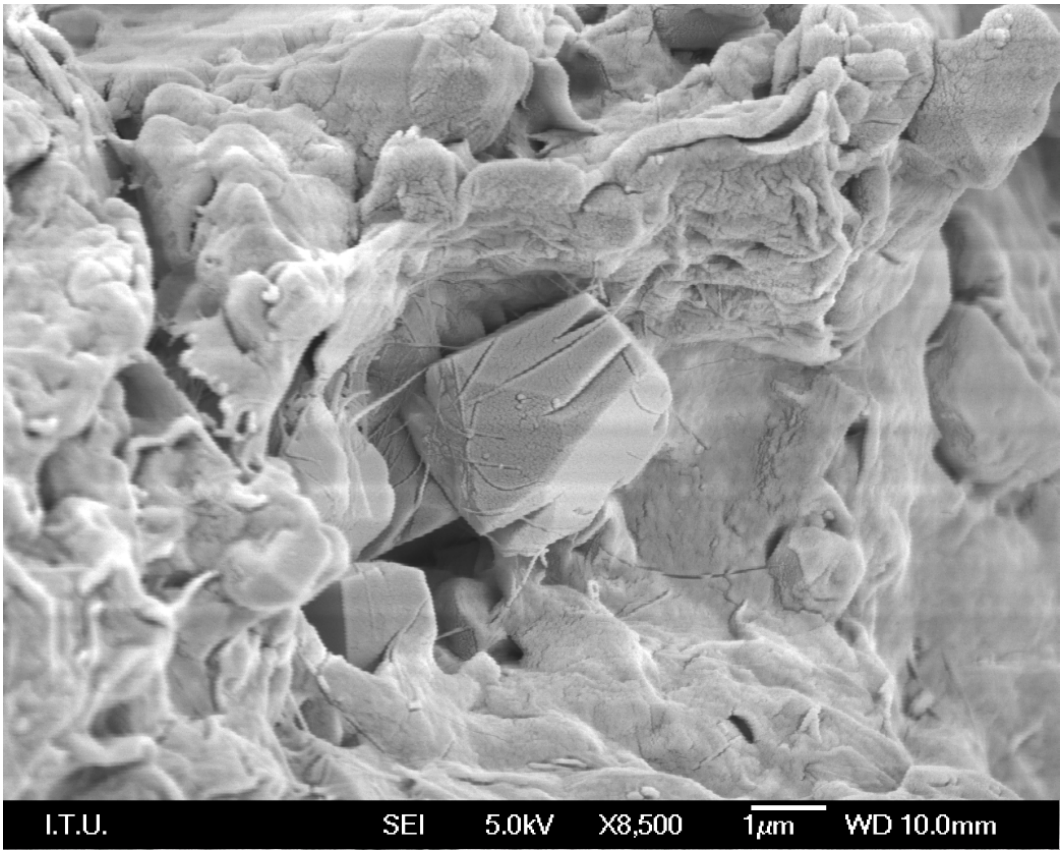
Şekil 3.21 : 1 No'lu ocağa ait mil havuzu örneğinin SEM-EDX analizinin alındığı görüntü alanı (solda) ve EDX paterni (sağda).

Çizelge 3.3 : 1 No'lu ocağa ait mil havuzu örneğinin SEM-EDX analiz değerleri.

Element	Weight %	MDL	Atomic %	Net Int.
C-K	10.9	1.50	16.6	9.8
O-K	53.8	0.07	61.9	440.9
Mg-K	1.5	0.12	1.1	35.3
Al-K	6.9	0.11	4.7	202.8
Si-K	20.0	0.10	13.1	637.9
K-K	0.4	0.19	0.2	9.2
Ca-K	1.4	0.20	0.6	26.5
Fe-K	5.2	0.32	1.7	56.0

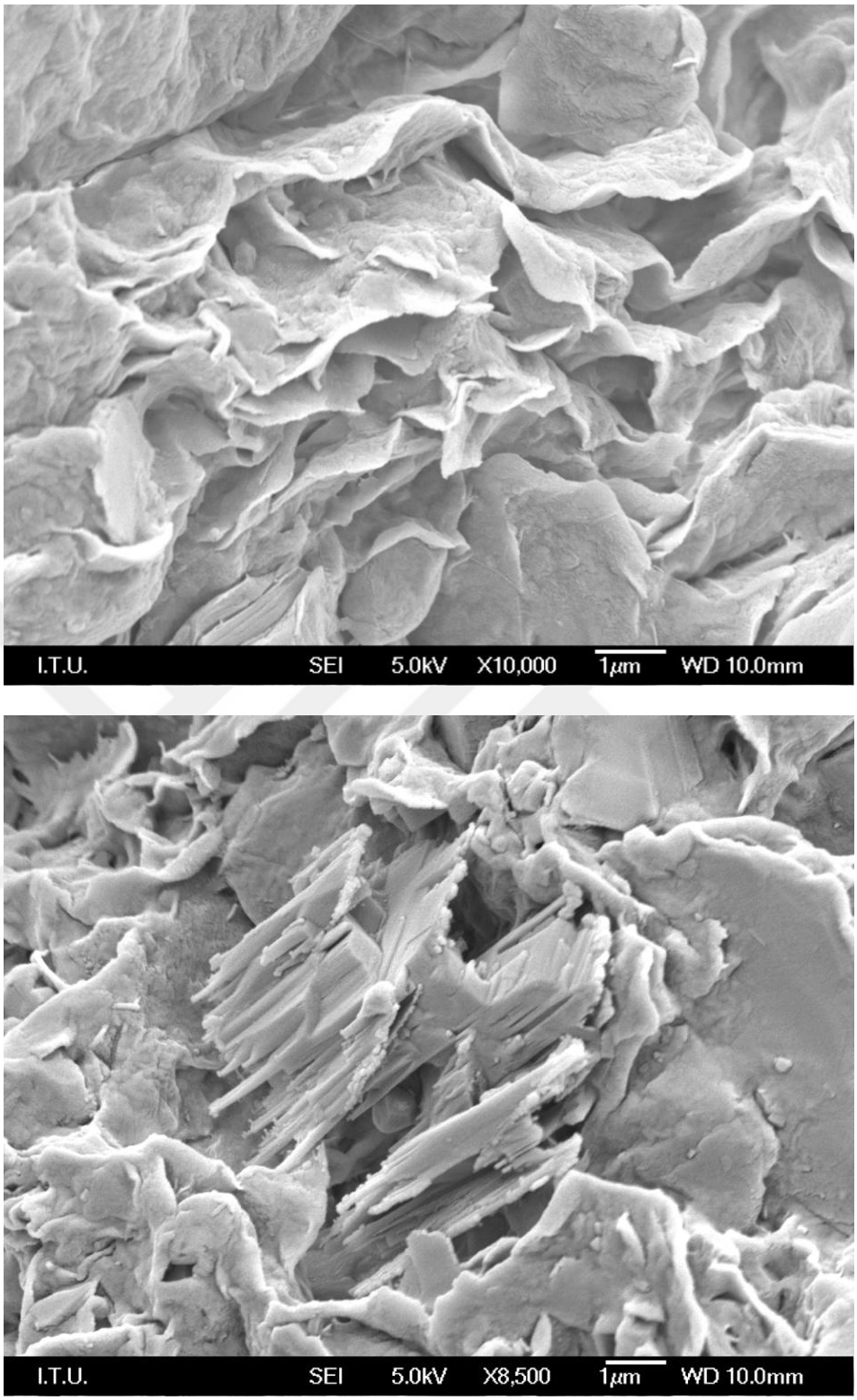
3.4.2 4 No'lu kum ocağı; bentonit örneği

4 No'lu kum ocağı, işletme seviyesinden alınmış 4-B isimli bentonit örneğine ait taramalı elektron mikroskobu görünümleri Şekil 3.22, 23 ve 24' de verilmiştir. Bentonit örneğinde yaygın olarak smektit bulunmaktadır ve görünümleri elde edilmiştir. Ayrıca smektitlerle ilişkili olarak feldspat taneleri ve muhtemel kaolinit (veya feldspat iskeleti) görünümleri ve muhtemel kuvars taneciklerine ait görünümler saptanmıştır (Şekil 3.22).



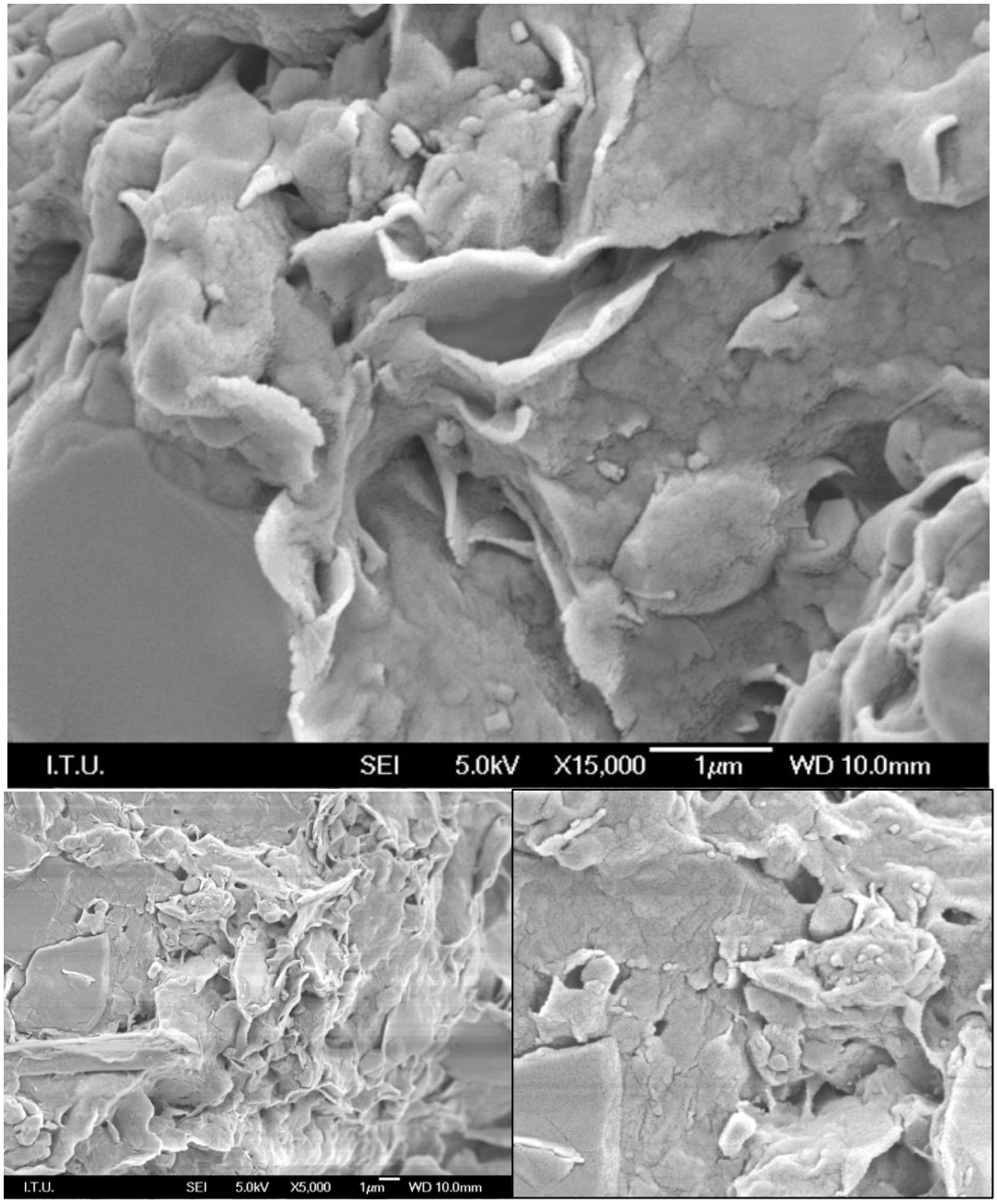
Şekil 3.22 : Bentonit örneğinin SEM görünümünde smektit oluşumu (eğrisel-konkav kenarlı oluşumlar), feldspat (ana zeminde iri tane) ve kuvars (merkezdeki 3x5 mikron boyutlu tane) görünümleri.

Smektitlerde bal peteği yapısı izlenmemiştir. Mısır gevreği ve rozet benzeri yapılar, özellikle mısır gevreği türü yaygın olarak görülmüştür (Şekil 3.23). Smektitlerin yapraklarının (flake) kenarları genelde 2-4 mikron arasıdır. Bazı görünümlerde kenarların parçalanmadan belirli bir uzunlukta oldukları (>10 μm) görülmüştür (Şekil 3.23). Smektitlerle ilişkili kaolinit oluşumuna benzeyen görünümler de bulunmaktadır (Şekil 3.23). Bu dokunun birincil feldspat ikiz-dilinim düzlemlerinden çözünerek kalıntı-iskelet şeklinde duran feldspat olmaları da olasıdır.



Şekil 3.23 : Smektitlerde mısır gevreği yapısı yaygın olarak bulunur (üstte). Yaprak kenarları genelde 2-4 mikron arasıdır ama resmin üst kesiminde bulunan yaprak kenar uzunluğunun devamlılığı 10 mikron üzerindedir. Smektitlerle ilişkili kaolinit oluşumuna benzeyen görünümler bulunmaktadır (altta). Ancak bunların ikiz-dilinim düzlemlerinden çözünerek kalıntı şeklinde duran feldspat olmaları da olasıdır (kimyasal analizi alınamamıştır).

Bentonit örneğinde yaygın smektit oluşumu bulunmaktadır. Smektitlerin feldspattan dönüşümle meydana geldiğinin dokusal izleri bulunmaktadır. Şekil 3.24' de bu ilişkiler görülmektedir. Smektitlerin feldspat tanelerinin kenarlarında (üstte) ve ayrıca muhtemel dilinim-ikiz düzlemlerinde veya pertitik zonlarında oluşmaya başladığı görülmektedir (Şekil 3.24).



Şekil 3.24 : Bentonit örneğinde yaygın smektit oluşumu ve smektitler ile iri taneli bir feldspatların ilişkisi. Feldspat kenarlarında (üstte) ve muhtemel dilinim düzlemlerinde veya pertitik zonlarda (alt sıra) smektit oluşumu görülmektedir. Alt resimdeki feldspat-smektit ilişkisinin görünümü sağda yakınlaştırılmış olarak görülmektedir.

4. JEOKİMYA

Jeokimya çalışmaları için bölgeden kum, mil (mil havuzu çamuru) ve kil örnekleri değerlendirilmiştir. Bu kapsamda; 1 No'lu kum ocağının en alt ve en üst seviyelerinden alınmış kum örnekleri (1-1 ve 1-3) ile mil örneği (1-MH), 2 No'lu kum ocağı üst seviyesine ait kum örneği (2-2) ile mil örneği (2-MH), 3 No'lu kum ocağından alınmış kum örneği (3-1) ve bölgeye ait bentonitik kil seviyesini temsil eden örnek (4-B) için kimyasal analizler yapılmıştır.

Tüm kimyasal analiz sonuçları ile bu sonuçlardan hesaplanmış olan ortalama majör oksit (%),iz element (ppm) ve nadir toprak element (ppm) değerleri Çizelge 4.1' de verilmiştir. Bu değerlere ek olarak SiO_2/Al_2O_3, K_2O/Na_2O, Fe_2O+MgO, CIA ve PIA değerleri ile nadir toprak elementleri için hesaplanmış toplam değerleri de aynı çizelgede verilmiştir. Nadir toprak elementleri (rare earth elements) toplam değerleri, ∑REE= Toplam (La-Lu)+Y; hafif nadir (light rare) toprak elementleri toplamı, ∑LREE= Toplam(La-Nd); orta nadir (medium rare) toprak elementleri toplamı, ∑MREE= Toplam(Sm-Ho) ve ağır nadir (heavy rare) nadir toprak elementleri toplamı, ∑HREE= Toplam(Er-Lu) şeklindedir. Her bir örnek için kaynak kayacının alterasyon derecesini belirlemeye yönelik kullanılan "Kimyasal Alterasyon İndeksi (Chemical Index of Alteration; CIA)" ve "Plajiyoklaz Alterasyon İndeksi" (Plagioclase Index of Alteration; PIA) değerleri; CIA değeri için, Nesbitt ve Young (1982) tarafından önerilen "CIA= $100x[Al_2O_3/(Al_2O_3+CaO^*+Na_2O+K_2O)]$" formülü ile PIA değerleri ise Fedo ve diğ. (1995) tarafından önerilen "PIA= $100x[(Al_2O_3-K_2O)/(Al_2O_3+CaO^*+Na_2O-K_2O)]$" formülü yardımıyla ve formüllerde yer alan oksitlerin moleküler oranları dikkate alınarak hesaplanmıştır. Formüllerde kullanılan CaO* değeri, sadece silikat minerallerinden kaynaklanan CaO değeri olup karbonat ve apatit düzeltmesi yapılarak kullanılmaktadır. Bu amaçla CaO* değerleri McLennan ve diğ. (1993) tarafından önerilen "molCaO*= molCaO-10/3molP_2O_5" formülü kullanılarak hesaplanmıştır. Düzeltme sonucunda CaO* değerinin, Na_2O değerinden daha düşük çıkması durumunda CaO* değeri; yüksek çıkması halinde ise CaO* yerine Na_2O değeri hesaplamaya dahil edilmiştir (McLennan ve diğ., 1993). Çalışmada ayrıca, CIA formülünde kullanılan majör oksit değerlerinin uç bileşenler seçildiği,

kayaç, bileşimi ile felsik ve mafik kayaçların alterasyon derecelerini gösteren üçgen diyagramlara da yer verilmiştir.

Çizelge 4.1 : Bentonit (4-B) örneği ile kum ocağı (1-1, 1-3, 2-2, 3-1) ve mil havuzu (1-MH, 2-MH) örneklerine ait majör oksit (%), iz element (ppm) ve nadir toprak element (ppm) değerleri. (1 No'lu Ort.: 1-1 ve 1-3 seviyeleri; K.O. Ort.; Tüm kum ocakları ve M.H. Ort.: Mil havuzu örnekleri için hesaplanmış ortalama değerler.)

	1-1	1-3	1 No'lu Ort.	2-2	3-1	K.O. Ort.	1-MH	2-MH	M.H. Ort.	4-B
Majör Oksit										
SiO_2	70,20	77,94	74,07	73,14	79,86	75,29	60,96	57,90	59,43	43,59
Al_2O_3	11,12	10,63	10,88	13,49	10,07	11,33	15,41	20,21	17,81	12,78
Fe_2O_3	4,57	2,34	3,46	2,81	1,55	2,82	7,50	6,91	7,21	7,65
MgO	1,54	0,78	1,16	0,80	0,63	0,94	2,41	1,74	2,08	2,31
CaO	4,20	1,36	2,78	1,45	1,55	2,14	2,99	2,15	2,57	15,41
Na_2O	1,34	1,48	1,41	1,46	1,60	1,47	1,42	1,10	1,26	0,39
K_2O	2,33	3,14	2,74	4,13	3,15	3,19	1,91	3,40	2,66	1,88
TiO_2	0,51	0,29	0,40	0,36	0,23	0,35	0,60	0,78	0,69	0,69
P_2O_5	0,14	0,05	0,10	0,05	0,06	0,08	0,13	0,09	0,11	0,10
MnO	0,10	0,03	0,07	0,04	0,02	0,05	0,17	0,12	0,15	0,11
Cr_2O_3	0,04	0,03	0,04	0,17	0,01	0,06	0,03	0,02	0,03	<0,01
SO_3	0,03	0,05	0,04	0,03	0,01	0,03	0,08	0,03	0,05	0,02
Cl	<0,01	0,02	<0,015	0,02	<0,01	<0,015	0,03	0,04	0,036	0,02
LOI	3,74	1,75	2,75	1,93	1,15	2,14	6,16	5,36	5,76	14,94
SiO_2/Al_2O_3	6,31	7,33	6,82	5,42	7,93	6,75	3,96	2,86	3,41	3,41
K_2O/Na_2O	1,74	2,12	1,93	2,83	1,97	2,16	1,35	3,09	2,22	4,82
Fe_2O_3+MgO	6,11	3,12	4,62	3,61	2,18	3,76	9,91	8,65	9,28	9,96
CIA	61,60	56,49	59,05	59,26	53,72	57,77	69,57	73,47	71,52	73,47
PIA	66,10	60,16	63,13	65,25	55,85	61,84	74,07	82,04	78,05	82,04
İz Element										
Ni	64	24	44	20	18	31,5	91	50	70,5	120
Sc	14	8	11	8	6	9	21	20	20,5	20
Ba	543	558	550,5	591	505	549,25	912	587	749,5	314
Co	9	3	6	4	2	4,5	16	18	17	13
Cs	2,41	2,27	2,34	2,69	1,63	2,25	3,93	5,57	4,75	6,54
Ga	10,45	10,26	10,35	11,28	8,81	10,20	15,57	19,84	17,70	13,24
Hf	1,07	0,91	0,99	0,63	0,64	0,81	1,74	1,38	1,56	1,40
Nb	7	7	7	7	6	6,75	9	13	11	10
Rb	62,77	89,01	75,89	99,01	78,51	82,32	65,29	116,89	91,09	71,36
Sn	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02
Sr	346	231	288,5	217	234	257	446	246	346	126
Th	6,64	8,46	7,55	4,93	5,23	6,31	13,61	19,01	16,31	9,77
U	1,75	2,22	1,98	2,84	2,91	2,43	3,84	7,16	5,50	2,15
Zr	134	116	125	99	68	104,25	137	182	159,5	127

Çizelge 4.1(devam) : Bentonit (4-B) örneği ile kum ocağı (1-1, 1-3, 2-2, 3-1) ve mil havuzu (1-MH, 2-MH) örneklerine ait majör oksit (%), iz element (ppm) ve nadir toprak element (ppm) değerleri.(1 No'lu Ort.: 1-1 ve 1-3 seviyeleri; K.O. Ort.; Tüm kum ocakları ve M.H. Ort: Mil havuzu örnekleri için hesaplanmış ortalama değerler.)

	1-1	**1-3**	**1 No'lu Ort.**	**2-2**	**3-1**	**K.O. Ort.**	**1-MH**	**2-MH**	**M.H. Ort.**	**4-B**
Y	9,98	8,30		7,66	6,29	8,06	15,98	17,71	16,85	17,99
Mo	2	1	1,5	<1	2	<1,5	2	1	1,5	2
Cu	8	7	7,5	6	3	6	20	18	19	20
Pb	17	25	21	29	17	22	21	39	30	13
Zn	31	19	25	23	18	22,75	49	68	58,5	61
As	16	9	12,5	4	1	7,5	34	12	23	6
Sb	<0,02	1,09	0,55	0,36	0,10	0,39	0,17	<0,02	0,095	0,04
Ag	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02
In	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
Tl	0,36	0,60	0,48	0,66	0,48	0,52	0,46	0,96	0,71	0,54
V	83	42	62,5	42	33	50	140	101	120,5	114
Au	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02
Ir	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
Pd	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
Pt	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
Rh	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
Ru	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
Te	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
TOPLAM	100,00	100,00	99,99	100,00	100,00	99,99	100,00	100,00	100,00	100,00
Nadir Toprak										
La	13,36	16,18	14,77	13,80	9,19	13,13	24,62	53,87	39,24	21,61
Ce	26,15	30,76	28,46	27,70	18,83	25,86	47,35	87,77	67,56	39,38
Pr	3,02	3,43	3,22	3,05	2,21	2,93	5,04	7,70	6,37	4,85
Nd	10,92	12,09	11,50	10,17	8,52	10,42	18,15	29,04	23,60	18,33
Sm	2,48	2,75	2,61	2,47	2,13	2,46	4,31	5,55	4,93	4,10
Eu	0,71	0,67	0,69	0,74	0,69	0,70	1,10	1,25	1,18	1,01
Gd	2,16	1,96	2,06	2,02	1,72	1,96	3,81	5,14	4,47	3,57
Tb	0,37	0,35	0,36	0,31	0,25	0,32	0,51	0,75	0,63	0,59
Dy	1,86	1,67	1,77	1,60	1,28	1,60	3,28	4,02	3,65	3,17
Ho	0,38	0,30	0,34	0,31	0,23	0,30	0,62	0,71	0,67	0,66
Er	1,15	0,98	1,07	1,06	0,76	0,99	1,99	2,17	2,08	2,20
Tm	0,14	0,12	0,13	0,13	0,09	0,12	0,28	0,27	0,27	0,27
Yb	1,12	0,92	1,02	0,91	0,55	0,88	1,86	2,05	1,96	1,89
Lu	0,15	0,12	0,14	0,15	0,07	0,12	0,21	0,31	0,26	0,25
∑REE	73,97	80,60	77,28	72,07	52,80	69,86	129,10	218,31	173,70	119,86
∑LREE	53,45	62,46	57,95	54,72	38,74	52,34	95,16	178,37	136,77	84,16
∑MREE	7,96	7,70	7,83	7,45	6,29	7,35	13,62	17,42	15,52	13,09
∑HREE	2,57	2,14	2,36	2,24	1,47	2,11	4,34	4,80	4,57	4,61

1 No'lu, 2 No'lu ve 3 No'lu kum ocaklarına ait kum örneklerinin tüm kaya kimya analiz sonuçlarına bakıldığında majör oksit ve iz element açısından büyük bir farklılık söz konusu değildir. Örnekler genelinde majör oksit aralıkları SiO_2 %70,20-79,86, Al_2O_3 % 10,07-13,49, Fe_2O_3 % 1,55-4,57, MgO % 0,63-1,54, CaO % 1,36-4,20, Na_2O % 1,34-1,60, K_2O % 2,33-4,13 ve TiO_2 % 0,23-0,51 şeklindedir. LOI (Loss of Ignition / Ateşte Kayıp) ise %1,15-3,74 arasındadır. SiO_2/Al_2O_3 oranı 5,42-7,93, K_2O/Na_2O oranı 1,74-2,83 ve Fe_2O_3+MgO değerleri ise %2,18-6,11 arasındadır.

İz element değerlerine (ppm) bakıldığında, belli istisnalar haricinde belirgin bir farklılık görülmemektedir. Gözlemlenen kısmi geniş aralık sebebiyle istisna olarak tanımlanan element değerleri (ppm); V (33-83), Ni (18-64), Hf (0,63-1,07), Zr (68-134) ve As (1-16) şeklindedir.

Kum örneklerine ait nadir toprak element değerleri (ppm) açısından belirgin bir farklılık söz konu değildir. Bu örnekler için hesaplanmış toplam değerleri; ∑REE (52,80-80,60), ∑LREE (38,74-62,46), ∑MREE (6,29-7,96) ve ∑HREE (1,47-2,57) aralıklarındadır. Toplam nadir toprak elementlerince 1-3 isimli örneğin, en yüksek değerlere sahip olduğu görülürken, 3-1 isimli örnek ise en düşük değerlere sahiptir. Ek olarak, tüm kum örnekleri için ∑LREE değerlerinin ∑MREE ve ∑HREE değerlerinden daha yüksek olduğu görülmektedir.

1 No'lu (1-MH) ve 2 No'lu (2-MH) kum ocakları mil havuzlarına ait tüm kaya (malzeme) kimyasal analiz sonuçlarına bakıldığında majör oksit (%) ve iz element değerlerinde (ppm) istisnalar hariç büyük bir farklılık söz konusu değildir. Majör oksit değerleri sırasıyla; 1 No'lu kum ocağı mil havuzu (1-MH) ve 2 No'lu kum ocağı mil havuzu (2-MH) için sıralanmıştır. Majör oksit değerleri; SiO_2 %60,96-57,90, Al_2O_3 %15,41-20,21, Fe_2O_3 %7,50-6,91, MgO % 2,41-1,74, CaO % 2,99-2,15, Na_2O % 1,42-1,10, K_2O % 1,91-3,40 ve TiO_2 % 0,60-0,78 şeklindedir. LOI (Loss of Ignition / Ateşte Kayıp) ise %6,15-5,36 değerlerindedir. Majör oksitlere bakıldığında belirgin bir farklılık gözlemlenmemektedir. 1-MH- 2-MH sırasıyla; SiO_2/Al_2O_3 oranı 3,96-2,86, K_2O/Na_2O oranı 1,35-3,09 ve Fe_2O_3+MgO değerleri ise %9,91-8,65 şeklindedir

Analizi yapılan iz elementler grubu açısından belirgin bir farklılık 1 No'lu alt kum seviyesinin üst seviyeden daha yüksek iz element toplamına sahip olduğudur. 1 No'lu kum örneklerinin ortalama toplam iz element değerleri de diğer alanlardaki ocaklara

ait kum örneklerinin iz element toplamlarından yüksektir. Birçok iz element 1 No'lu ocağının bulunduğu Beyciler kesiminde daha yüksek değerde bulunmuştur.

2 No'lu mil havuzu örneğindeki yüksek Al_2O_3 (%20,21) ve K_2O (%3,40) değerleri dikkat çekicidir. Bu majör oksitler bu numunedeki mika fazlalığı ve kısmen de kaolinit varlığı ile ilişkili olabilir. Mil havuzu örnekleri kum örneklerine göre belirgin olarak yüksek iz element değerlerine sahiptir. Mil havuzlarına ait örneklerin (1-MH ve 2-MH) kendi içindeki iz element değerlerine (ppm) bakıldığında da bazı farklılıklar bulunmaktadır. Gözlemlenen kısmi geniş aralıklı element değerleri (ppm) sırasıyla 1-MH ve 2-MH için; Sr (446-246), Zr (137-182) ve Ba (912-587) şeklindedir.

Mil havuzu örneklerine ait nadir toprak element değerlerine (ppm) bakıldığında; mil havuzlarına ait örneklerin ∑REE değerlerinin, kum örneklerinden daha yüksek olduğu görülür. Sadece mil havuzu örneklerine bakıldığında ise 2-MH örneğinin daha yüksek değerlere sahip olduğu görülür. Bu örnekler için hesaplanmış toplam değerleri 1-MH ve 2-MH sırasıyla; ∑REE (129,10-218,31), ∑LREE (95,16-178,37), ∑MREE(13,62-17,42) ve ∑HREE(4,34-4,80) şeklindedir. Beklenen bir sonuç olarak, mil havuzu örneklerinde de ∑LREE değerleri, ∑MREE ve ∑HREE değerlerinden daha yüksektir.

Çalışma alanındaki bentonitik kil seviyesinin kimyasal analiz değerleri kum örneklerinden doğal olarak belirgin farklılık gösterir ama mil havuzu örneklerine yakındır. Çalışılan örnekler genelinde en yüksek LOI değeri ve iz element değerleri bentonit örneğindedir. CaO yüksekliği kalsit mineral varlığından, kısmen de bentonitin Ca-smektit tür kil minerali içermesinden kaynaklanmıştır. MgO yüksekliği de smektit ile ilişkili olmalıdır. XRD analiz sonucuna göre, bentonit numunesi Ca-smektit, illit-mika, klorit-kaolinit, kuvars, feldspat ve kalsit minerallerini içermektedir.

Bentonit örneği (4-B) için hesaplanmış nadir toprak element değerleri (ppm); ∑REE (119,86), ∑LREE (84,16), ∑MREE (13,09) ve ∑HREE (4,61) şeklindedir. 4-B örneği ∑REE değerinin; kum örneklerinden yüksek, mil havuzu örneklerinden ise düşük değerde olduğu görülür. Kum ve mil havuzu örneklerinde olduğu gibi bentonit örneğinde de ∑LREE değeri, ∑MREE ve ∑HREE değerlerinden yüksektir.

Mineraloji- petrografi bölümü, XRD başlığı altında değinildiği üzere; ocaklar arası mineral oran değişimlerine bakıldığında batıda yer alan 1 No'lu ile merkezde yer alan 3 No'lu kum ocaklarından, kuzeyde yer alan 2 No'lu kum ocağına doğru ilerlendiğinde kuvars minerali oranında artış gözlemlenmektedir. Buna karşın feldspat oranında

azalma gözlenmekte ve feldspat minerali oransal olarak en çok 3 No'lu kum ocağında gözlemlenmektedir. Tüm kaya kimyasal analiz majör oksit sonuçlarına bakıldığında, elde edilen % majör oksit değerlerinin bu sonuç ile uyumlu olduğu görülmektedir.

Köken ayrımı için Roser ve Korsch (1988) tarafından önerilen F1 ve F2 değişkenlerinin kullanıldığı diyagramlar kullanılmıştır. Diyagramlardaki F1 ve F2 değişkenleri a için: (4.1) ve (4.2) formülleri ile; b için: (4.3) ve (4.4) formülleri ile hesaplanarak kullanılmıştır.

$$F1 = (30.638TiO_2)/(Al_2O_3) - (12.541Fe_2O_{3(total)})/(Al_2O_3) + (7.329MgO)/(Al_2O_3) + (12.031Na_2O)/Al_2O_3) + (35.402K_2O)/(Al_2O_3) - 6.382 \quad (4.1)$$

$$F2 = (56.500TiO_2)/(Al_2O_3) - (10.879Fe_2O_{3(total)})/(Al_2O_3) + (30.875MgO)/(Al_2O_3) - (5.404Na_2O)/(Al_2O_3) + (11.112K_2O)/(Al_2O_3) - 3.89 \quad (4.2)$$

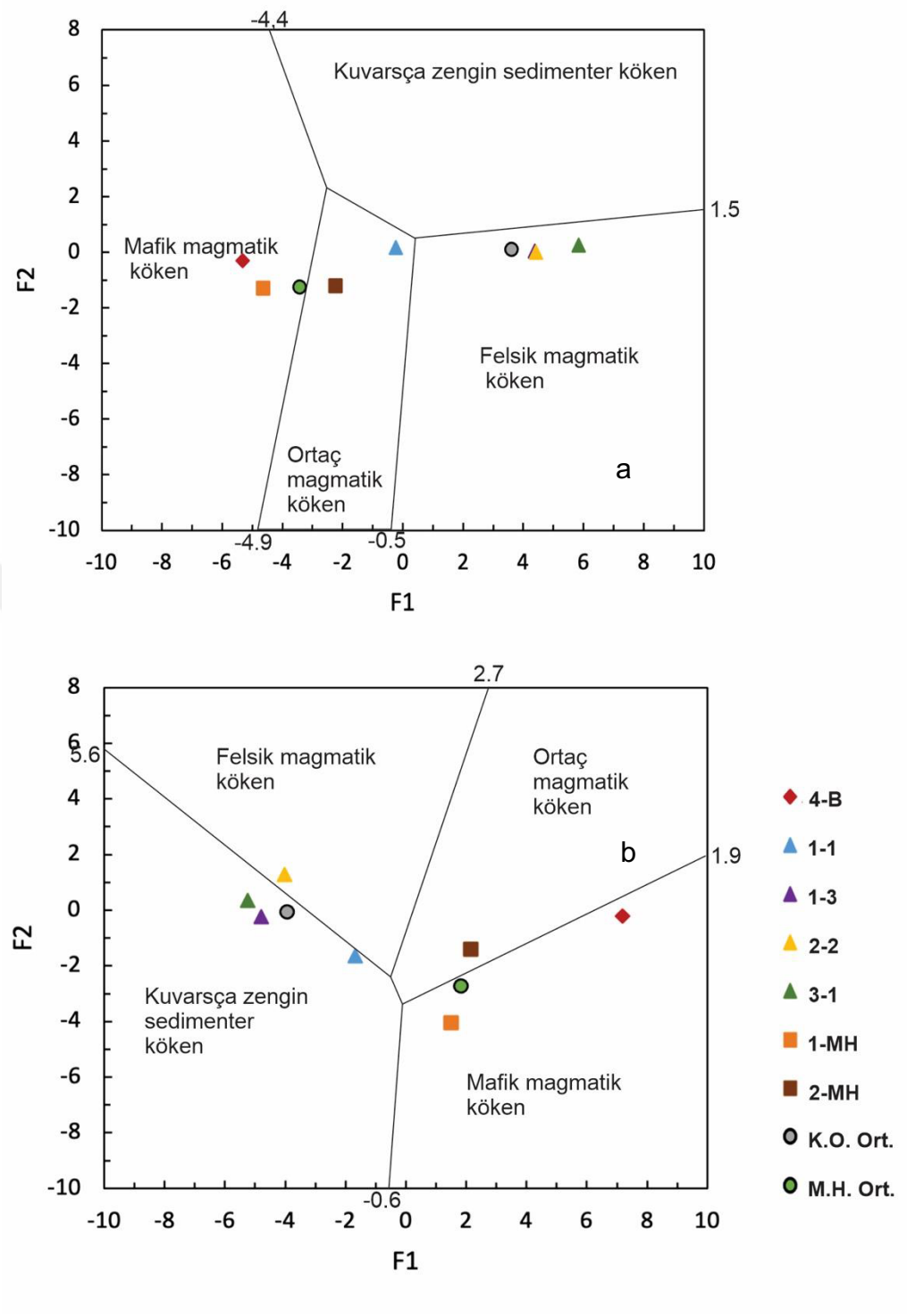
$$F1 = -1.773TiO_2 + 0.607Al_2O_3 + 0.76Fe_2O_{3(total)} - 1.5MgO + 0.616CaO + 0.509Na_2O - 1.224K_2O - 9.09 \quad (4.3)$$

$$F2 = 0.445TiO_2 + 0.07Al_2O_3 - 0.25Fe_2O_{3(total)} - 1.142MgO + 0.438CaO + 1.475Na_2O + 1.426K_2O - 6.861 \quad (4.4)$$

Şekil 4.1-a' ya bakıldığında, 1 No'lu kum ocağına ait en alt seviyeyi temsil eden örnek (1-1) ortaç magmatik kökeni işaret ederken, 1 No'lu ocağına ait en üst seviyeyi temsil eden 1-3 örneği ile 2 No'lu kum ocağına ait üst seviyeyi temsil eden 2-2 ve 3 No'lu kum ocağına ait 3-1 örneği felsik magmatik kökeni işaret etmektedir.

Şekil 4.1-b' de ise 1-1, 1-3 ve 3-1 örnekleri kuvarsça zengin sedimanter kökeni işaret ederken; 2-2 örneği felsik magmatik kökeni işaret etmektedir.

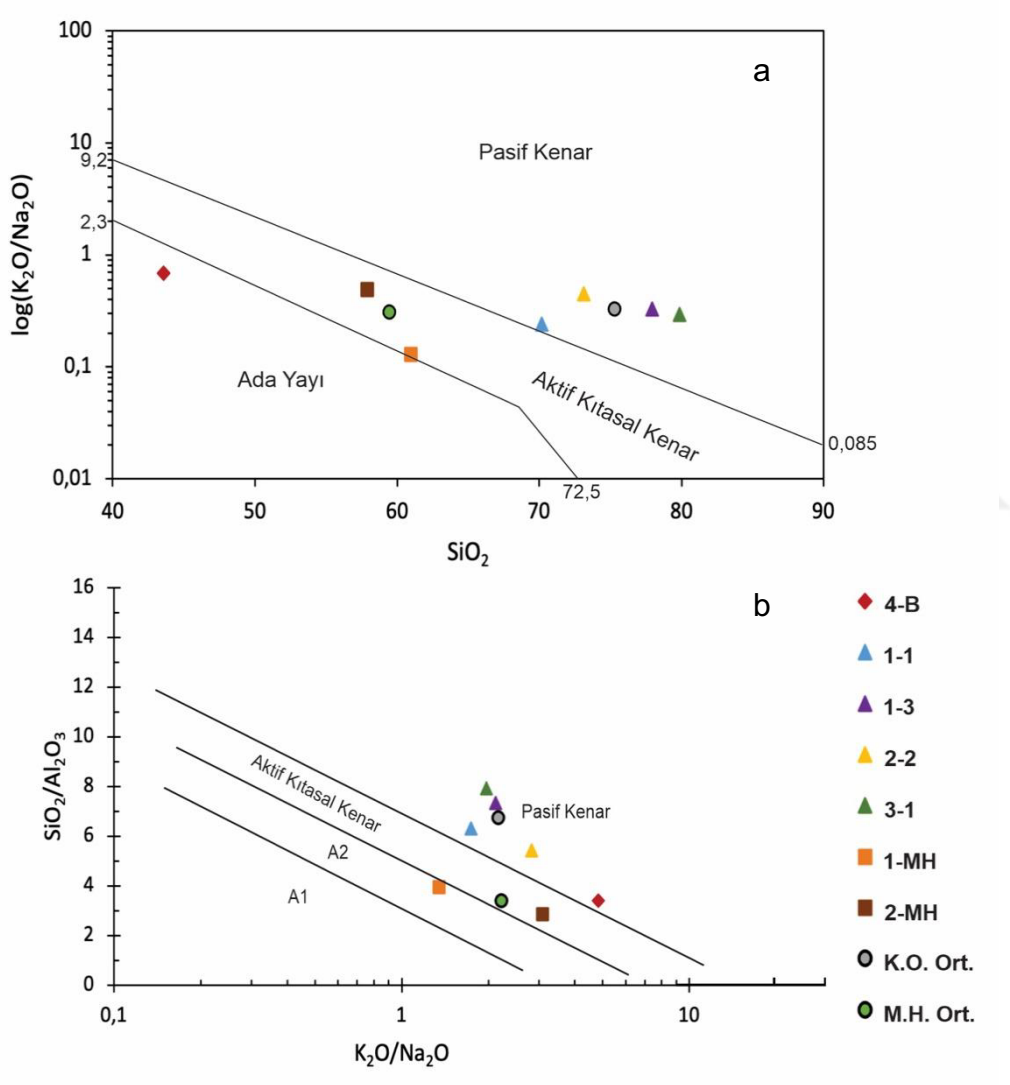
Bölgeye ait bentonit seviyesinden alınmış olan 4-B örneği ile 1 No'lu kum ocağı mil havuzuna ait örnek (1-MH) iki diyagramda da mafik magmatik alanda konumlanmıştır. Benzer olarak, 2 No'lu kum ocağı mil havuzuna ait örnek (2-MH), her iki diyagramda ortaç magmatik kökeni işaret etmektedir (Şekil 4.1-a,b).



Şekil 4.1 : 4-B, 1-1, 1-3, 2-2, 3-1, 1-MH, 2-MH, K.O. Ort.ve M.H. Ort. örnek ve hesaplanmış değer noktalarının, Roser ve Korsch (1988) tarafından sedimenter köken ayrımı için önerilen F1-F2 diyagramlarındaki yerleri.

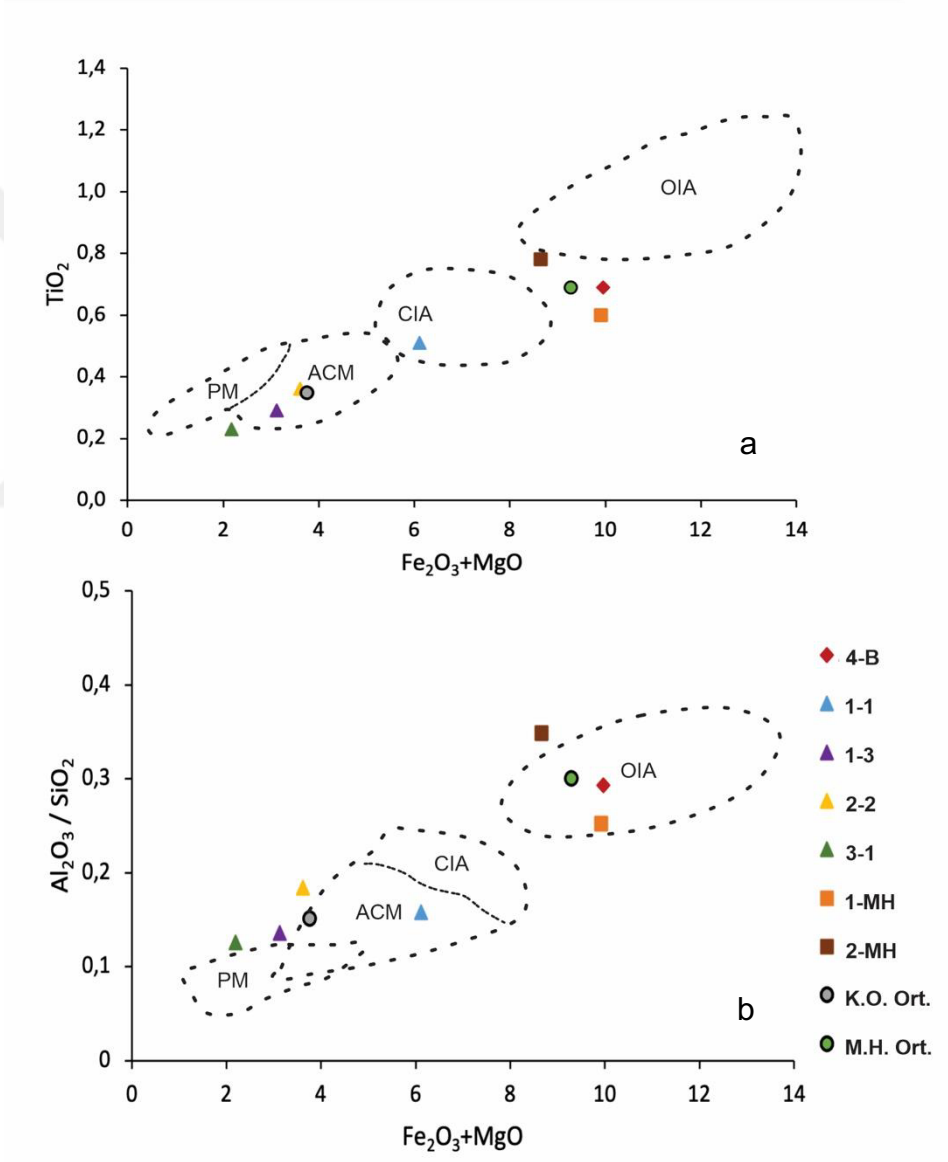
Tektonik ortam belirlenmesi amacıyla SiO_2-log(K_2O/Na_2O) diyagramı (Roser ve Korsch (1986)) kullanıldığında kum ocağı seviyelerine ait örnekler pasif kenar alanında kalmaktadır. 1-1 örneği aktif kıtasal kenar ile pasif kenar alanlarını ayıran çizgiye değmektedir. Mil havuzu örnekleri (1-MH ve 2-MH) aktif kıtasal kenar

alanında konumlanmışlardır. 1-MH örneği ada yayı ve aktif kıtasal kenar alanlarını ayıran çizgiye temas etmektedir. 4-B örneği ise ada yayı alanında gözlemlenmektedir (Şekil 4.2-a). Maynard ve diğ. (1982) tarafından önerilen K_2O/Na_2O-SiO_2/Al_2O_3 diyagramına bakıldığında ise kum ocağı seviyelerine ait 1-1, 1-3, 2-2 ve 3-1 örnekleri ile bentonit örneği (4-B) pasif kenar alanında yer alır. 1-MH örneği A2 (Olgunlaşmamış yay ortamı, felsik-plütonik kırıntılılar) alanında; A2 alanı ile aktif kıtasal kenar alanlarını ayıran çizgiye temas eder şekilde gözlemlenmektedir. 2-MH örneği ise aktif kıtasal kenar alanında gözlemlenmektedir (Şekil 4.2-b).



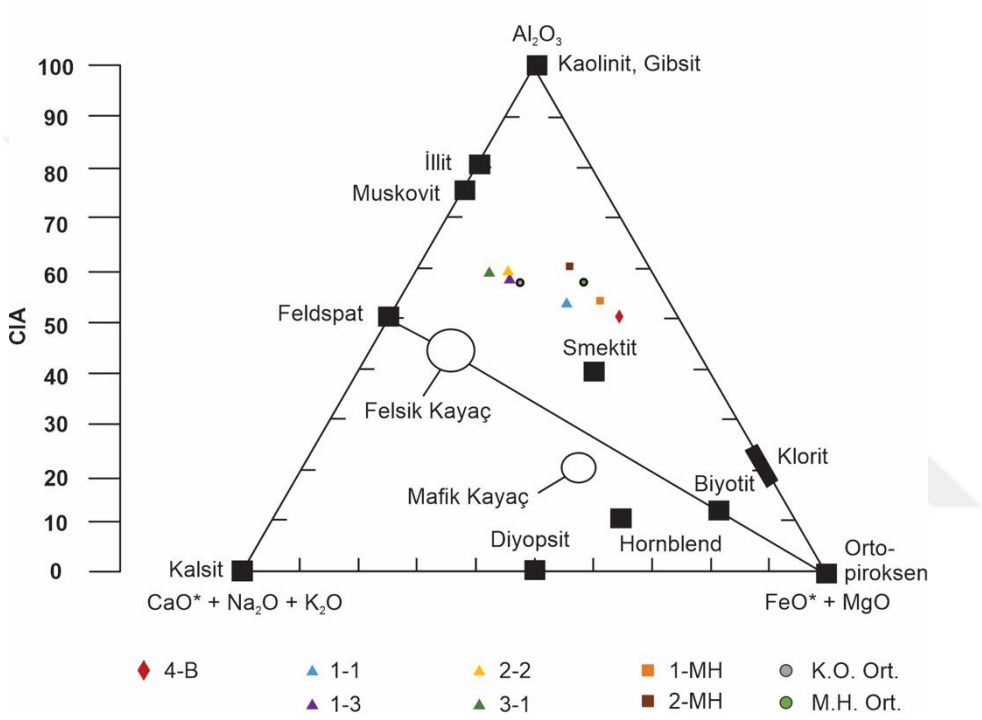
Şekil 4.2 : 4-B,1-1, 1-3, 2-2, 3-1, 1-MH, 2-MH, K.O. Ort.ve M.H. Ort. örnek ve hesaplanmış değer noktalarının a: SiO_2-log(K_2O/Na_2O) (Roser ve Korsch, 1986), b: K_2O/Na_2O-SiO_2/Al_2O_3 (Maynard ve diğ., 1982) diyagramlarındaki yerleri (A1: Yay ortamı, bazaltik ve andezitik kırıntılılar, A2: Olgunlaşmış yay ortamı, felsitik-plütonik kırıntılılar).

Bunlara ek olarak Bhatia (1983) tarafından önerilen TiO_2-Fe_2O_3+MgO diyagramı kullanıldığında (Şekil 4.3-a) 1-1 örneği kıtasal ada yayı (CIA) alanında yer alırken; 1-3 ve 2-2 örnekleri aktif kıta kenarı (ACM) alanında yer almaktadır. 3-1, 1-MH, 2-MH ve 4-B örnekleri herhangi bir alana denk gelmemektedir. Şekil 4.3-b de ise aynı yazar tarafından önerilen Al_2O_3/SiO_2-Fe_2O_3+MgO diyagramı görülmektedir. Bu diyagramda 1-1 örneği aktif kıta kenarı (ACM) alanında yer alırken; 1-3, 2-2, 3-1 ve 2-MH örnekleri herhangi bir alana denk düşmemişlerdir. Bentonit (4-B) ve 1-MH örneği okyanusal ada yayı (OIA) alanında gözlemlenmektedir.



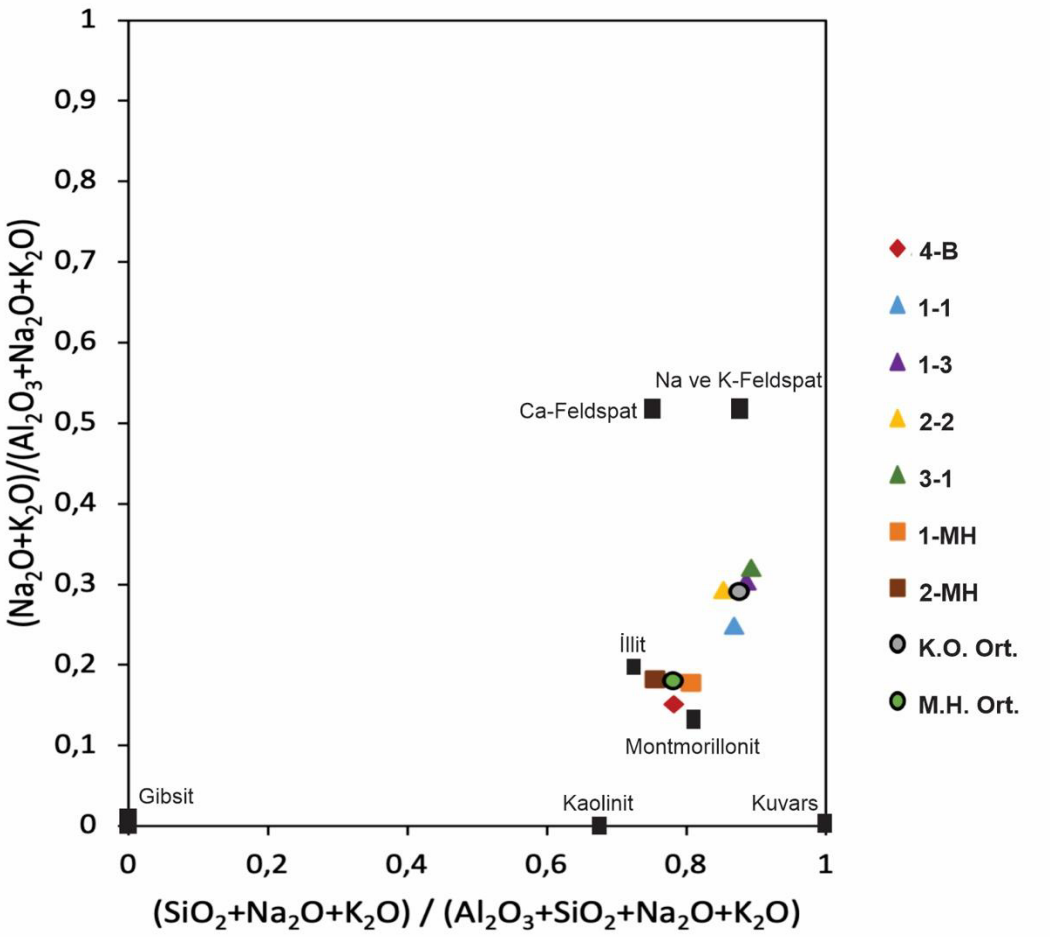
Şekil 4.3 : 4-B,1-1, 1-3, 2-2, 3-1, 1-MH, 2-MH, K.O. Ort.ve M.H. Ort. örnek ve hesaplanmış değer noktalarının a: TiO_2-Fe_2O_3+MgO, b: Al_2O_3/SiO_2-Fe_2O_3+MgO (Bhatia, 1983) diyagramlarındaki yerleri (PM: Pasif kenar, ACM: Aktif kıta kenarı, CIA: Kıtasal ada yayı, OIA: Okyanusal ada yayı).

1-1, 1-3, 2-2 ve 3-1 örnekleri için hesaplanmış olan CIA değerleri: 53,72-61,60 ve PIA değerleri: 55,85-66,10 aralıklarındadır. Nesbitt ve Young (1982) tarafından önerilen Al_2O_3-(CaO*+Na_2O+K_2O)-(FeO*+MgO)üçgen diyagramı (Şekil 4.4) kullanıldığında 1-1, 1-3, 2-2 ve 3-1 örnek noktaları feldspat, felsik kayaç ve kil mineralleri (muskovit-illit-smektit) arasında kalan bölgeye denk düşmektedirler. 1-1 örneği konum olarak smektit alanına daha yakın gözlemlenmektedir. 4-B, 1-MH ve 2-MH örnek noktaları ise kil mineralleri (muskovit-illit-smektit) arasında kalan bölgede, smektite yakın alana denk düşmektedirler.



Şekil 4.4 : 4-B,1-1, 1-3, 2-2, 3-1, 1-MH ve 2-MH, örnek değerleri ile K.O. Ort.ve M.H. Ort. hesaplanmış değer noktalarının, kimyasal alterasyon indeksinin (CIA) kullanıldığı, Nesbitt ve Young (1982, 1984, 1989) tarafından önerilen üçgen diyagramdaki yerleri (CIA: Chemical Index of Alteration, FeO*: Fe_2O_3, CaO*: sadece silikat fazı için CaO moleküler oranı).

Ek olarak Kronberg ve Nesbitt, (1981) tarafından önerilen (NA_2O+K_2O) / ($Al_2O_3+Na_2O+K_2O$) - ($SiO_2+Na_2O+K_2O$)/($Al_2O_3+SiO_2+Na_2O+K_2O$) diyagramı kullanılmıştır. Bu diyagramda kum ocaklarına ait örnek noktaları feldspatlar ile kil mineralleri arasında, kil mineralleri bölgesine daha yakın konumlanmışlardır. Mil havuzu örneklerine bakıldığında ise 1-MH minerali montmorillonit (smektit) alanına, 2-MH ise İllit alanına daha yakın konumlanmıştır. Bentonit seviyesine ait 4-B örneği ise kil mineralleri bölgesinde, montmorillonit (smektit) alanına yakın konumda gözlenmektedir (Şekil 4.5).



Şekil 4.5 : 4-B,1-1, 1-3, 2-2, 3-1, 1-MH, 2-MH, K.O. Ort.ve M.H. Ort. örnek ve hesaplanmış değer noktalarının alterasyon indeksini gösterir diyagram (Kronberg & Nesbitt, 1981).

5. TARTIŞMA VE SONUÇLAR

Doğu Trakya bölgesi (Silivri) Ergene Formasyonu kum-çakıl üretimindeki atık killerin mineralojik ve jeokimyasal incelenmeleri başlıklı bu çalışma; Silivri kuzeyinde, (güneydoğudan kuzeybatıya doğru) Yolçatı, Büyükkılıçlı, Beyciler, Sinekli, Bekirli, Çayırdere, Danamandıra arasında kalan ve F20a3, F20a4, F20d1 ve F20d2 paftalarında yer alan bölgede gerçekleştirilmiştir. Bölgede yer alan ve kum-çakıl üretimi amacıyla işletilmekte olan dört ocak, inceleme noktaları olarak seçilmiştir. Çalışma kapsamında gerçekleştirilecek tüm incemeler için bu kum ocaklarından kum-çakıl, kil ve stok örnekleri ile mil havuzlarından çamur örnekleri alınmıştır. Bu örnekler üzerinde mineraloji-petrografi ve jeokimya kapsamında; binoküler mikroskop, petrografik polarizan mikroskop, XRD, SEM+EDX, XRF (tüm kaya majör oksit (%) ve iz element (ppm)) ve ICP-MS (iz element ve nadir toprak elementleri (ppm)) çalışmaları gerçekleştirilmiştir.

Çalışma alanının stratigrafisine bakıldığında; en altta, başlıca kumtaşı ve kiltaşından oluşan Oligosen-Alt Miyosen yaşlı Danişmen Formasyonu yer alır. Ayırtlanmış altı üyesi bulunan formasyonun (İBB, 2017), yalnızca üç üyesi çalışma alanında gözlemlenmektedir. Bu üyeler alttan-üste sırayla; başlıca kiltaşı, şeyl, kumtaşı içerikli Gürpınar Üyesi, tüf ve tüfitlerden oluşan Çantaköy Tüf Üyesi ve çakıltaşı ara katkılı kaba kumtaşı olarak tanımlanmış Sinekli Üyesidir. Bu üyeler, özellikle Çantaköy ve Sinekli Üyeleri birbirleriyle yanal geçişlidir. Bunlar üzerine, yer yer kil seviyeleri içeren, başlıca çakıl ve kumdan oluşan Miyosen yaşlı İstanbul Formasyonu-Kıraç Üyesi (Kıraç Formasyonu veya Ergene Formasyonu) gelmektedir. Kuvarterner yaşlı çökeller ve alüvyonlar uyumsuzlukla bu birimler üzerinde yer alır.

Kum-çakıl yüzeylemeleri ve binoküler mikroskop altında incelenen kum-çakıl örneklerinde; mineral ve kayaç parçalarından oluşan elemanlar ile nadiren kil-silt boyutlu elemanların topaklaşmış parçaları bulunmaktadır. Çakıl boyutlu elemanlar çoğunlukla kayaç parçalarından, daha az oranda ise mineral parçalarından oluşmaktadır. Kum boyutlu elemanlar ise büyük oranda mineral parçalarıdır. Kum ve çakıl boyutlu elemanların çok ince (kil boyutlu) sıvamalarla kaplı olabildiği

gözlemlenmiştir. Binoküler mikroskop incelemelerinde; tüvanan ve yıkanmış örneklerin karşılaştırılmasıyla, yıkama sonucunda tanelerdeki çamur kaplamanın/sıvamanın çözülerek uzaklaştığı görülmüştür.

Binoküler mikroskop incelemelerinin sonucu olarak; kum örneklerinin genel bileşimi "kuvars (+kuvarsit) + feldspat + mika (mika-kil) mineralleri (muskovit, biyotit, klorit) + amfibol + granat + kuvarsit haricindeki kayaç parçaları (gnays, granit-metagranit, şist, kumtaşı, silttaşı, kireçtaşı, çört)" şeklindedir. Bazı feldspat minerali tanelerinin basit darbe ile dağılma gösterdiği, kil görünümünde ve renginde oldukları gözlemlenmiştir. Bu gözlem; feldspattan kile (smektite) psödomorfik dönüşüm olarak yorumlanmıştır. Feldspat-kil (smektit) psödomorfik dönüşümünün (en azından dönüşüm türlerinden birinin), çözünme-yerinde çökelme (yerini alma) şeklinde olabileceği anlaşılmıştır. Bu tür smektit oluşumu Meunier (2005) tarafından açıklanan psödomorfik feldspat-smektit dönüşümünün benzeridir. Dolayısıyla, kum-çakıl birimlerindeki smektit oluşumunun; feldspatların ve ortamdaki diğer bileşenlerin dış yüzeyleri (taneler üzerinde) ile boşlukların içinde çözeltiden doğrudan çökelme şeklinde olabileceği gibi feldspat ve mika tanelerinden psödomorfik dönüşüm şeklinde de olabileceğinin verisi binoküler mikroskop incelemelerinde görülmüştür.

Kum örneklerinin binoküler mikroskopta belirlenen mineral oranları dikkate alındığında; kuvars (+kuvarsit) oranı ile feldspat oranı arasında ters ilişki bulunduğu, feldspat miktarındaki değişimin daha etkin olduğu (% <5-35 arasında) anlaşılmıştır. Kuvars (+kuvarsit) içeriğinin % 50-85 arasında, kuvarsit haricindeki diğer kayaç parçalarının içeriğinin % 2-20 arasında ve diğer minerallerinin önemli bir değişim göstermeyip, genelde çok düşük oranda oldukları görülmektedir (diğer mineraller toplamı % <10). Petrografik-polarizan mikroskop inceleme sonuçları kumların içinde iki tür feldspat (K-feldspat ve plajioklaz) bulunduğunu göstermiştir. K-feldspatlarda şiddetli, orta şiddetli ayrışma (serizitleşme) bulunmaktadır, plajioklaslarda ise bazı taneler korunmuşken, bazı tanelerde hafif ayrışma vardır.

Kum örneklerinin tüm kaya XRD analiz sonuçları ile elde edilen genel mineralojik bileşimi ise "kuvars (% 30-65) + feldspat (% 10-55) + smektit (% 10-25) + illit-mika (% <5-10) + kalsit (% <5) + zeolit (% <5)" şeklindedir. Tüvanan (ham) kum örneklerinin binoküler ve petrografik-polarizan mikroskoplarla belirlenememiş olan kil bileşenleri XRD ile ortaya konabilmiştir. Mikroskop altında gözlemlenebilen, eser orandaki bazı mineraller ise XRD analizinde (dedüksiyon limitleri altındaki

miktarlarda oldukları için) saptanamamıştır. Tüm analiz sonuçları özetlenecek olursa (binoküler ve petrografik-polarizan mikroskop ile XRD), çalışma alanının kumları için elde edilen bileşim Çizelge 5.1' de görülmektedir. Kuvars ile feldspat oranları arasında saptanan ters ilişki, feldspat ile smektit oranları arasında da vardır. Feldspat oranının azalmasıyla smektit oranında artış meydana gelmektedir. XRD sonucunda elde edilen veriler; binoküler ve petrografik-polarizan mikroskop çalışmalarıyla da anlaşılan, bölgedeki smektit oluşumunun başlıca feldspat kaynaklı olduğunu göstermektedir.

Çizelge 5.1 : Çalışma alanı kum örneklerinin binoküler ve petrografik-polarizan mikroskop incelemeleri ile XRD analizleri sonucu belirlenen bileşenleri.

Bileşen	Oran ve Açıklama
Kuvars mineral ve kuvarsit kayaç parçaları	% 50-85 (Mikroskop verileri) % 30-65 (XRD verisi)
Feldspat (K-feldspat, plajioklaz)	% <5-35 (Mikroskop verileri) % 10-55 (XRD verisi)
Mika (mika-kil) mineralleri (muskovit, biotit, kloritleşmiş muskovit ve biotit, klorit)	Genelde % <10 (Mikroskop ve XRD verileri)
Kil mineralleri (smektit, illit)	Smektit ana kil mineralidir (% 10-20). İllit, klorit-kaolinit eser oranlardadır (%<5) (XRD verileri)
Diğer mineraller (kalsit, zeolit, amfibol, granat)	Toplam olarak % 10'dan az oldukları kabul edilebilir (sadece bir örnekte % 15'tir). (Mikroskop ve XRD verileri)
Kuvarsit harici diğer kayaç parçaları (gnays, granit-metagranit, şist, kumtaşı, silttaşı, kireçtaşı, çört)	% 20'den az oldukları kabul edilebilir. Çakıl oranı ile artış gösterir. (Mikroskop verileri)

XRD ile tahmin edilen mineral oranlarının mikroskop ile elde edilen sonuçlara göre daha güvenilir olduğu savunulabilir. Binoküler mikroskopta yapılan tanımlamalarda hata olma ihtimali yüksektir. Benzer durum petrografik-polarizan mikroskop tanımlamaları için de söz konusu olup; ayrık tanelerin epoksi ile tutturulması sonucu hazırlanmış kesitler nedeniyle, temsil karakteri tartışmalıdır. Bu nedenle, çalışma alanı kum örneklerinin genel bileşimi için yapılan tüm analizlerin sonuçlarından faydalanmanın doğru olacağı; buna karşın kuvars grubu, feldspat grubu ve kil mineral grubu bileşenlerin oranları için XRD sonuçlarının kabul edilmesinin uygun olduğu söylenebilir.

Çalışma alanının ocaklarında; ocak aynalarındaki seviyeler dikkate alındığında ise alttan üste doğru kuvars oranında azalmaya karşı feldspat oranında artış bulunmaktadır. Bunun durum dönemsel olarak ana kayaç grubundan gelen

elemanların farklılaşması ve muhtemelen ana kayaç türünün farklılıklarından kaynaklanmaktadır. Olası bir diğer sebep ise başlangıçta alt seviyelerde feldspat oranı düşük olmasa bile, süreç içerisinde feldspat-smektit dönüşümü nedeniyle feldspatın göreli bir azalması olabilir. Bölgede yanal değişimlerin sıklığı sebebiyle; mineral türlerinde olmasa da mineral oranlarında değişimler olması her zaman beklenebilir. Bu nedenle, yanal değişimlerin sıklıkla kontrol edilmediği durumda kesin bir sonuç açıklamak doğru olmayacaktır.

Mil havuzu çamur örneklerinin XRD ile belirlenen genel mineralojik bileşimi "smektit + illit-mika + klorit-kaolinit + kuvars + feldspat + zeolit (klinoptilolit)" birliğidir. Bölgedeki bentonitik kil seviyesinin XRD ile belirlenen mineralojik bileşimi ise "smektit + illit-mika + klorit-kaolinit + kuvars + feldspat + kalsit" şeklindedir. Çizelge 5.2' de bölgedeki kumun, mil havuzu çamurunun ve bentonitin XRD ile belirlenen modal-mineralojik bileşimleri görülmektedir. Çizelgedeki sonuçlar hem formasyonun litolojik farklılıklarını hem de mil havuzunda biriken malzemenin doğal litolojik seviyelerden olan farkını göstermektedir.

Çizelge 5.2 : Çalışma alanı kum biriminin, mil havuzu malzemesinin ve bentonit seviyesinin XRD analizleri sonucu belirlenen bileşenleri ve oranları (%, ağırlık).

Litoloji / Malzeme	Smektit	İllit	Klorit-Kaolinit	Mika	Kuvars	Feldspat	Zeolit	Kalsit
Kum	10-15	<5	<5	<5	50-55	25-30	<5	<5
Mil havuzu malzemesi (çamuru)	60-65	5-10	5-10	5-10	5-10	5-10	<5	-
Bentonit	70-75	<5	5-10	<5	<5	<5	-	10-15

Hem kum örneklerinin hem de kil ve mil havuzu örneklerinin XRD paternlerinden bölgedeki ana kil mineralinin smektit olduğu; smektit d_{001} mesafe değerlerine göre de smektitin dioktahedral (d_{060} mesafe değerleri: 1,49 Å) Ca-Smektit olduğu belirlenmiştir. Smektitin muhtemelen düşük oranda I/S (illit/smektit) türü karışık katman içeriyor olabileceği belirlenmiştir. Kil fraksiyonu sonuçları da ana kil mineralinin Ca-smektit olduğunu, buna karşın az ve eser oranlarda illit, klorit, kaolinit bulundurduğunu göstermiştir. SEM inceleme sonuçlarına göre; smektitlerin mısır gevreği veya gül-rozet benzeri morfolojilerde oldukları, feldspat tanelerinin kenarlarında, dilinim ve ikiz düzlemleri boyunca ve de pertitik zonlarında oluştukları görülmüştür. Dolayısıyla, smektitlerin feldspatlardan dönüşerek oluştuğunun bir verisi de SEM incelemeleri ile ortaya konmuş olmaktadır. SEM-EDX analiz sonucu

smektitlerin yaklaşık değerler olarak Si (%20), Al (%7), Fe (%5), Mg (%1,5), Ca (%1,5), K (%0,5) kimyasında olduğu ve yüksek Fe içerikli smektitler olabileceği görülmüştür.

Jeokimya çalışması sonuçlarına bakıldığında, sonuçların XRD çalışmalarından elde edilen mineralojik sonuçlar ile uyumlu olduğu görülmüştür. Bölge kumları ile kil ve mil havuzu örneklerinin kimyasal analiz sonuçlarına (majör oksit, iz element ve nadir toprak element değerleri) bakıldığında mineralojik farklılıklar görülmektedir. Bu farklılıklar; özellikle kuvars/feldspat oran değişimleri, smektit varlığı ve artışı ile ilişkili bazı veriler vermektedir. Örneklerin iz element ve toplam iz element değerlerine bakıldığında; bentonit seviyesi örneği en yüksek değerlere sahiptir. Mil havuzu örnekleri, bentonit örneğine yakın ancak daha düşük değerlerdedir. Kum örnekleri ise en düşük değerlere sahiptir. Benzer ilişki nadir toprak elementleri için de söz konusudur ancak iz element değerlerinde görülen ilişkiden farklı olarak; en yüksek değerler mil havuzu örneklerinde görülmektedir. Bentonit örneği, mil havuzu örneklerinden düşük; kum örneklerinden ise yüksek değerdedir. Bu değerlendirme sadece kum örnekleri için yapıldığında; yüksek smektitli kumların daha yüksek iz ve nadir toprak element değerleri verdiği görülür. Tüm bu sonuçlar iz ve nadir toprak elementlerdeki artışın, smektit varlığı ile doğru orantılı bir ilişki içerisinde olduğunu göstermektedir. Bu sonuç büyük ölçüde smektitlerin tabaka yapısı ile ilişkilidir. Tabakalar arası katmana sahip olan smektitlerin, bu katmanlarında bulunan değişebilir katyonların, zaman içerisinde bazı iz ve nadir toprak elementlerle yer değişimleri fazlasıyla gerçekleşmiştir. Çalışma alanında bulunan smektitlerin, önemli oranda kökensel farklılıklarının olmadığı söylenebilir. Çalışmaya konu olan kum-çakıl litolojilerinde, taneler arasındaki smektitlerin ortamda bulunan feldspat kökenli oldukları görülmüştür. Buna karşın, ortama ilaveten gelmiş olabilecek, volkanik camdan smektit dönüşümü görülmemiştir. Volkanik katkılı seviyeler, var olan doğal bentonit seviyeleri olabilir ama bunlarda da birincil volkanik katkı görülememiştir. Dolayısıyla, smektitlere ait iz ve nadir toprak element değerlerindeki yükseklik; jeolojik süreçte ortama gelen ve/veya ortamda bulunan, iz ve nadir toprak elementlerin zamanla smektit yapısında yoğunlaşmasından kaynaklanmaktadır.

Doğal bentonitik kil seviyesinin majör oksit kimyasal değerlerinde; CaO, Fe_2O_3 ile yüksek LOI değerlerinin bir kısmı ve MgO değerinin neredeyse tamamı, smektit tabakalar arası katmanı ile ilişkilidir. Bentonit örneğinin yüksek smektit içerdiği göz

önüne alınırsa; smektitin başlıca Ca, Mg, Fe katyonlu olduğu açıklanabilir. Mg ve Ca muhtemelen ortamdaki sulu çözeltilerden, Fe ise ortamdaki demir oksit/hidroksitli fazlardan kazanılmıştır.

İstanbul Formasyonu-Kıraç Üyesi (Ergene Formasyonu) kumlarında; feldspatların ayrıştığı-killeştiği, ayrıca kil topaklarının olduğu, mostralarda ve el örneklerinde makro ölçekte görülmüştür. Bu makro özelliklere ek olarak mikroskop değerlendirmeleri (binoküler, petrografik-polarizan ve SEM) ile XRD sonuçları çalışma alanındaki kil oluşumunun bentonitik kil olduğu ve başlıca feldspat kaynaklı olduğunu göstermiştir. Bu sonucu doğrular nitelikteki son veriyi, kimyasal analiz sonuçları oluşturur. Kum örnekleri birbirleri arasında veya kum, mil ve kil örnekleri birbirleriyle kıyaslandığında Na_2O+K_2O miktarlarındaki farklılık anlaşılmaktadır. Feldspatın smektite dönüşmesiyle ortaya çıkan feldspat kaybı, aynı zamanda kimyasal bir sonuç olarak Na_2O+K_2O kaybına sebep olmaktadır. Çalışma alanı örnekleri ve bazı örnek gruplarının ortalamaları bazında; alkali oksit, toprak alkali oksit, smektit ve feldspat oranlarının verildiği Çizelge 5.3 yorumsal bir tablo olarak değerlendirilebilir. Na_2O+K_2O değeri bentonitte (4-B) %2,27'dir. Aynı değer mil havuzu örnekleri ortalaması için %3,92, kum örnekleri ortalaması içinse %4,66'dır. Kum örnekleri kendi içinde değerlendirildiğinde; $Na_2O+ K_2O$ değeri, bulunduğu ocakta alt seviyeye ait olan 1-1 kodlu örnek için %3,67'dir. Aynı değer, bulundukları ocaklarda en üst seviyelere ait 1-3 ve 2-2 kodlu örnekler için sırasıyla; %4,52 ve %5,59' dur. Kum örneklerinin kendi aralarındaki değerlendirmesi sonucunda da SiO_2 oranında azalmaya karşın; feldspat-smektit dönüşümüyle, Al_2O_3, Fe_2O_3, MgO+CaO oranlarında artış ve $Na_2O+ K_2O$ oranında azalma olduğu görülmektedir (Çizelge 5.3).

Çizelge 5.3 : Çalışma alanı kum, mil ve kil örneklerinin ve bazı ortalama değerlerinin kimyasal bazı parametreleri.

	1-1	**1-3**	**1No'lu-Ort.**	**2-2**	**3-1**	**K.O.-Ort.**	**1-MH**	**2-MH**	**M.H.-Ort.**	**4-B**
SiO_2	70,20	77,94	74,07	73,14	79,86	75,29	60,96	57,90	59,43	43,59
Al_2O_3	11,12	10,63	10,88	13,49	10,07	11,33	15,41	20,21	17,81	12,78
Fe_2O_3	4,57	2,34	3,46	2,81	1,55	2,82	7,50	6,91	7,21	7,65
MgO+CaO	5,74	2,14	3,94	2,25	2,18	3,08	5,40	3,89	4,65	17,72

Çizelge 5.3 (devam) : Çalışma alanı kum, mil ve kil örneklerinin ve bazı ortalama değerlerinin kimyasal bazı parametreleri.

	1-1	1-3	1No'lu-Ort.	2-2	3-1	K.O.-Ort.	1-MH	2-MH	M.H.-Ort.	4-B
Na_2O+ K_2O	3,67	4,52	4,15	5,59	4,75	4.66	3,33	4,50	3,92	2,27
CIA	61,60	56,49	59,05	59,26	53,72	57,77	69,57	73,47	71,52	73,47
PIA	66,10	60,16	63,13	65,25	55,85	61,84	74,07	82,04	78,05	82,04

Na_2O+ K_2O oranındaki değişimlerin ana nedeni daha çok K_2O'daki değişimle ilişkilidir. Na_2O için önemli farklılıklar yoktur. Bu nedenle, feldspatın smektite dönüşümü plajioklas-smektit dönüşümünden ziyade daha çok K-feldspat-smektit dönüşümünü işaret etmektedir. Ortoklaz ve mikroklinden smektite dönüşüm, muhtemelen albitten olan dönüşümden daha fazla olmuş olmalıdır. Diğer taraftan, Ergene Formasyonu'nun kum-çakıl birimlerinde az oranda bulunan mikaların da kenarlarından itibaren smektite dönüşüm gösterdikleri SEM çalışmalarında anlaşılmıştır. Ergene Formasyonu'nun kil hacminde, mika-smektit dönüşümü kaynaklı smektitler de bir miktar bulunmaktadır.

Çalışma alanının kum örnekleri, köken diyagramlarında (Roser ve Korsch, 1988), yoğunlukla kuvarsça zengin sedimanter köken ve felsik magmatik kökene işaret etmiştir. Örnekler tektonik ortam diyagramlarında farklılık göstermiştir. Bhatia (1983) tarafından önerilen iki diyagramdan biri olan TiO_2-Fe_2O_3+MgO diyagramında kıtasal ada yayı (CIA) ve aktif kıta kenarı (ACM) alanlarında iken Al_2O_3/SiO2-Fe_2O_3+MgO diyagramında ise ACM alanında veya alan dışlarındadır. Bu karmaşıklığa karşın, Maynard ve diğ. (1982) ile Roser ve Korsch (1986) diyagramlarında daha homojen bir sonuç gözlenir ve örnekler genelde pasif kenar alanındadır (PM). Çalışma alanı örneklerinin ait olduğu, İstanbul Formasyonu-Kıraç Üyesinin (Ergene Formasyonu, Ergene Grubu, Çukurçeşme Formasyonu) yaşı Miyosendir. Birimi oluşturan elemanların kökeni, büyük oranda Istranca Masifi (IM)'dir. Kuzeybatı Trakya'da, Trakya Tersiyer Havzası'nın (TTH) Eosen çökelleri için (Edirne-Lalapaşa ve Kırklareli-Pınarhisar Bölgelerinde, İslambeyli Formasyonu) bu çalışmada verilen tektonik ortam diyagramlarının aynıları, aktif kenar işaret etmiştir. Kuzey Trakya'da yer alan Eosen yaşlı birimlerin kökeni de IM'dir (Ekinci Şans ve diğ, 2015; 2020). Bu verinin ilginç yanı; verilen literatürdeki Eosen-İslambeyli Formasyonu örneklerinin büyük çoğunluğu ACM alanında iken formasyonun en üst seviyesine ait örneklerin, bu çalışmadaki verilere benzer olarak, PM alanında olmasıdır.

CIA ve PIA değerleri 80-100 arasında ise yüksek derecede, 60-80 arasında ise orta derecede ve 60 ve daha az değerler ise düşük derece alterasyona işaret eder (Fedo ve diğ., 1995). Üst kabuğun ortalama CIA değeri 47, taze granit ve granodiyoritler için 45-55 arasında verilmiştir (Nesbitt ve Young, 1982; McLennan ve diğ., 1993; Fedo ve diğ., 1995). CIA değeri, smektit ve illit grup mineralleri için 75-80 ve kaolinit ve klorit grubu mineraller için ise 100 olarak belirlenmiştir (Nesbitt ve Wilson, 1992). Çalışma alanındaki kum-çakıl ocaklarının aynalarında görülen kil seviyeleri (mercekleri), çoğunlukla alt seviyelerdedir (genelde yüzeyden 20m aşağıda). Genel olarak alt seviye kumları da kilce daha zengindir. CIA ve PIA değerlerinin de smektitle ilişkili olması sebebiyle, ocakların alt seviye kumlarında alterasyon indeksleri göreli yüksektir (Çizelge 5.3).

Çalışma alanının bulunduğu bölgede (Doğu Trakya) Miyosen yaşlı, İstanbul Formasyonu-Kıraç Üyesi (veya Ergene Formasyonu) çökelleri genellikle kuzeydeki Istranca Masifi ile muhtemelen güneydeki yükseltiler (bugün için Marmara Denizi içinde ve onun da güneyinde bulunan alanlar) kaynaklıdır (Siyako, 2006). Bu çökeller kuvars, feldspat ve mika mineralleri ile metamorfik, magmatik ve sedimanter kayaç parçalarınca zengindiler. Başlangıçta taze olan bu elemanların ayrışması, büyük oranda yüzeysel alterasyon (*weathering alteration*) şeklinde gelişmiş olmalıdır. İklim, sıcaklık, nem faktörlerinin etkili olduğu ve özellikle yağışlarla ilişkili yukarıdan aşağı süzülmeler, formasyonun birincil feldspatlarının çözünmesini kolaylaştırmış olabilir. Çözünen feldspat belirli bir jel haline gelmiş ve bu jelden smektit oluşmuştur. pH bu süreçte etkili diğer bir faktör olmalıdır. Feldspatın killeşmesiyle oluşan smektit, bulunduğu formasyon (kum-çakıl ağırlıklı çökeller) içerisinde, taneler arasında ve tane çeperlerinde kısmen kalmış olmalıdır. Bugün için; formasyonun kum-çakıl malzemesinin üretiminde yıkama-eleme sonrası, mil havuzlarına taşınan ince malzemenin kökeni budur. Ayrıca, oluşan smektit bazen daha hareketli olup, yerçekiminin de etkisiyle, bazı alt seviyelerde yoğunlaşmıştır. Böylece, bugün için formasyonun içerisinde görülen bentonitik kil seviyeleri meydana gelmiştir.

Çalışma alanında, başlıca kuvars ve feldspat bileşimli, kumca zengin formasyonun içerisindeki bentonitik kil oluşumu başlıca feldspatlardan dönüşümler sonucunda meydana gelmiştir. Bu dönüşümler çoğunlukla alkali feldspatlarda (ortoklaz, mikroklin) olmuştur. Ayrıca smektite dönüşümler, az da olsa hem plajioklas feldspat hem de mika ayrışmalarından olmuş olmalıdır. Ekinci Şans ve diğ. (2015, 2020)

tarafından hem Edirne hem de Kırklareli bölgesinde feldspat ve mika dönüşümlü smektitlerin varlığı bildirilmiştir. O bölgelerdeki Eosen yaşlı kumtaşı-kiltaşı oluşumlarının ana kaynağı Istranca Masifi metamorfikleridir. Bu çalışmadaki Miyosen yaşlı Ergene Formasyonu veya İstanbul Formasyonu'nun Kıraç Üyesi olarak bilinen kum-kil oluşumlarının da ana kaynağı Istranca Masifi metamorfik birimleridir. Smektit (baydellit) için genel formül $(Ca, Mg)_{0.33} + (Al_2 Si_{3.67}) (Al_{0.33}) O_{10} OH_2$ olarak verilmiştir (Schulze, 2005). Montmorillonitte ise Ca ve Mg'un yanısıra diğer katyonlar da (Fe, Na, K) bulunabilirler. Buna göre, alkali feldspat – smektit dönüşümünde ortamda belirgin oranda Ca, Mg ve Fe'in bulunması gerekmektedir. Feldspatın K' unun ise ortamdan uzaklaşması gerekecektir. Smektit oluşumundaki Ca ve Mg gereği, muhtemelen sulu ortamdaki çözeltiden gelmiş olmalıdır. Denizel ortamda ılık deniz varlığında Mg' un deniz suyu veya yeraltı suyundan kazanılabileceği açıklanmıştır (Zielinski, 1982; Christidis ve Dunham, 1997).

İstanbul Formasyonu-Kıraç Üyesi (Ergene Formasyonu) Trakya genelinde oldukça geniş yayılım gösterir ve çalışmaya konu olan kum ocakları da bu formasyon içerisinde yer almaktadır. İstanbul ve Tekirdağ İl sınırları içerisindeki diğer kum-çakıl ocakları da bu birim içinde yer alır. Miyosen yaşlı Kıraç Üyesi, Oligosen-Miyosen yaşlı Danişmen Formasyonunun üzerinde olup; çakıllı seviyeleri, kumlu killi seviyelerine kıyasla aşınmaya karşı daha dayanımlı olduğundan, birimin gözlemlendiği alanlarda dik yamaçlar ve tepeler olarak kalmıştır. İstanbul Formasyonu-Kıraç Üyesi için İBB (2017) tarafından 30-40 m kalınlık verilmiştir. Ocak aynalarına bakıldığında da 30 m ve üzeri kalınlıkta gözlemlenmiştir. Tüm formasyonu potansiyel kum-çakıl rezervi olarak kabul etmek gerçekçi bir yaklaşım olmayacaktır. Kalınlık 30 m alındığında, her 1 km^2 alan için 30 milyon m^3 hacim söz konusudur. Yoğunluk 2,5 g/cm^3 kabul edildiğinde de her 1 km^2 alan için 75 milyon ton potansiyel-jeolojik kum-çakıl rezervi bulunmaktadır. Birim için en düşük mil (kil-silt) içeriği oranı olan %10 değeriyle basit bir hesap yapıldığında; kum-çakıl üretiminin bir parçası olan yıkama-eleme süreci sonucunda, 1 $km^{2'}$ lik alan için (30 m kalınlık, 2,5 g/cm^3 yoğunluk ve mil içeriği oranı %10) 7,5 milyon ton mil atıl duruma düşmüş olacaktır.

Hesaplanmış olan potansiyel-jeolojik rezervlerin hayata geçirilmesi gerçekçi bulunmayabilir. Buna karşın, bölgedeki kum ocaklarına ait mil havuzlarında görünür sonuçlar vardır. Güncel durumda bu mil havuzları çamurla doludur. Ocaklarda tüvanan kum-çakılın yaklaşık %10' luk kısmı (ağırlıkça) mil havuzlarına aktarılan ve

atıl duruma düşen, halihazırda belli bir kullanımı olmayan kil-silt boyutlu çamurdur. Mil havuzlarının derinliklerinin, ocaklar bazında kısmen değişik olsa da ortalama 5 m kalınlıkta oldukları söylenebilir. Bu çalışmanın kapsamında bölgeden dört ocak çalışılmıştır. Her birinin mil havuzu bulunmaktadır. Bazı ocaklarda iki adet mil havuzu bulunmaktadır. Mil havuzları yaklaşık kare veya dikdörtgen kabul edilebilecek şekillerdeyken bazıları daha şekilsizdir (Şekil 5.1). Google-Earth görüntülerinden dört ocaktaki mil havuzu boyutlarının (m) (150 x 50), (110x70), (100x50), (60x50), (15x40) olduğu saptanmıştır. Buradan; 7500 + 7700 + 5000 + 3000 + 600 = 23.800 m^2 alanda mil bulunmaktadır. Bu toplam değer 20.000 m^2 kabul edilirse, havuzlardaki milin her 1 m kalınlığı için 50 bin ton rezerv ortaya çıkmaktadır. Mil havuzlarında güncel olarak (derinlik 4 m alınırsa), 200 bin ton bentonitik malzeme bulunmaktadır ve bu malzeme görünür rezerv (stok) durumundadır. Ocakların faaliyet gösterdiği her gün, çalışma alanı mil havuzları için hesaplanmış olan bu rezervin, ilave üretim masrafı olmaksızın büyümekte olduğu söylenebilir.



Şekil 5.1 : Çalışma alanından bir kum-çakıl ocağının Google-Earth görünümü. Yeşil alan üzerinde suyun altında çamurun (mil) bulunduğu mil havuzudur. Mil havuzunun uzun boyu (sarı çizgi) 166 m' dir.

Bentonitler deterjan, ilaç, kozmetik, yağ, çimento, kağıt, lastik, döküm, boya, petrol, gıda, hayvan yemi, gübre, seramik, yangın söndürme sanayilerinde, inşaat mühendisliği uygulamalarında ve yapı sanayinde, suların arıtılması, atıkların yok edilmesi, nem alıcı kil, nano malzeme, kedi kumu üretimi ve diğer muhtelif alanlarda dolgu, katkı ve katalizör maddesi olarak kullanılmaktadırlar (Grim ve Güven, 1978; Odam, 1984; Akbulut, 1996; Harvey ve Murray, 1997; Bergaya ve diğ., 2006; Murray, 2007). Çalışma alanındaki ocakların mil havuzu malzemesi ile gerçekleştirilmiş bazı

çalışmalara bakıldığında; bu malzemenin kedi kumu üretimine uygun olabileceği rapor edilmiştir (Bekar ve diğ., 2021; Gökçe ve diğ., 2022). Eisenhour ve Brown (2009) tarafından gerçekleştirilmiş olan çalışmada yer alan, 2006 yılı ABD üretim istatistikleri, bentonit ürünleri kullanım alanı sıralamasına bakıldığında; kedi kumunun %25'lik değer ile ikinci sırada yer aldığı görülmektedir.

Çorlu (Tekirdağ) Bölgesinde, Esenli ve diğ. (2010; 2019) tarafından yapılan çalışmalarda, Ergene Formasyonu (İstanbul Formasyonu-Kıraç Üyesi) içindeki kum ocaklarının mil havuzları kil bileşenleri açısından incelenmiş ve bu çalışmadakine benzer sonuçlar rapor edilmiştir. Bu çalışmalarda Ergene Formasyonu'nun Çorlu Bölgesindeki yayılımı içerisinde bulunan kum-çakıl ocaklarında, smektit içeriği yüksek (>%50) ve bazı bentonit standartlarını sağlayabilecek özellikte, önemli bir atık malzeme stoku bulunduğu bildirilmiştir. Bu nedenle, Ergene Formasyonu'nun kum-çakıl birimleri için geniş bir bölgede (Çorlu-Silivri arası) homojen kil bileşeni olduğu söylenebilir.

Gerçekleştirilmiş olan bu tez çalışmasının amacına yönelik önemli sonuç; kum-çakıl birimlerinin en az %10 oranında mil boyutlu malzeme içerdiği ve bu malzemenin kum-çakıl üretimi süreçleri sonucunda atıl duruma düştüğüdür. Gerçekleştirilmiş olan çalışmanın gerçek rezerv değeri saptama amacı olmamasına karşın; bölgedeki, herhangi bir kum-çakıl ocağında, 1 milyon ton kum-çakıl agregası üretimi sonucunda 100 bin ton atıl mil rezervi ortaya çıkmaktadır. Bu rezerv özel bir ekonomik harcama gerektirmeden ortaya çıkmış olan yan ürün olarak düşünülmelidir. Bu tez çalışması ile atıl durumdaki potansiyel bir hammaddenin, değerlendirilmesine yönelik jeolojik-mineralojik bir değerlendirme sunulmuştur.

KAYNAKLAR

Akbulut, A. (1996). *Bentonit.* Ankara: MTA.

Arıç, C. (1955). *Haliç-Küçükçekmece bölgesinin jeolojisi, Doktora tezi.* İstanbul: İTÜ Maden Fakültesi Yayını.

Aydın, Y. (1988). Yıldız Dağları Masifinin Jeolojisi. *Selçuk Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*(2), 61-74.

Batı, Z., Alişan, C., Ediger, V., Teymur, S., Akça, N., Sancay, H., Ertuğ, K., Kirici, S., Erenler, M., & Aköz, Ö. (2002). Kuzey Trakya Havzası'nın Palinomorf, Foraminifer ve Nannoplankton Biyostratigrafisi, Türkiye Stratigrafi Komitesi Çalıştayı (Trakya Bölgesi'nin Litostratigrafi Adlamaları) Özleri., (s. 14).

Baykal, F., & O., K. (1963). İstanbul bölgesinde bulunan Karboniferin genel stratigrafisi. *Maden Tetkik Arama Enst. Derg.*(61), 1-9.

Beer, H., & Wright, J. (1960). *Stratigraphy of the Ganosdağ, Korudağ and Keşan Hills, District I.* TPAO Arama Grubu Arşivi.

Bekar, N., Yılmaz, N., & Sezer, S. (2021). *Silivri (İstanbul) bölgesinde Ergene Formasyonu'nun kil oluşumunun değerlendirilmesine yönelik bir çalışma.* Lisans Bitirme Tasarım Projesi, İTÜ , Jeoloji Mühendisliği Bölümü.

Bergaya, F., Theng, B., & Lagaly, G. (2006). *Handbook of clay science.* Amsterdam: Elsevier.

Bhatia, M. (1983). *Plate tectonics and geochemical composition of sandstones.* (Cilt 91). Journal of Geology.

BİMTAŞ. (2007). *1/100 000 Ölçekli Çevre Düzeni Planı; Alt Grup Çalışması; Doğal Kaynak Araştırma Raporu.*

Boer, N. (1954). *eport on a geologicalreconnaissance in Turkish Thrace, September, December G.A. 25373.*

Christidis, G., & Dunham, A. (1997). Compositional varitiations in smectites. Part I: Alteration of intermediate volcanic rocks. A case study from Milos Island, Greece. (28), 255-273.

Çağlayan, M., Şengün, M., & Yurtsever, A. (1988). Main fault systems shaping the Istranca Massif, Turkey. *Middle East Techinical University, Journal of Pure Applied Science, Serie A Geosciences*(21), 145-154.

Çağlayan, M., & Yurtsever, A. (1998). *Burgaz-A3, Edirne-B2 ve B3; Burgaz-A4 ve Kırklareli-B4; Kırklareli-B5 ve B6; Kırklareli-C6 paftaları, 1:100 000 ölçekli açınsama nitelikli Türkiye jeoloji haritaları, 20,21,22,23.* Ankara: MTA Genel Müdürlüğü, Jeoloji Etüdleri dairesi.

Duman, T., Keçer, M., Ateş, Ş., Emre, Ö., Gedik, İ., Karakaya, F., Durmaz, S., Olgun, Ş., Şahin, H., & Gökmenoğlu, O. (2004). *İstanbul Metropolü*

batısındaki (Küçükçekmece-Silivri-Çatalca yöresi) kentsel gelişme alanlarının yer bilim verileri. Ankara: Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü.

Eisenhour, D., & Brown, R. (2009). Bentonite and Its Impact on Modern Life. *5*(2), s. 83-88.

Ekinci Şans, B., Esenli, F., Kadir, S., & Elliot, W. (2015). Genesis of smectite in siliciclastics and pyroclastics of the eocene İslambeyli Formation in the Lalapaşa region, NW Thrace, Turkey. *Clay Minerals*(50(4)), 459-483.

Ekinci Şans, B. (2018). *Kuzeybatı Trakya'da (Lalapaşa-Pınarhisar) İslambeyli Formasyonu'nun ve Bentonit Oluşumlarının Jeolojisi, Mineralojisi, Jeokimyası ve Teknolojik Özellikleri.* İstanbul.

Ekinci Şans, B., Esenli, F., & Kadir, S. (2020). Geology, mineralogy, and geochemistry of the smectite-bearing Eocene İslambeyli Formation in the Pınarhisar region, NW Thrace, Turkey. *Arabian Journal of Geosciences*.

Ekinci Şans, B., Sütçü, M. N., & Esenli, F. (2021). *Clay mineral composition of the Eocene-Islambeyli Formation in the Saray region (Tekirdağ, Thrace).* İzmir: 3. International Aegean Symposiums.

Erdoğan, M., & Mahmutoğlu, Y. (2009). Büyükkılıçlı (Silivri) Bentonitinin metal döküm sanayiinde kullanım olanaklarının araştırılması. *Mühendislik Jeolojisi Bülteni*(28-29), 1-14.

Erdoğan, M., Eren, R., & Oktay, F. (1999). Silivri çevresindeki Ergene formasyonunun agrega potansiyeli ve özellikleri. *2.Ulusal Kırmataş Sempozyumu Bildiriler Kitabı*, (s. 118-120). İstanbul.

Esenli, F., Gökhan, Ş., Ekinci Şans, B., & Gültekin, A. H. (2019). *Ergene Formasyonunda (Trakya) Kum Üretiminden Sonra Kazanılabilecek Kil Potansiyeli Üzerine Bir Çalışma.* İstanbul.

Esenli, F., Gültekin, A. H., & Ekinci Şans, B. (2010). *Ergene formasyonu kumlarından (Çorlu-Tekirdağ bölgesi) bentonitik malzeme kazanımı.* İstanbul: Kil Bilimi ve Teknolojisi Dergisi.

Fedo, C., Nesbitt, H., & Young, G. (1995). Unraveling the effects of potassium metasomatism in sedimentary rocks and paleosols, with implications in weathering conditions and provenance. *Geology*(23), 921-924.

Gökçe, A., Sezer, C., Allahverdi, D., & O.K., O. (2022). *Sinekli-Büyükkılıçlı (Silivri, İstanbul) bölgesinde Danişmen ve Ergene Formasyonları'nın jeolojisi ve kil mineralojisi.* Lisans Bitirme Tasarım Projesi, İTÜ , Jeoloji Mühendisliği Bölümü.

Grim, R., & Güven, N. (1978). *Bentonites, Geology, Mineralogy, Properties and Uses.* Amsterdam: Elsevier.

Harvey, C., & Murray, H. (1997). Industrial clays in the 21st century: A perspective of exploration, technology and utilization. *Applied Clay Science*(11), 285-310.

Hasdemir, S. (2007), Marmara Bölgesindeki farklı kökenli doğal kumların beton özelliklerine etkisi, İÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Doktor Tezi, 169syf.

Hasdemir, S., Tuğrul, A., Yılmaz, M. (2012), Evaluation of Alkali Reactivity of Natural Sands, Construction and Building Materials, 29, 378-385

Hochstetter, F. (1870). Die geologischen Verhaltnisse des östlichen Teiles der europaischen Türkie. *Jb. k.k. geol. Reichanst.*(20), 365-461.

Holmes, A. (1961). *A stratigraphic review of Thrace.* Turkish Petroleum Corporation.

İBB, Özgül, N. (2005). *İstanbul İl Alanının Genel Jeoloji Özellikleri.* İstanbul Büyükşehir Belediyesi Planlama ve İmar Daire Başkanlığı.

İBB, Talay, T., Akmeşe, İ., Bostancıoğlu, İ., Aksoy, P., Yeşiltaş, A., Mehmetoğlu, H., & Tekin, M. (2017). *İSTANBUL İLİ, 1/25.000 ÖLÇEKLİ ARAZİ KULLANIMINA ESAS JEOLOJİK ETÜT RAPORU.* İstanbul: T.C İBB Deprem Risk Yönetimi ve Kentsel İyileştirme Daire Başkanlığı, Deprem ve Zemin İnceleme Müdürlüğü.

İBB. (2020). *İSTANBUL İLİ ÇATALCA-SİLİVRİ HEYELAN FARKINDALIK KİTAPÇIĞI*. İBB, Deprem Risk Yönetimi ve Kentsel İyileştirme Daire Başkanlığı Deprem ve Zemin İnceleme Müdürlüğü.

Kasar, S., Bürkan, K., Siyako, M., & Demir, O. (1983). *Tekirdağ- Şarköy-Keşan-Enez bölgesinin jeolojisi ve hidrokarbon olanakları.* TPAO Arama Grubu Arşivi.

Keskin, C. (1966). Pınarhisar resif karmaşığı mikrofasiyes incelemesi. *Rev. Fac. Scien. Univ. İst., Seri B, 31*(3-4), 109-146.

Koral, H. (1997). Trakya Havzası Doğusunun Neotektoniği, Trakya'da sanayileşme ve Çevre Sempozyumu II. (s. 302-314). Edirne: TMMOB Makina Mühendisleri Odası.

Kronberg, B., & Nesbitt, H. (1981). Quantification of weathering, soil geochemistry and soil fertility. *Journal of Soil Science*(32), 453-459.

Lebküchner, R. (1974). Beitrag zur Kenntnis des Geologie des Oligozäns von MittelThrakien (Türkie). *Bull. Mineral Res. Expl. Ins.*(83), 1-30.

Maynard, J., Valloni, R., & Yu, H. (1982). Composition of modern deep sea sands from arc-related basins. *Geological Society of London Special Publications*(10), 551-561.

McLennan, S., Hemming., S., McDaniel, D., & Hanson, G. (1993). Geochemical approaches to sedimentation, provenance and tectonics. *Geological Society of America Special Papers*(284), 21-40.

Meunier, A. (2005). *Clays.* Springer Berlin Heidelberg New York.

Moore, D., & Reynolds, R. J. (1997). *X-ray diffraction and the identification and analysis of clay minerals.* New York: Oxford University Press.

Moore, W., Mc Kee, E., & Akıncı, Ö. (1980). Chemistry and chronology of plutonic rocks in the Pontid mountains, northern Turkey. *European Copper Deposits Congress Book* (s. 209-216). içinde Belgrade.

Murray, H. (2007). *Applied clay mineralogy: Occurrences, processing and application of kaolins, bentonites, palygorskite - sepiolite, and common clays.* Amsterdam: Elsevier.

Nesbit, H., & Young, G. (1982). Early Proterozoic climates and plate motion inferred from major element chemistry of Iutites. *Nature*(299), 715-717.

Nesbitt, H., & Wilson, R. (1992). Recent weathering of basalts. *American Journal of Science*(292), 740-777.

Nesbitt, H., & Young, G. (1984). Prediction of some weathering trend of plutonic and volcanic rocks based on thermodynamic and kinetic consideration. *Geochimica et Cosmochimica Acta*(48), 1523-1534.

Nesbitt, H., & Young, G. (1989). Formation and diagenesis of weathering profiles. *Journal of Geology*(97), 129-147.

Odam, I. (1984). Smectite clay minerals: properties and uses. . *Philos*(311), 391- 409.

Ohta, E., Doğan, R., Batık, H., & Abe, M. (1988). Geology and Mineralization of Dereköy Porphyry Copper Deposit, northern Turkey. *Bulletin of the Geological Survey of Japan*, 39.

Okay, A., & Yurtsever, A. (2006). *Trakya Litostratigrafi Birimleri; Istranca Masifinin Metamorfik Kaya Birimleri ile Metamorfizma Sonrası Kretase Kaya Birimleri.* (Cilt Litostratigrafi Birimleri Serisi-2). Ankara: MTA.

Okay, A., Satır, M., Tüysüz, O., Akyüz, S., & Chen, F. (2001). The tectonics of the Strandja Massif: late-Variscan and mid-Mesezoic deformation and metamorphism in the northern Aegean. *International Journal of Earth Sciences (Geologische Rundschau)*(90), 217-233.

Önalan, M. (1981). İstanbul Ordovisiyen ve Siluriyen istifinin çökelme ortamları. *Yerbilimleri Dergisi*, 161-177.

Özcan, İ. (1982) 1/25.000 ölçekli Sayısal Jeoloji Haritası, Kırklareli, F20-d2 Paftası, Türkiye Jeoloji Veri Tabanı, Jeoloji Etütleri Dairesi Başkanlığı, Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü, Ankara

Perinçek, D. (1991). Possible strand of the North Anatolian Fault in the Thrace Basin, Turkey-an interpretation. *AAPG Bull*(75), 241-257.

Perinçek, D., Ataş, N., Karatut, Ş., & Erensoy, E. (2015). Danişmen Formasyonu Stratigrafisi ve Birim İçindeki Linyit Düzeylerinin Havzadaki Dağılımı, Trakya Havzası, Türkiye. *Türkiye Jeoloji Bülteni, 58*(1), 19-62.

Roser, B., & Korsch, R. (1986). Determination of tectonic setting of sandstone–mudstone suites using SiO2 content and K2O/Na2O ratio. *Journal of Geology*(94), 635-650.

Roser, B., & Korsch, R. (1988). Provenance signatures of sandstone–mudstone suites determined using discriminant function analysis of major- element data. *Chemical Geology*(67), 119-139.

Sümengen, M., Terlemez, İ., Şentürk, K., Karaköse, C., Erkan, N., Ünay, E., Gürbüz, M., & Atalay, Z. (1987). *Gelibolu Yarımadası ve Güneybatı Trakya Tersiyer havzasının stratigrafisi, sedimantolojisi ve tektoniği.* MTA Genel Müdürlüğü, Jeoloji Etüdleri Dairesi.

Sayar, C. (1976). *Haliç ve Civarının Jeolojisi; Boğaziçi Üniv., İstanbul Haliç Sorunları ve Çözüm Yolları Ulusal Sempoz- yumu, Şubat.*

Sayar, C. (1977). *İstanbul yeni iskan yöreleri geoteknik ve sismik etüdü.* B.Ü. Deprem Araştırma Enstitüsü.

Sayar, C. (1989 a). İstanbul ve çevresi Neojen çökelleri ve Paratetis içindeki konumu. *35. Yıl Sempozyumu Kitabı* (s. 250-266). içinde İTÜ, Maden Fakültesi.

Schulze, D. (2005). *Clay Minerals Reference Module in Earth Systems and Enviromental Sciences, Encyclopedia of Soils in the Environment.* (D. Hillel, Dü.)

Siyako, M., & Kasar, S. (1985). *Edirne-Lalapaşa-Kırklareli bölgesinin jeolojisi.* Ankara: TPAO Arama Grubu Arşivi.

Siyako, M. (2006). *Trakya Bölgesi Litostratigrafi Birimleri. İçinde M. Üzer (Ed.), Trakya Havzası Tersiyer Kaya Birimleri.* Ankara: MTA.

Şafak, Ü. (2019). Paleoenvironmental features and ostracod investigation of Paleogene-Neogene sequences in Babaeski- Lüleburgaz- Muratlı-Çorlu Region (Southeastern Thrace, Turkey). *Bulletin of the Mineral Research and Exploration*(160), 45-79.

Tuğrul, A., Yılmaz, M. (2015), Agrega Kaynaklarının Sürdürülebilir KullanımındaPlanlamanın Önemi, 7. Ulusal Kırmataş Sempozyumu Bildiriler Kitabı, 11-22, 5-6 Mart 2015/ İstanbul.

Tuğrul, A. (2017), Megakentler İçin Agrega Kaynak Planlamasında Mühendislik Jeolojisi Araştırmalarının Önemi, İstanbul'un Jeolojisi Sempozyumu 5 Genişletilmiş Bildiri Özetleri Kitabı, 25-27, 12-14 Mayıs 2017/ İstanbul.

Turgut, S., Siyako, M., & Diki, A. (1983). Trakya havzasının jeolojisi ve hidrokarbo olanakları. *Türkiye Jeoloji Kongresi Bülteni*(4), 35-46.

Tüysüz, O., Aksay, A., & Yiğitbaş, E. (2004). Batı Karadeniz bölgesi litostratigrafi birimleri. *Litostratigrafi Birimleri Serisi-1* (s. 92). içinde Ankara: Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü, Stratigrafi Komitesi.

Türkecan, A., & Yurtsever, A. (2002). *İstanbul Paftası, 1: 500 000 ölçekli Türkiye Jeoloji Haritası Serisi.* Ankara: Maden Tetkik Arama Genel Müdürlüüğü.

Umut, M., Kurt, Z., İmik, M., Özcan, İ., Sarıkaya, H., Saraç, G., & Keskin, İ. (1983). *Tekirdağ İli-Siilivri (İstanbul İli)-Pınarhisar (Kırklareli İli) Alanının Jeolojisi.* Ankara (Yayınlanmamış): MTA.

Umut, M., İmik, M. K., Özcan, İ., Ateş, M., Karabıyıkoğlu, M., & Saraç, G. (1984). *Edirne İli-Kırklareli İli-Lüleburgaz (Kırklareli İli)- Uzunköprü (Edirne İli) civarının jeolojisi.* MTA Genel Müdürlüğü, Jeoloji Daire Başkanlığı Arşivi.

Ünal, O. (1967). *Trakya jeolojisi ve petrol imkanları.* TPAO Arama Grubu Arşivi.

Üşümezsoy, Ş. (1982 a). *Istranca masifinin petrojenetik evrimi.* Doktora Tezi, İstanbul Üniversitesi Yer Biilimleri Fakültesi.

Üşümezsoy, Ş. (1982 b). Igneous and metamorphic geology and mineralization. of Istranca region. *İstanbul Yerbilimleri*(3), 277-294.

Yenipazar, Y. (2000). *Büyükkılıçlı (Silivri) Bentonitinin döküm ve sondaj sanayi yönünden özelliklerinin incelenmesi.* Y.L. Tezi, İTÜ , Fen Bilimleri Enstitüsü.

Yeniyol, M. (1987). Enez (Edirne) bentonitinin jeolojisi, mineralojisi ve Oluşumu. *3. Ulusal kil Sempozyumu*, (s. 123-137). Ankara.

Yurtsever, A. (1996). *İstanbul Yarımadasının (1/50.000 ölçekli haritasının) jeolojisi.* Ankara.

Zielinski, R. (1982). The mobility of uranium of rhyolite ash to montmorillonite: a case study in the Troublesome Formation, Colorado, USA. *Chemical Geology*(35), 185-204.

Url-1< *https://www.wikiwand.com/tr/Silivri* > erişim tarihi 28.11.2022.

ÖZGEÇMİŞ

Ad-Soyad : Ayşe Sehra ÖZKAN KOSİFOĞLU

ÖĞRENİM DURUMU:

- **Lisans :** 2018, İstanbul Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü