Eskişehir Bölgesi Pliyosen Yaşlı Killi Sedimanlarının Mineralojik ve Kimyasal Bileşenlerinin Mühendislik Özelliklerine Etkisinin İrdelenmesi

Bismillah Joyan

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Jeoloji Mühendisliği Ana Bilim Dalı

Kasım 2017

The Effect of Mineralogical And Chemical Composition on Engineering Properties of Pliocene Clayey Sediments in Eskişehir District

Bismillah Joyan

MASTER OF SCIENCE THESIS

Departement Of Geological Engineering

November 2017

Eskişehir Bölgesi Pliyosen Yaşlı Killi Sedimanlarının Mineralojik ve Kimyasal Bileşenlerinin Mühendislik Özelliklerine Etkisinin İrdelenmesi

Bismillah Joyan

Eskişehir Osmangazi üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Lisansüstü Yönetmenliği Uyarınca
Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı
Mineraloji-Petrografi Bilim Dalında
YÜKSEK LİSANS TEZİ
Olarak Hazırlanmıştır

Danışman: Yrd. Doç. Dr. Hülya Erkoyun

2016-1360 Nolu Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Bilimsel Araştırmaları Projesi Kapsamında desteklenmiştir.

Kasım 2017

ONAY

Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı Yüksek Lisans öğrencisi Bismillah Joyan'nın YÜKSEK LİSANS tezi olarak hazırladığı "Eskişehir Bölgesi Pliyosen Yaşlı Killi Sedimanlarının Mineralojik ve Kimyasal Bileşenlerinin Mühendislik Özelliklerine Etkisinin İrdelenmesi" başlıklı bu çalışma, jürimizce lisansüstü yönetmeliğin ilgili maddeleri uyarınca değerlendirilerek oy birliği ile kabul edilmiştir.

Danışman **:** Yrd. Doç. Dr. Hülya Erkoyun

İkinci Danışman **:** Doç. Dr. Murat Türköz

Yüksek Lisans Tez Savunma Jürisi:

Üye: Pro. Dr. Selahuttin KADİR

Üye: Doç. Dr. Hasan SAVAŞ

Üye: Yrd. Doç. Dr. Ahmet ORHAN

Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun ..... tarih ve ..... sayılı kararıyla onaylanmıştır.

Prof. Dr. Hürriyet ERŞAHAN
Enstitü Müdürü

ETİK BEYAN

Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü tez yazım kılavuzuna göre Yrd. Doç. Dr. Hülya Erkoyun danışmanlığında hazırlamış olduğum "Eskişehir Bölgesi Pliyosen Yaşlı Killi Sedim anlarının Mineralojik Ve Kimyasal Bileşenlerinin Mühendislik Özelliklerine Etkisinin İrdelenmesi" başlıklı tezimin özgün bir çalışma olduğunu; tez çalışmamın tüm aşamalarında bilimsel etik ilke ve kurallarına uygun olarak elde ettiğimi; tez çalışmamda yararlandığım eserlerin tümüne atıf yaptığımı ve kaynak gösterdiğimi ve bilgi, belge ve sonuçları bilimsel etik ilke ve kurallara göre sunduğumu beyan ederim. 24/11/2017.

Bismillah Joyan

ÖZET

Bu çalışmanın amacı, Pliyosen yaşlı sedimanların mineralojik ve kimyasal özellikleri ile mühendislik parametrelerini ilişkilendirerek irdelemektir. Bu araştırmada, araziden 65 adet örselenmiş karot numunesi alınmıştır. Bu sedimanların karekteristik özellikleri, X-ışınları difraktometresi, diferansiyel termal analiz-termal gravimetri (DTA-TG), taramalı elektron mikroskobu (SEM), FT-IR spektroskopi ana oksitler ve iz elementlerin kimyasal analizi, Atterberg limitler, elek analizi ve hidrometre analizi kullanılarak belirlenmiştir. Çalışma alanında, smektit baskın kil mineralidir ve daha az oranda klorit ve illit bulunmaktadır. İdeal DTA-TG ve FT-IR pikleri ve SEM analizi smektiti göstermiştir. Smektit, klorit ve illit yüzdesi, likit limit (LL), plastik limit (PL), plastisite indeksi (PI) ve kil aktivitesi (Ia) ile poztif korelasyon göstermektedir. Ana oksitler ve iz elenetlerin kimyasal bileşimi, fiziksel özellikler ve kil aktivitesi ile karşılaştırılmıştır. Bu çalışma, Eskişehir'deki killi sedimanların mineralojik ve jeokimyasal özelliklerinin jeoteknik davranışa etkili olduğu saptanmıştır.

Anahtar Kelimeler: Eskişehir, Pliyosen, kil, mineraloji, jeokimya, jeoteknik özellikler.

SUMMARY

The purpose of this study is to investigate the engineering parameters with the mineralogical and chemical properties of the Pliocene sediments in Eskişehir. Sixty five disturbed core samples were collected from the field. The characteristics of the sediments were examined using X-ray diffractometry, differential thermal analysis-thermal gravimetry (DTA-TG), scanning electron microscopy FT-IR spectroscopy, chemical analyses of major and trace elements, Atterberg limits, sieve and hydrometer analyses were conducted. The smectite is dominant clay mineral, is the samples accompozied by less proportion of chlorite and illite. The ideal DTA-TG and FT-IR peaks and SEM analysis demonstrate smectite. The percentage of smectite, chlorite and illite positive correlated with liquid limit (LL), plastic limit (PL), plasticity index (PI) and clay activity (Ia). The chemical composition of major oxides and trace elements were examined with physical properties (Atterberg limits) and clay activity. The results of this study suggests the effects" of mineralogical and geochemical properties on the geotechnical behaviour of clayey sediments in Eskişehir.

Keywords: Eskişehir, Pliocene, clay, mineralogy, geochemistry, geotechnical properties.

TEŞEKKÜR

Yüksek lisans tez çalışmamın her aşamasında bana danışmanlık ederek, beni yönlendiren ve her türlü olanağı sağlayan danışmanım Yrd. Doç. Dr. Hülya Erkoyun'a, ilgisini ve önerilerini göstermekten kaçınmayan Eskişehir Osmangazi Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü ikinci danışmanım sayın Doç. Dr. Murat Türköz hocama sonsuz şükran, teşekkür ve en derin saygılarımı sunarım.

Yüksek lisans tez çalışmamın her aşamasında destekleriyle göstermiş oldukları anlayış ve sabırdan dolayı sevgili hocam Prof. Dr. Selahattin Kadir'e teşekkür ederim.

Arazi çalışmaları ve numune alma aşamasında yardımlar ve destekleriyle göstermiş oldukları Üç Eksen Jeoteknik Mühendislik Müşavirlik firmasına çok teşekkür ve en derin saygılarımı sunarım.

2016-1360 Nolu Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Bilimsel Araştırmaları Projeleri Komisyonu üyeleri ve çalışanlarına teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET v
SUMMARY vii
TEŞEKKÜR viii
İÇİNDEKİLER ix
ŞEKİLLER DİZİNİ xi
ÇİZELGELER DİZİNİ xiii
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ xiv
1. GİRİŞ VE AMAÇ 1
2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI 4
2.1. Genel 4
2.2. Eskişehir Bölgesinde Yapılan Çalışmalar 5
3. JEOLOJİ 8
3.1. Bölgesel Jeoloji 8
3.2. Yapısal Jeoloji 11
3.4. Litolojik Özellikler 12
4. MATERYAL VE YÖNTEM 20
4.1. Deneysel Çalışmalar 20
4.1.2. Elek Analiz 21
4.1.3. Hidrometri Analizi 23
4.1.4. Likit Limit analiz 25
4.1.5. Plastik limit analizi 26
4.1.6. X Işınları Difraktometre (XRD) Çalışmaları 26
4.1.7. Diferansiyel Termal Analizi-Termal Gravimetri (DTA-TG) Analizi 27
4.1.8. Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM) Çalışmaları 27
4.1.9. FT-IR Spektroskopisi Analizi 27
4.1.10. Kimyasal Analizler 27

İÇİNDEKİLER (devam)

Sayfa

5. BULGULAR VE TARTIŞMA 28

5.1. Jeoteknik Değerlendirme 28

5.2. Mineralojik ve Kimyasal Değerlendirme 33

5.2.1. X ışınları difraktometresi (XRD) incelemeleri 33

5.2.2. Diferansiyel Termal Analizi-Termal Gravimetri (DTA-TG) 37

5.2.3. SEM Analizi 38

5.2.4. FT-IR Spektroskopisi Analizi 40

5.2.5. Kimyasal analizler 41

5.3. Mineralojik ve Kimyasal Bileşimin Jeoteknik Özelliklere Etkisi 44

6. SONUÇ VE ÖNERİLER 52

KAYNAKLAR DİZİNİ 54

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sekil **Sayfa**

1.1. Eskişehir'deki sondaj yerlerin lokasyonları.. 3
3.1. Eskişehir'in jeoloji haritası (Ocakoğlu, 2007, Şengüller, 2013) 9
3.2. Eskişehir'in genelleştirilmiş stratigrafik dikme kesiti (Gözler vd., 1996 ; Zeybek, 2007'den değişiklikle hazırlanmıştır). 10
3.3. Eskişehir ve çevresinin tektonik haritası (Altunel ve Barka, 1998) 11
3.4. Arazi çalışmaları sırasında alınan numunelere ait görüntü. 13
3.5. Sondaj kuyu logları. 19
4.1. Arazide zemin sondaj makinesi (TSM-500 Marka). 20
4.2. Elek türleri. 21
4.3. Hidrometri deney seti. 23
4.4. Likit Limit deney seti. 25
4.5. Likit Limit Grafiği.. 26
5.1. Numunelerin tane dağılım eğrileri. 28
5.2. Numunelerin plastisite kartındaki yerleri. 29
5.3. Şişme potansiyelinin tahmini (Van Der Merve, 1964). 32
5.4. Dönüştürülmüş plastisite kartı (Daksanamurty ve Raman, 1973) 32
5.5. XRD determinasyonlarının difraktogramı. Kısaltmalar için Çizelge 5.1'in açıklamalarına bakınız. 35
5.6. Kil minerallerinin (smektit, klorit, illit) ve jeoteknik özelliklerinin arasındaki ilişkiler. 36
5.6. Kil minerallerinin (smektit, klorit, illit) ve jeoteknik özelliklerinin arasındaki ilişkiler(Devamı). 37
5.7. Eskişehir bölgesindeki smektitlere ait DTA-TG eğrisi (Örn. Nu., SK 9-3).. 38
5.8. Eskişehir bölgesindeki sedimanlardaki smektitlerin SEM'deki görüntüsü: a- b) bal peteği ve mısır gevreği şeklinde smektitler, c-e: smektitlerin feldispat, volkan camı ve kalsit ile ilişkisi, f) smektitin EDX analizi……..39
5.9. Eskişehir smektitini temsil eden IR spektrumu.. 40
5.10. Likit limit (LL) ve kimyasal bileşenler arasındaki ilişkiler.. 46
5.11. Plastik limit (PL) ve kimyasal bileşenler arasındaki ilişkiler.. 47

ŞEKİLLER DİZİNİ (devam)

Sekil **Sayfa**

5.12. Plastisitesi indeksi (PI) ve kimyasal bileşenler arasındaki ilişkiler.. 48
5.13. Kil aktivitesi (IA) ve kimyasal bileşenler arasındaki ilişkiler. 49
5.14. Zn elementi ve major oksitler- jeoteknik ile korelasyon grafikleri. 50
5.15. Cu elementi ve major oksitler arasındaki korelasyon grafikleri.. 51

ÇİZELGELER DİZİNİ

Cizelge **Sayfa**

4.1. Elek analiz çizelgesi 21
4.2. Hidrometri analiz çizelgesi 23
5.1. Numunelerin mühendislik özelliklerinin sonuçları.. 29
5.2. Eskişehir SPT sondajlarından alınan örneklerin mineralojik bileşimi. 33
5.3. Eskişehir bölgesindeki kohezyonlu zeminlerde kimyasal bileşimi. 40
5.4. Eskişehir bölgesindeki kohezyonlu zeminlerde kimyasal bileşimi……..41

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

Kısaltmalar	**Açıklama**
FT-IR	Spektroskopisi Analizi
DTA-TG	Diferansiyel Termal Analizi-Termal Gravimetri
XRD	X ışınları difraktometresi
SEM	Taramalı Elektron Mikroskobu
SPT	Standart Penetrasyon Deneyi
USCS	Birleşik Zemin Sınıflaması

1. GİRİŞ VE AMAÇ

Kil mineralleri zeminlerin tespit edilmesinde önemli bir rol oynar. Kil mineralleri zemin davranışını doğrudan etkilemektedir. Killerin mühendislik özellikleri doğrudan killerin mineralojik bileşimlerine bağlıdır. Diğer bir ifadeyle, kil minerallerin mühendislik özellikleri geniş dağılım gösterir. Bu dağılım; tane büyüklüğü, kristallenme derecesi, katyon ve boşluk suyundaki serbest elektrolitin, miktar ve tipinin bir fonksiyonudur. Bu etkenlerin önemi kaolinit, illit, smektit grup sırasına göre artar (Mitchell, 1976). Zeminin mineralojik bileşimi fiziksel ve mühendislik özelliklerini etkilemektedir. Zeminin içerisinde kil miktarı çakıl ve kuma göre fazlaysa o zaman zeminin davranışı suya karşı değişmektedir. Killin içerisinde smektit (Montmorilonit) fazlaysa kil suya karşı hassaslaşmaktadır. Zeminler kil mineralojik bileşimine göre aktif, orta veya normal olabilir. Aktif zeminlerde smektit yüzdesi fazla ve orta, normal zeminlerde genel olarak kaolin ve illit gibi mineraller bulunmaktadır.

Killerin şişme özelliklerine bağlı olarak, mühendislik yapılarında birçok deformasyon sorunlarıyla karşılaşılmaktadır. Şişme potansiyeli yüksek zeminler üzerinde inşa edilen mühendislik yapıları üzerinde özellikle hafif yapılarda zemin kabarmaları sonucunda deformasyonlar meydana gelebilmekte ve bunun sonucunda da yapı kullanılmaz hale gelebilmektedirler. Zeminlerin mühendislik özellikleri mineraloji ve kimyasına bağlıdır. Zeminlerin şişme özelliklerinin ve mekanizmalarının çok iyi belirlenmesi, zemin davranışlarının açıklanabilmesi en önemli konulardır (Yılmaz ve Karacan, 1998).

Zemin ve killerin ilişkisi üzerinde Türkiye'de ve dünyada çalışmalar yapılmıştır. Zemin mühendislik özellikleri birbirini etkileyen, mineralojik bileşim ve çevre faktörlerine bağlıdır (Kılıç, 1990). Bu çalışmada farklı bölgelerdeki zeminlerin mineralojik ve jeokimyasal bileşimleri ile jeoteknik özellikleri incelenmiştir. Zeminin jeoteknik özellikleri için kil fazının etkin olduğu Üst Pliyosen'e ait ince taneli çökeller malzeme olarak alınmıştır.

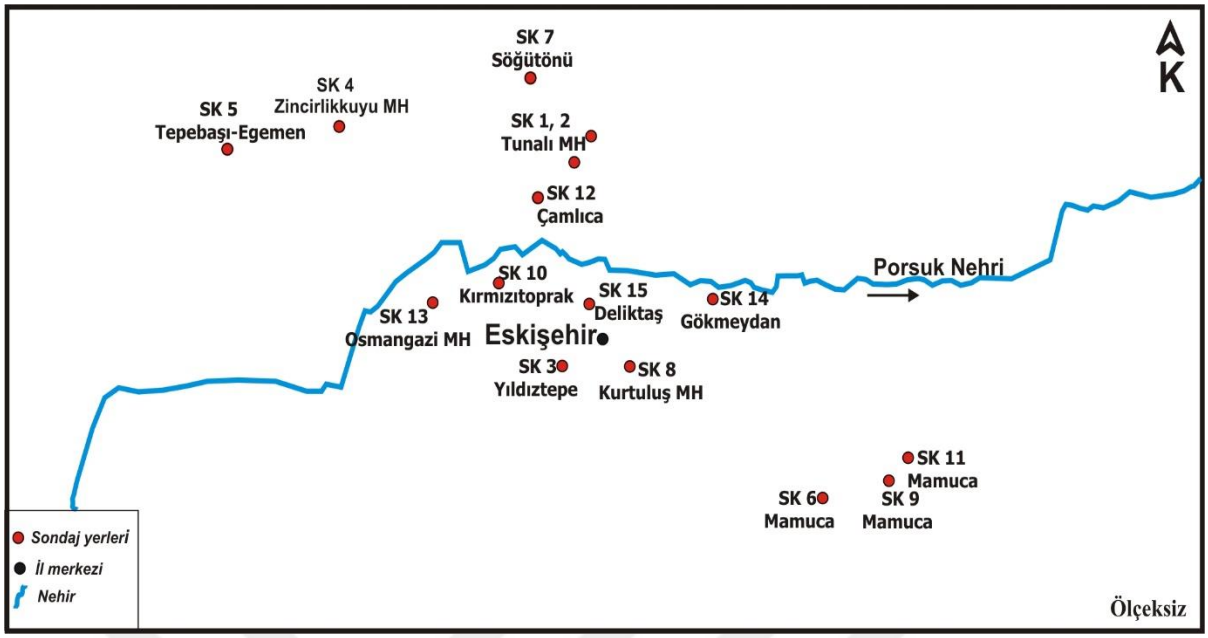
Bu tez kapsamında, Eskişehir'deki killi sedimanlar mineralojik-jeokimyasal ve jeoteknik açıdan incelenmiştir. Bu çalışmada, kil türlerinin mühendislik özelliklerine nasıl etki ettiği ve buna göre zeminlerin sınıflandırılması amaçlanmıştır. Sonuçta Eskişehir'deki killerin içerisindeki smektit, illit ve klorit gibi mineraller çok önemli rol oynamakta ve jeoteknik özellikleri (likit limit, plastik limit, plastisite indeksi ve kil aktivitesi) etkilemektedir.

Bu araştırma kapsamında; Eskişehir ilinin farklı mahallelerinden (Odunpazarı, Kırmızıtoprak, Gökmeydan, Osmangazi, Tepebaşı) alınan zemin numuneleri üzerinde mineralojik-jeokimyasal ve jeoteknik çalışmalar yapılmıştır. Araziden 65 numune alınarak üzerlerinde Elek ve Hidrometre Deneyleri, Likit limit ve Plastik Limit analizi, X Işınları Difraktometre (XRD) Çalışmaları, Diferansiyel Termal Analizi-Termal Gravimetri (DTA-TG) Analizi, FT-IR Spektroskopisi Analizi, Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM) çalışmaları gibi laboratuvar çalışmalar yapılmıştır. Mineralojik ve jeokimyasal bileşimle jeoteknik parametreler, korelasyon grafikleriyle çizilmiş ve yorumlanmıştır.

Çalışma alanı, 1/100.000 ölçekli İ24 ve İ25 Eskişehir topoğraftık paftaları sınırları kapsamında Çamlıca, Zincirlikuyu, Tunalı, Kırmızı toprak, Mamuca, Deliktaş, Yıldıztepe, Gökmeydan, Osmangazi ve Söğütönü Mahallelerini kapsamaktadır (Şekil 1.1).

Eskişehir merkezinin denizden yüksekliği ise 792 m dir. Şehrin iklimi İç Anadolu tipi karasal bir iklim hüküm sürmektedir. Gece ve gündüz arasındaki ısı faklıdır. Genellikle Eskişehir'de kışlar parçalı bulutlu, kar yağışlı, baharlar orta derecede yağışlı ve yazlar ise az bulutlu ve açık geçer. Eskişehir il merkezinde en sıcak ve en soğuk ayların ortalamaları 21,5°C ve -0.8°C olmaktadır.

İç Anadolu'nun kuzeybatı köşesinde yer alan Eskişehir ilinin topoğrafik yapısını, Sakarya ve Porsuk havzalarındaki düzlükleri ile bunları çevreleyen dağlar oluşturmaktadır. Yaklaşık en yüksek dağı 1825m ile Türkmen dağıdır. Yani %22'sini dağların oluşturduğu ilin, yeryüzü şekilleri içinde ovalar %26 dolayındadır.



Şekil 1.1. Çalışma alanın sondaj yerlerinin lokasyonları.

2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

2.1. Genel

Dumbleton ve West (1966), topraklarda kil minerallerinin plastikliği arasındaki ilişki etkileyen bazı faktörler üzerinde çalışmışlar. Buna göre kil maddesi için sıvı ve plastik sınırlamalar arasındaki ilişkiyi, plastik limit ve likit limit arasındaki ilişkiyi, çimento ve agregasyon'un etkisi toprak özelliklerin üzerinde incelenmiştir.

Abdullah vd., (2008), Kahire, Mısır'ın doğusunda deniz killerinin mineralojik ve kimyasal bileşimleri jeoteknik algılama olarak incelenmiştir. Arazi ve laboratuvar çalışmalar sırasında yirmi beş kil örneğin üzerinde kayaçların şişme, kayma, kırılma ve parçalanma gibi jeoteknik davranışları ayrıca on beş kil örneğin mineral bileşimleri, X-Ray difraksiyon ve elektron mikroskop çalışmalar ile belirtirmiştir.

Ohtsubo vd., (2010), Doğu Asya'da deniz killerinin mineralleri ve jeoteknik indeks özellikleri incelenmiştir. Bu araştırmada kil minerallerin analizi, kil minerallerin bileşenleri, kil sedimentlerinin özellikleri, kil mineral kompozisyonunun likit limit ve plastik limitleri ile korelasyonu iyice belirlenmiştir.

Kirov ve True (2011), Hanoi yumuşak topraklarda salin ortamda jeoteknik özellikler ve kil mineral bileşimi arasındaki ilişki üzerine bir araştırma yapmışlar. Arazi çalışmalar sırasında salin içeri giren ortamda kil minerallerin bileşimi ve onun jeoteknik özellikler arasındaki ilişkiyi iyice incelenmişler.

Adebisi vd., (2013), Mühendislik projesinde laterittik zeminlerin kil içeriğinin özellikleri bir araştırma yapmıştır. Bu çalışmada yapılan laboratuvar deneylerinin laterittik topraklarda kil içeriği üzerine ana kayaçların jeolojik oluşumu, kil mineralojik bileşimleri, ana oksitlerin jeokimyası ve plastiklik karakteristiği belirlenmiştir.

Muceko ve Lazo (2013), Tirana (Albania) Alanın üzerinde kimyasal-mineralojik bileşimi ve derinli toprak zeminin fiziksel – mekanik özelliklerine etkisi incelenmişlerdir.

Arazi ve laboratuvar çalışmalar sırasında şişme, büzülme, çatlama ve jeoteknik özelliklerin azaltılması gibi fiziksel-mekanik davranışlarını sonuç olarak belirlenmiştir. Ayrıca son olarak kohezyonlu zeminlerin fiziksel-mekanik özellikleri üzerine mineralojik ve kimyasal kompozisyonun etkilerini iyice incelenmişlerdir.

Win Bo vd., (2015), Changi'deki Singapur'un deniz killerinin mineraloji ve jeoteknik özelliklerini incelenmiştir. Bu çalışmada Changi'deki Singapur kilinin jeolojik geçmişi, kil mineralojisi, fiziksel etkisi, sıkıştırma, hidrolik iletkenlik ve makaslama gerginliği gibi jeoteknik özellikleri dâhil belirtirmiştir.

2.2. Eskişehir Bölgesinde Yapılan Çalışmalar

Eskişehir Bölgesi ile ilgili daha önce yapılan birçok çalışmalar mevcuttur. Bunlar;

Barutoğlu (1960), Eskişehir havzasını jeolojik olarak incelemiş ve buna göre havzayı iki kıvrım kuşağı ile karakterize etmiştir. Bunlardan ilki, Eskişehir'den Mihalıççık'ın doğusuna kadar uzanan ve tahminen doğu-batı yönlü kıvrım; bir diğeri ise tahminen doğu/güneydoğu- batı/kuzeybatı yönlü Eskişehir-Kaymaz-Sivrihisar Kıvrım kuşağıdır.

Sincan (1978), Eskişehir-Mihalıççık arasında kalan bölgenin detay jeolojik harita alımını gerçekleştirerek alanın stratigrafisini ortaya koymuş, ayrıca kaolin yataklarının ekonomik olarak değerlendirmesini yapmıştır.

Gözler vd., (1985), Eskişehir civarının jeolojisi ve sıcak su kaynakları üzerinde çalışmalar yapmışlar. Bu çalışma ile inceleme alanında yer alan sıcak su kaynaklarının çevresindeki kayaçların stratigrafik ve tektonik özellikleri incelenmiş ve ayrıntılı jeoloji haritalar tamamlanmıştır. Ayrıca şekilde sıcak suların hangi birimleri kastettikleri ve hangi tektonik hatlar boyunca yüz eylendikleri ortaya konulmuştur.

Gözler ve Cevher (1987), tarafından Eskişehir-G26 paftasının 1/100000 ölçekli jeoloji haritası hazırlanarak bölgenin jeolojisine yönelik çalışmalar yapılmıştır.

Kibici (1990), Sarıcakaya (Eskişehir) volkaniklerinin petrolojisi ve kökensel yorumu irdelenmiştir. İç batı Anadolu'da Eskişehir ili Sarıcakaya ilçesi civarında yüzeylenen volkanik kayaçlarda yapılan petrokimyasal incelemelerin yanı sıra bölgesel yayılımları araştırılarak çevredeki benzerleri olan diğer volkaniklerle karşılaştırılmış, oluşumları ve kökenleri incelenmiştir. İç Batı Anadolu'da Eskişehir ili Sarıcakaya ilçesi civarında yüzeylenen volkanik kayaçlarda yapılan petrokimyasal İncelemelerin yanı sıra bölgesel yayılımları araştırılarak çevredeki benzerleri olan diğer volkaniklerle karşılaştırılmış, Oluşumları ve kökenleri incelenmiştir.

Dağ vd., (1994), Orta Sakarya Havzası (Eskişehir-Bilecik) pegmatitlerinin mineraloji ve jeokimyasını incelenmişlerdir. Farklı yapı ve dokudaki pegmatitlerin derinlik ve metamorfik kayaçlar içinde oluştuğunu ve benzer mineralojik bileşime sahip olduğunu ortaya koymuşlardır. Pegmatitlerin damar boyutlarının, magmatik kütlenin soğumasına bağlı olarak gelişen çatlakların sürekliğine bağlı olduğunu, metamorfikler içerisindeki pegmatitlerin ise yapraklan uyumlu olarak geliştiğini belirtmişlerdir. Ayrıca her iki tip pegmatit damarının da ekonomik bir potansiyele sahip olduğunu saptamışlardır.

Altunel ve Barka (1998), Eskişehir Fay Zonu'nun İnönü-Sultandere arasında neotektonik aktivitesini incelenmişlerdir. Arazi çalışmaları sırasında incelenen neotektonik yapıları, çalışma alanın tektonik ve sismik özellikleri ve Eskişehir'in fay zonunun neotektonik aktivitesini. Ayrıca İnönü-Sultandere arasındaki Eskişehir'in fay zonunun Kuvaterner aktivitesinin irdelenmesini belirtirmiştir.

Ocakoğlu (2007), Eskişehir Fay Zonu'nun son zamanlarda KB Türkiye'sinde genişleme yapısı yeniden değerlendirilmesi incelenmişlerdir. Bu çalışma ile alanın stratigrafisi gözden geçirilmiş ve Eskişehir fay zonu'nda aktif deformasyon, sismisite ve GPS ölçümleri ile Eskişehir'in Fay Zonu'nun morfotektoniği irdelenmiştir.

Güllü ve Kadıoğlu (2010), Eskişehir doğusunda Topkaya köyü civarında yaptıkları çalışmada Sakarya kıtası içerisinde oluşan Topkaya intrüzif kütlesinin granit ve granodiyorit bileşiminde olduğunu ve yarı elips şekilli ve mafik/felsik dayklar tarafında kesildiğini önce sürmüşlerdir. Lamprofir bileşimli bu daykların mikro-gabro porfir, mikro-diyorit porfir, diyorit porfir ve granodiyorit porfir bileşiminde olduğu vurgulanmıştır.

Elde edilen petrografik ve jeokimya sal verilere göre Topkaya intrüzif kütlesinin manto karakterli alt kıta kabuğunun kısmi ergimesiyle oluşabileceğini, buna karşın lamprofirlerin ise ana granitoyid magmasından farklılaşan ve bu ana magmadan daha mafik bir magmanın ürünleri olabileceği belirtirmiştir.

Tosun vd., (2011), Eskişehir'deki zemin sıvılaşma potansiyeli ile ilgili çalışma ile inceleme alanının jeolojisi, sismotektoniği, Atterberg limit (likit limit, Plastik limit), bozulan ve bozulmamış toprak örneklerinin fiziksel özellikleri, sismik tehlike parametreleri ve sıvılaşma potansiyeli ortaya konmuştur.

Orhan vd., (2013), Eskişehir Meşelik kampüsünde ön tehlike değerlendirmesi için kapsamlı bir saha araştırması yapılmıştır. Bu çalışmada deneysel çalışmalar iki aşamada gerçekleştirildi. İlk aşamada arazide Standart Penetrasyon Testi (SPT) ile sondaj kuyuları açılmış ve farklı seviyelerden örnek toplanmış. İkinci aşamada numunelerin tanımlanması ve sınıflandırılması için laboratuvar testleri (likit limit, plastik limit, elek analiz, serbest basınç deneyi) gerçekleştirilmiştir. XRD (X-ray diffraction) testleri numunelerin şişme potansiyeli için değerlendirilmiştir.

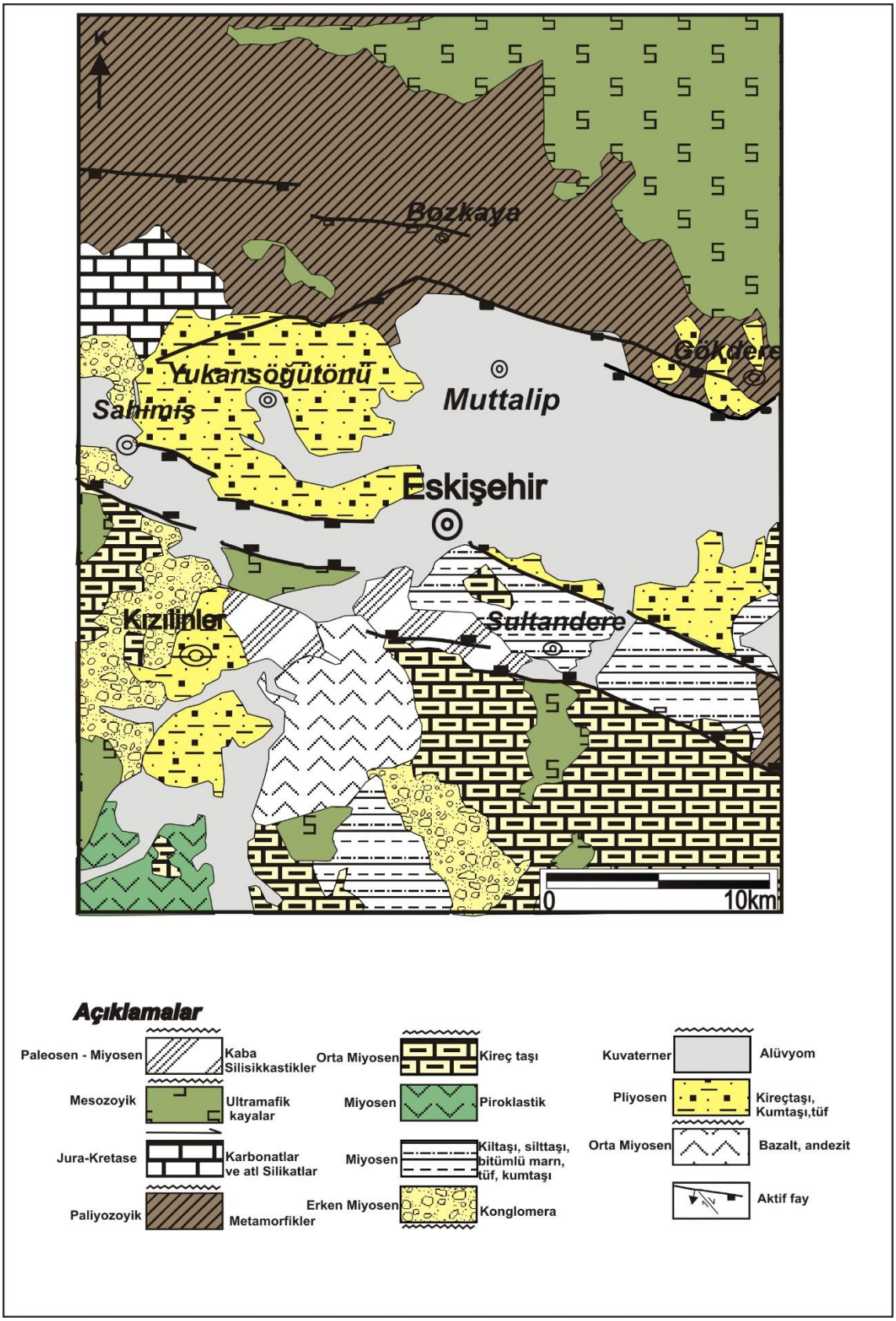
Kadir ve Erkoyun (2015), Eskişehir bölgesindeki lifli tremolit ve krizotil minerallerinin karakterizasyonu ve dağılımı incelenmişlerdir. Arazi çalışmalar sırasında jeolojik özellikleri, Tremolit ve krizotil minerallerinin mineraloji, jeokimyası ve izotopik özellikleri üzerinde durulmuştur.

Kadir vd., (2016), Eskişehir bölgesindeki sepiyolitin ve paligorskitin mineraloji ve jeokimya incelenmesini yapmışlardır. Bu çalışma ile alanın jeolojisi, sepiyolit ve palygorskitin mineralojisi (XRD, DTA, SEM), jeokimyası ve duraylı izotoplar kullanarak kökeni ortaya konmuştur.

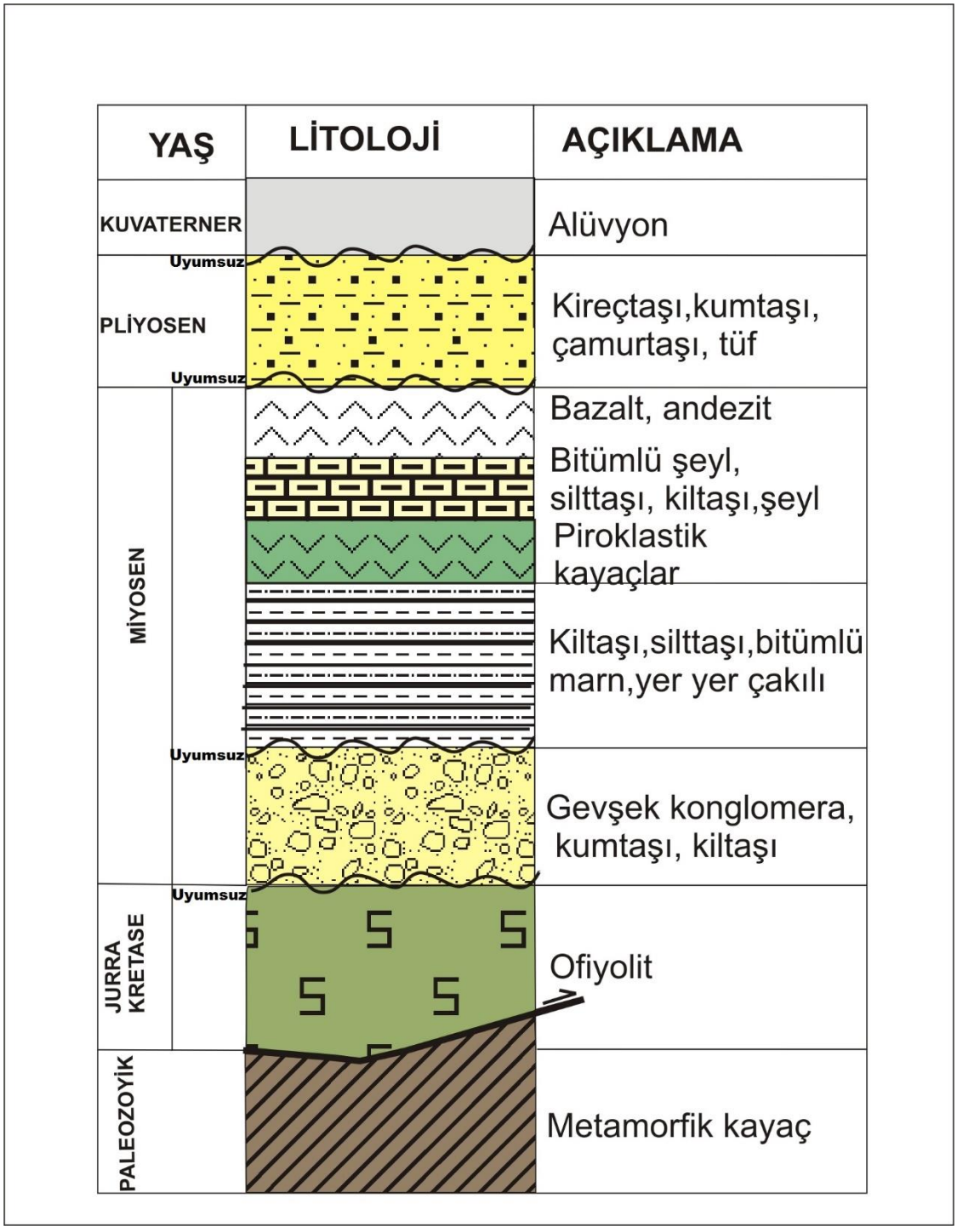
3. JEOLOJİ

3.1. Bölgesel Jeoloji

Bölgedeki kayaç birimlerini en yaşlıdan en gence (tabandan tavana doğru) doğru sıralayacak olursak; en altta Paleozoyik yaşlı ayrılmamış gnays, şist, meta granit, mermer, amfibolit, metamorfik kayaçlar, kristalize kireçtaşı ve dolomittik kayaçlar oluşturur (Karagöz, 2013; Kulaksız, 1981; Gözler vd., 1987) (Şekil 3.1 ve 3.2). Bölgede yer alan metamorfikleri Kuzey ve Güney metamorfikleri olarak ikiye ayırmış ve Paleozoyik yaşını vermiştir (Kulaksız, 1981). Paleozoyik yaşlı birimleri Mesozoyik yaşlı granodiyorit, granit türünden derinlik kayaçları keser. Bunun üzerine bindirmeli olarak Üst Kretase-Paleosen yerleşim yaşlı serpantinit ve serpantinleşmiş ultramafik kayaçlardan oluşan ofiyolitler gelir. Bu birimler Senozoyik yaşlı birimlerin temelini oluşturmaktadır. Bu temel birimleri üzerinde diskordan olarak Senozoik yaşlı çökeller yer alır. Temel birimlerin üzerinde uyumsuzlukla Neojen çökelleri gelmektedir. Neojen çökelleri alttan üste doğru Miyosen ve Pliyosen yaşlı birimleri ayrılmıştır. Miyosen yaşlı birimler içerisinde sahada sarımsı yeşil, kırmızı, kırmızımsı bordo, koyu yeşil-siyah ve kahve renkleri ile belirgin olan birimler aglomera, tüfler, tüfitik kumtaşı, konglomera, kiltaşı, silttaşı, bitümlü marn, kireçtaşı, bazalt, andezit, dolomitler ve jips ile temsil edilir. Pliyosen yaşlı birimler düşük açılı uyumsuzlukla örter ve kırmızı, gri renkli konglomera-kumtaşı, kırmızı renkli çamurtaşı, yeşil renkli kiltaşı ve marn ile jips, jipsli kumtaşı, jipsli kiltaşı-jipsli çamurtaşı, diskoidal-kırlangıç kuyruğu ikizli jipsler, marn, dolomit, dolomitik kiltaşı, kiltaşı ve plaket kireçtaşı birimleri oluşturmaktadır (Karakaş, 2005). İstifin en üstünde ise uyumsuzlukla Kuvaterner yaşlı traverten, yamaç molozu ve alüvyonlar yer alır.



Şekil 3.1. Eskişehir'in jeoloji haritası (Ocakoğlu, 2007; Şengüller, 2013; Kadir vd., 2018).

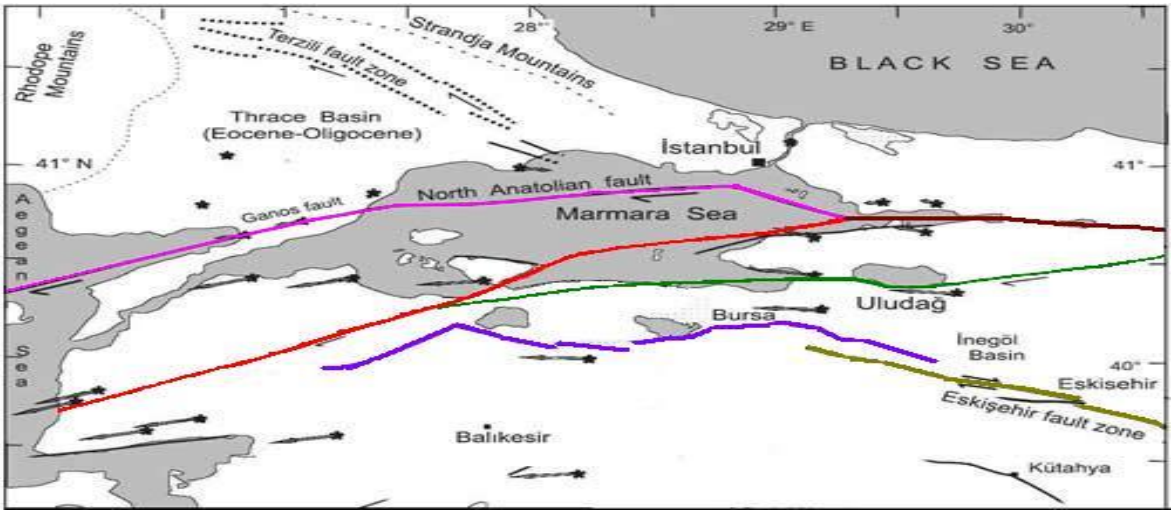


Şekil 3.2. Eskişehir'in genelleştirilmiş stratigrafik dikme kesiti (Gözler vd., 1996 ; Zeybek, 2007; Kadir vd., 2018'den değişiklikle hazırlanmıştır).

3.2. Yapısal Jeoloji

İnceleme alanında Triyas sonunda kapanan bir okyanusta (kuzeye dalan) gelişen olayların neticeleri Sivrihisar'ın kuzeybatısında bulunan bölgelerde ekaylı yapılar ve bindirmeler oluşmuştur. Ancak Triyas sonunda oluşumunu tamamlamış bu ekaylı sistem daha sonraki yapısal hareketlerden de etkilenmiştir. Bu dönemde hakim olan KG istikametinde sıkışmalar neticesinde D-B yönlü fay sistemleri gelişmiştir. Üst Kretase ve sonrasında inceleme alanının dışında gelişen yine K-G yönlü sıkışmalar bölgeyi etkilemiş ve de özellikle Jura-Üst Kretase birimlerinde doğrultu atımlı fayların oluşmasına sebep olmuştur (Şengör vd., 1985).

Diğer taraftan Neojen' de gelişen tektonik olaylar (K-G yönlü gerilmeler) neticesinde de İnönü-Eskişehir-Sivrihisar doğrultusunda normal faylar oluşmuştur. Eskişehir'den geçen bu fay sistemi Eskişehir fay zonu olarak adlandırılmıştır (Altunel ve Barka. 1998) ve bu fayın normal bileşeni yanında sağ yönlü doğrultu bileşenine de sahip olduğu belirtilmektedir. Araştırmacıların Pleistosen ve Holosen birimlerinde gözledikleri depolanma sırasına ve sonrasına ait faylar, Holosen birimlerinin kesintiye uğraması, Eskişehir fay zonunu oluşturan seğmenlerin bu bölgede aktif olduğunu belirtmektedirler. Yine 1956 depreminin de bu kırıklar üzerinde meydana gelmesi bunların aktif olduğunu göstermektedir. Eskişehir ve çevresinin tektonik haritası Şekil 3.3 de verilmektedir.



Şekil 3.3. Eskişehir ve çevresinin tektonik haritası (Altunel ve Barka, 1998).

Normal faylar, inceleme alanı sınırları içinde halen aktivitesini koruyan Eosen ve Pleyistosen sonrası oluşmuş faylardır. Bu faylar genellikle D-B doğrultulu olup, eğimleri de kuzey ve güneye doğrudur. D-B yönde gelişen sıkışmalara bağlı olarak kuzey ve güney yönlü gerilmelere yol açması sonucu oluşmuştur. İnceme alanı sınırları içinde Eskişehir'in güneyinde geçen ve havzayı oluşturan birbirine paralel sayılabilecek normal faylar mevcuttur. Bu fayların güney blokları yükselmiş, kuzey blokları düşmüştür. Ayrıca Eskişehir'in güneyinde mermerlerin ve ofiyolitik kayaçların yüzeylendiği bölgelerde güneyden kuzeye inen basamak şeklinde normal fayların bulunduğu görülmektedir. Ayrıca Eskişehir'in kuzeyinde geçen ve yine güneyindeki faylar gibi aynı özelliklere sahip, metamorfik ve ofiyolitik kayaçlar üzerinde normal fay sistemi de bulunmaktadır.

3.3. Litolojik Özellikler

Eskişehir İlinin farklı mahallelerinde (Çamlıca, Zincirlikuyu, Tunalı, Kırmızı toprak, Mamuca, Deliktaş, Yıldıztepe, Gökmeydan, Osmangazi ve Söğütönü) Üç Eksen Jeoteknik Mühendislik Müşavirlik fırması tarafından yapılan arazi çalışmaları sonucunda elde edilen 15 sondaj kuyusunu kapsamaktadır. Bu sondajlardan 65 adet numune farklı seviyelerden alınmış ve üzerinde laboratuvar çalışmaları yapılmıştır. Arazi çalışmaları (Standart Penetrasyon deneyi) zemin sondaj makinesi TSM-500 marka ile yapılmıştır. Çalışma alanında, açılan temel sondaj kuyusunda 1,50 m derinlikten başlamak üzere genelde 1.50 m aralıklarla her sondaj kuyusunda 6, 8, 9 adet SPT yapılmıştır. Standart Penetrasyon Testi ile ilgili kayıtlar sondaj kuyusu loglarında verilmiştir (Şekil 3.4).



Şekil 3.4. sondaj çalışmaları sırasında alınan karot numunelere ait görüntü.

SK1: Eskişehir Tepebaşı Tunalı Mahallesi, inceleme alanı ve çevresinde sedimanter, magmatik ve metamorfik kayaçlar yer almaktadır. Sondaj kuyularının yer aldığı etüt alanı koyu kahverengi renkli siltli kil ile kaplıdır. Bu birimin altında, derinlere indikçe, tane boyu artarak, çakıllı- siltli-kumlu birim bulunmaktadır. En altta ise kumlu-çakıldan oluşan seviye bulunmaktadır.

Ayrıca açılan sondaj kuyusunda (Şekil 3.5):
0.00-4.00 m: Koyu kahverengi renkli siltli kil birimi
0.00-7.00 m: Koyu kahverengi renkli çakıllı-siltli-kum birimi
7.00-9.45 m: Koyu kahverengi renkli kumlu-çakıl birimi
birimleri geçilmiştir. İnşaat temel seviyesi 1.50 m kabul edildiğinde yapı, siltli kil ile kaplı seviyeye oturacaktır.

SK2: Eskişehir Tepebaşı Tunalı Mahallesi Edipler Sokak, sondaj kuyularının yer aldığı etüt alanı kahve renkli siltli kil ile kaplıdır. Bu birimin altında, derinlere indikçe rengi değişen, siltli-kum bulunmaktadır. En altta ise çakıllı kumdan oluşan seviye bulunmaktadır.

Ayrıca açılan sondaj kuyusunda (Şekil 3.5):
0.00-3.50 m: Koyu kahverengi renkli kumlu-siltli kil
3.50-6.50 m: Koyu kahverengi renkli siltli kum
6.50-9.45 m: Grimsi iyi derecelenmiş çakıllı kum
birimleri geçilmiştir. İnşaat temel seviyesi 1.75 m kabul edildiğinde yapı, kumlu siltli kil ile kaplı seviyeye oturacaktır.

SK3: Eskişehir Odunpazarı Yıldıztepe Mahallesi Gülbiter sokak, sondaj kuyularının yer aldığı etüt alanı kahverengi renkli kiltaşı-silttaşı biriminin ayrışma ürünü ile kaplıdır. Bu birimin altında, derinlere indikçe, kiltaşı-silttaşı bulunmaktadır.

Ayrıca açılan sondaj kuyusunda (Şekil3.5):
0.00-3.50 m: Kiltaşı-silttaşı biriminin ayrışma ürünü
3.50-7.95 m: Kiltaşı-silttaşı
birimleri geçilmiştir. İnşaat temel seviyesi 1.50 m kabul edildiğinde yapı, kiltaşı-silttaşı ayrışma ürünü ile kaplı seviyeye oturacaktır.

SK4: Eskişehir Tepebaşı Zincirlikuyu Mahallesi Aydoğdu Sokak, sondaj kuyularının yer aldığı etüt alanı koyu kahverengi renkli siltli kil ile kaplıdır. Bu birimin altında, derinlere indikçe bu birimin ana kayası olan koyu kahverengi renkli kiltaşı – silttaşı ardalanması olan birim gözlenmektedir.

Açılan sondaj kuyusunda (Şekil 3.5):
0.00-8.50 m: Koyu kahverengi renkli siltli-kil
8.50-9.45 m: Koyu kahverengi renkli kiltaşı-silttaşı ard.
birimleri geçilmiştir. İnşaat temel seviyesi 1.75 m kabul edildiğinde yapı, siltli kil ile kaplı zemine oturacaktır.

SK5: Eskişehir Tepebaşı Söğütönü Mahallesi Egemen Sokak, sondaj kuyularının yer aldığı etüt alanı açık kahvemsi siltli- kil ile kaplıdır. Bu birimin altında, derinlere indikçe rengi değişen, kumlu kil bulunmaktadır.

Açılan sondaj kuyusunda (Şekil 3.5):
0.00-1.50 m: Dolgu
1.50-6.45 m: Kahverengi renkli kiltaşı (ayrışmış bozuşmuş seviye)

SK6: Eskişehir Odunpazarı Mamuca Mahallesi Dirsehan Sokak, sondaj kuyularının yer aldığı etüt alanı koyu kızılımsı renkli kiltaşı-silttaşı ardalanması ile kaplıdır.

Ayrıca açılan sondaj kuyusunda (Şekil3.5):
0.00-3.50 m: Dolgu
3.50-9.45 m: Koyu kızılımsı renkli kiltaşı-silttaşı ardalanması
birimleri geçilmiştir. İnşaat temel seviyesi 3.75 m kabul edildiğinde yapı, kiltaşı-silttaşı ardalanması ile kaplı seviyeye oturacaktır.

SK7: Eskişehir Tepebaşı Söğütönü Mahallesi Gerekli Sokak, sondaj kuyularının yer aldığı etüt alanı koyu kahverengi renkli kiltaşı-silttaşı-kumtaşı ardalanması ile kaplıdır. Bu birimin yüzeyden itibaren ilk 4.00 m seviyesi ayrışmış-bozuşmuş malzeme ile kaplıdır (Şekil 3.5).

Açılan sondaj kuyusunda:
0.00-4.00 m: Koyu kahverengi renkli kiltaşı-silttaşı-kumtaşı ardalanması (ayrışma ürünü)
4.00-7.95 m: Koyu kahverengi renkli kiltaşı-silttaşı-kumtaşı ardalanması
birimleri geçilmiştir. İnşaat temel seviyesi 1.75 m kabul edildiğinde yapı, koyu kahverengi renkli kiltaşı-silttaşı-kumtaşı ardalanmasının ayrışma ürünü olan seviye ile kaplı zemine oturacaktır.

SK8: Eskişehir Odunpazarı Kurtuluş Mahallesi Vatan Sokak, sondaj kuyularının yer aldığı etüt alanı koyu kahverengi renkli siltli kil ile kaplıdır. Bu birimin altında, derinlere inildikçe tane boyu artmış, kumlu çakıl birimi bulunmaktadır.

Ayrıca açılan sondaj kuyusunda (Şekil 3.5):
0.00-7.00 m: Koyu kahverengi renkli siltli- kil
7.00-9.45 m: Koyu kahverengi renkli kumlu-çakıl

birimleri geçilmiştir. İnşaat temel seviyesi 4.00 m kabul edildiğinde yapı, siltli kil ile kaplı seviyeye oturacaktır.

SK9: Eskişehir Odunpazarı Mamuca Mahallesi Ertaş sokak, inceleme alanı alüvyon ile kaplıdır.

Açılan sondaj kuyusunda (Şekil 3.5):
0.00-1.0 m: Dolgu (oldukça sıkışmış)
1.00-2.50 m: siltli –kil (kiltaşı-marn ardalanmasının ayrışma ürünü)
2.50-6.50 m: kahverengi, karbonat içerikli kiltaşı-marn ardalanması
6.50-10.00 m: yeşil renkli kiltaşı-marn ardalanması
birimleri geçilmiştir. İnşaat temel seviyesi 1.25 m kabul edildiğinde yapı, siltli-kil ile kaplı zemine oturacaktır.

SK10: Eskişehir Odunpazarı Kırmızıtoprak Mahallesi Örnek sokak, sondaj kuyularının yer aldığı etüt alanı kahverengi renkli siltli kil ile kaplıdır. Bu birimin altında ise kahverengi çakıllı kumdan oluşan seviye bulunmaktadır.

Ayrıca açılan sondaj kuyusunda (Şekil 3.5):
1.50-7.50 m: Kahverengi renkli kil
7.50-9.45 m: Kahverengi renkli çakıllı –kum
birimleri geçilmiştir. İnşaat temel seviyesi 1.50 m kabul edildiğinde yapı, siltli-kil ile kaplı seviyeye oturacaktır.

SK11: Eskişehir Odunpazarı Mamuca Mahallesi Aydınel Sokak, sondaj kuyularının yer aldığı etüt alanı açık kahverengi renkli siltli kil ile kaplıdır.

Ayrıca açılan sondaj kuyusunda (Şekil 3.5):
0.00-12.45 m: Açık kahverengi renkli siltli-kil
Birimi geçilmiştir. İnşaat temel seviyesi 1.75m kabul edildiğinde yapı, açık kahverengi renkli siltli-kil ile seviyeye oturacaktır.

SK12: Eskişehir Tepebaşı Çamlıca Mahallesi Gök Sokak, sondaj kuyularının yer aldığı etüt alanı açık kahverengi renkli siltli- kil birimi ile kaplıdır. Bu birimin altında, derinlere indikçe rengi değişen, çakıl içerikli siltli- kil birimi bulunmaktadır. En altta ise bej renkli çakıllı- kumlu- siltli kil birimi bulunmaktadır (Şekil 3.5).

Açılan sondaj kuyusunda:
0.00-4.00 m: Açık kahverengi renkli siltli-kil birimi.
4.00-5.50 m: Koyu kahverengi renkli çakıl içerikli siltli-kil birimi.
5.50-6.45 m: Açık kahve- bej renkli çakıllı-kumlu-siltli-kil birimi.
birimleri geçilmiştir. İnşaat temel seviyesi 1.50 m kabul edildiğinde yapı, siltli-kil ile kaplı zemine oturacaktır.

SK13: Eskişehir Odunpazarı Osmangazi Mahallesi Bosnalı Sokak, sondaj kuyusunun yer aldığı etüt alanı koyu kahverengi renkli siltli kil birimi ile kaplıdır. Bu birimin altında, derinlere indikçe tane boyu artan koyu kahverengi renkli çakıl içerikli killi-kum birimi bulunmaktadır. En altta ise kumlu-çakıl biriminden oluşan seviye bulunmaktadır.

Ayrıca açılan sondaj kuyusunda (Şekil 3.5):
0.00-2.00 m: Kumlu-siltli-kil
2.00-5.00 m: çakıl içerikli killi-kum
5.00-9.50 m: kumlu-çakıl
Birimleri geçilmiştir. İnşaat temel seviyesi 1.75 m kabul edildiğinde yapı, kumlu-siltli-kil ile kaplı seviyeye oturacaktır.

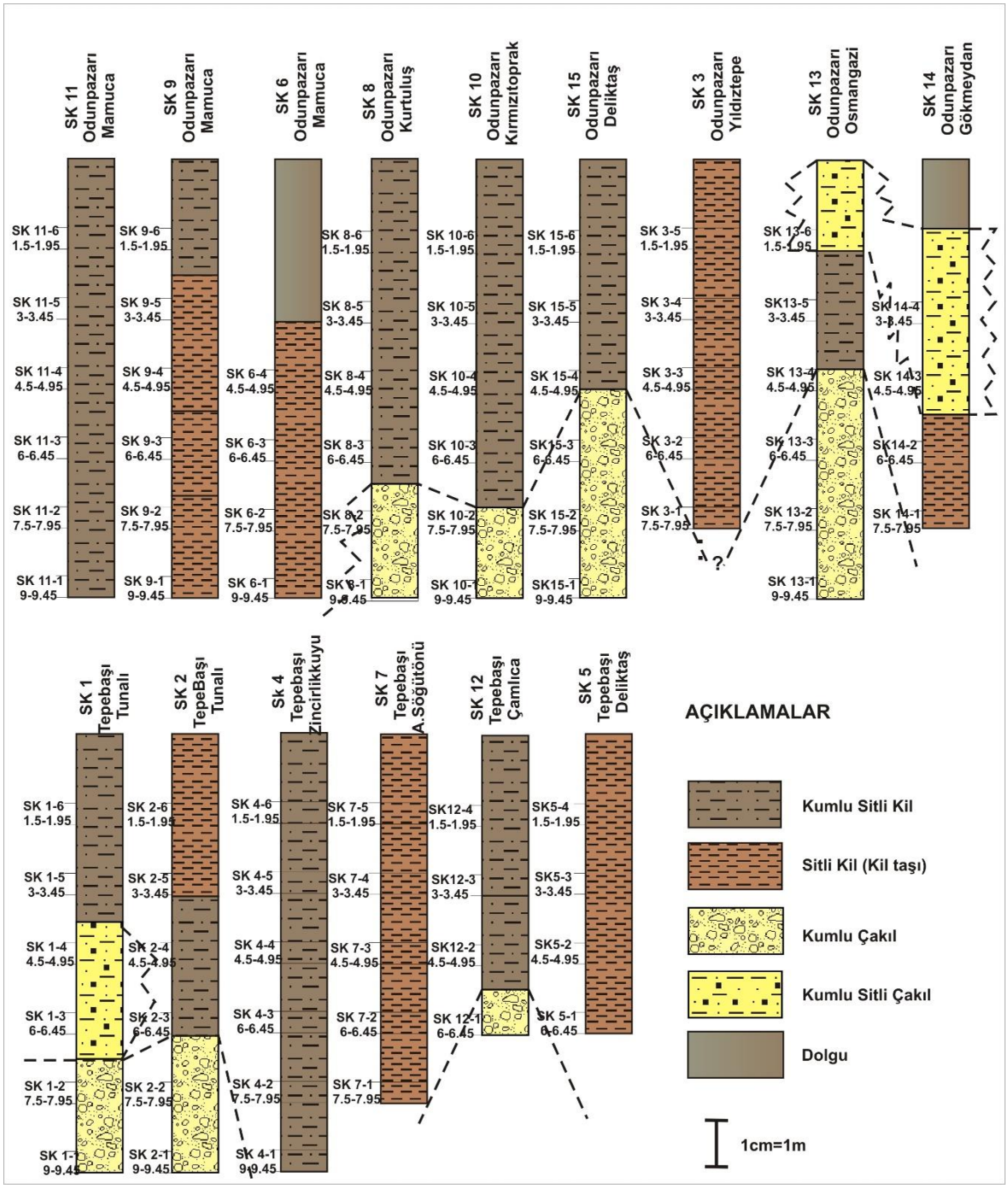
SK14: Eskişehir Odunpazarı Gökmeydan Mahallesi Menekşelik sokak, sondaj kuyularının yer aldığı etüt alanı bej-kahve renkli kumlu siltli kil ile kaplıdır. Bu birimin altında, derinlere indikçe üst tabakanın ana kayası olan kiltaşı-kumtaşı ardalanması bulunmaktadır.

Ayrıca açılan sondaj kuyusunda (Şekil 3.5):
0.00-1.50 m: Dolgu (eski temeller)
1.50- 5.50 m: Bej-kahve renkli kumlu-siltli-kil (kiltaşı-kumtaşı ayrışma ürünü)
5.50-7.95 m: Kahverengi renkli kiltaşı-kumtaşı ardalanması

Birimleri geçilmiştir. İnşaat temel seviyesi 1.75 m kabul edildiğinde yapı, siltli-kil ile kaplı seviyeye oturacaktır.

SK15: Eskişehir Odunpazarı Deliklitaş Mahallesi Gürman Sokak, sondaj kuyularının yer aldığı etüt alanı koyu yeşil kahvemsi renkli siltli kil ile kaplıdır. Bu birimin altında ise kumlu çakıldan oluşan seviye bulunmaktadır.

Ayrıca açılan sondaj kuyusunda (Şekil3.5):
0.00-5.00 m: Koyu yeşil kahvemsi renkli siltli-kil
5.00-10.00 m: Grimsi iyi derecelenmiş çakıllı-kum
birimleri geçilmiştir. İnşaat temel seviyesi 4.50 m seviyesine kadar kazı yapılıp 0.90 m kırma taş malzeme serilmesi kaydıyla 3.60 m kabul edildiğinde yapı, siltli-kil ile kaplı seviyeye oturacaktır.



Şekil 3.5. Sondaj kuyu logları.

Eskişehir bölgesindeki sondajlardaki litolojiler derinliklere göre değişkenlik gösterip, genellikle yüzeye yakın derinliklerdeki sitli killi birimlerde kil mineralleri açısından şişebilen killer olarak smektit baskınken, orta derinliklerde illit ve klorit görülmektedir. Benzer durum, Kanada-Qubec'teki deniz sedimanlarında görülmektedir (Berry ve Torrance, 1998).

4. MATERYAL VE YÖNTEM

Bu çalışmada Üç Eksen Jeoteknik Mühendislik Müşavirlik firma yardımcısıyla arazide farklı mahallelerde 15 sondaj kuyusu açılmıştır. Killi birimlerin ve yan kayaçlarının litolojileri irdelenmiş olup, toplam 65 örnek alınmıştır. Zemin sondaj makinesi olarak TSM – 500 marka rotary tipi makine kullanılmıştır (Şekil 4.1).



Şekil 4.1. Arazide zemin sondaj makinesi (TSM-500 Marka).

4.1. Deneysel Çalışmalar

Bu çalışma kapsamında yürütülen deney çalışmalar iki aşamada yapılmıştır. İlk aşamada arazide 15 adet sondaj açılarak 65 adet örselenmiş örnek alınmış, ikinci aşamada da bu örnekler üzerinde laboratuvar deneyleri gerçekleştirilmiştir.

Numunelerin tanımlanması ve sınıflaması amacıyla tane dağılımı, kıvam limitleri, ince tane yüzdesini belirlemek için hidrometri deneyleri yapılmıştır. Nununelerin jeokimyasal ve mikro yapıların değerlendirilmesine yönelik de X Işınları Difraktometre

(XRD) Çalışmaları, Diferansiyel Termal Analizi-Termal Gravimetri (DTA-TG) Analizi, FT-IR Spektroskopisi Analizi, Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM) çalışmaları yapılmıştır.

4.1.2. Elek analizi

Zemin malzemelerin tane boyu dağılımı, iyi derecelenmiş ve iyi derecelenmemiş için kullanmaktadır. Ayrıca zemin tanelerin (çakıl, kum, silt, kil) yüzde miktarlarının belirlenmesi; zeminin diğer mühendislik özellikleri hakkında da önemli bilgiler edinilmesini sağlamaktadır. İri elek çözümlemesi ve ince elek çözümlemesi diye iki evrede yapılır. Ayrıca kil ve silt boyu tanelerin saptanması için de yaş çözümleme (hidrometre) yapılır. Elek ve hidrometre çözümlemeleri sonucunda malzemeyi oluşturan değişik boylardaki tanelerin ağırlık olarak yüzde miktarları belirlenir ve logaritmik eksenine göre tane boyu ve yüzde elek altı ağırlıkları çizilir. Bu çözümlemeleri kullanılarak malzemeyi oluşturan çakıl, kum, silt ve kil miktarları belirlenip, değişik amaçlar için toprak sınıflanması yapılır. Zeminlerde ince ve iri taneli zeminler karışık bulunabileceği için tane çapı 76,2 mm ile 0,075 mm arasında olan kısım elek analiz ile yapılır ve çapları 0,075 mm den küçük olan zeminlerde ıslak analiz (hidrometre) yöntemi kullanılır (Şekil 4.2). Kullanılan standart örnek miktarı 400-500 gr gerekmektedir. Deneyde zeminin ağırlıklı olarak saptandığı için zeminin suyun hesaplaması da gerekir. Zeminin suyunu atılması için örneğin fırında kurutulması gerekmektedir. Örneğin nem içeriği bulunmak için 50 gr örnek alınarak fırında kurutulup, higroskopik nem düzeltme katsayısı hesaplanır.



Şekil 4.2. Elek türleri.

A. Zemin karıştırılarak ve bir süre beklenerek havada tamamen kurutulur ve 500 gr deney için alınır.

B. Numune 3, $1\frac{1}{2}$, $\frac{3}{4}$, $\frac{3}{8}$, 4, 10, 16, 40, 100, 200 no'lu elek takımına kollanılarak 15 dakika sallanır.

C. Sırasıyla önce 3 no'lu üstünde kalan numune elekle birlikte tarttırıp, elek ağırlığı çıkarılarak her bir elek üzerinde kalan ağırlık bulunur. Aynı işlemi dizilen diğer tüm elekler için de yapılır.

D. Sonra elek üzerinde kalan ağırlık, toplam örnek ağırlığından 500 gr çıkarılarak bu elekten gecen örnek ağırlığı bulunur ve % elek altı hesaplanır. Aynı işlem bütün elekler için tekrarlanır (Çizelge 4.1).

Çizelge4.1. Elek analiz çizelgesi

ElekNo.	**Delik Açıklığı(mm)**	**Elekte Üstü(g)**	**Geçen Ağırlık(g)**	**Geçen yüzdesi(%P)**	
3 in	75.000				
1 1/2 in	37.500				Çakıl yüzdesi (%)=
3/4 in	19.000				Kum yüzdesi (%)=
3/8 in	9.500				SiltveKilyüzdesi(%)=
No.4	4.750				
No.10	2.000				$Cu=D_{60}/D_{10}$
No.16	1.180				$Cc=D_{30}^{2}/D_{60}.D_{10}$
No.40	0.425				
No.10	0.150				
No.20	0.075				

4.1.3. Hidrometri analizi

Zeminlerin tane çapı 0,075mm den küçük (200 no'lu elekten geçen) zeminler için ıslak analiz (hidrometre) yapılır (Şekil 4.3). Hidrometre deneyi bu tür zeminlerin tane sınıflamasında yaygın olarak kullanılan bir deney yöntemi olup, esası Stokes' in yasasına dayanmaktadır.



Sekil 4.3. Hidrometri deney seti.

A. 200 no'lu altına geçen kil ve silt bir birinden ayrışmış durumda değildir. Ayırması için çözücü kullanılmaktadır.

B. Örneğin 50 gr ve 4 gr $(NaPO_3)_6$ içerisine dökülür ve çözelti karıştırıcı ile 15 dakika karıştırılıp 1000 ml'lik süspansiyon silindirine dökülür ve saf su ise 1000 ml'ye tamamlanır.

C. Sonra silindirin ağzına elin içi kapatılarak, 1 dakika süre ile çalkalanıp süspansiyon haline getirilip ve önceden silindir hazırlanmış olan 20°C'deki sabit sıcaklıktaki su içerisine yerleştirilir.

D. Bu işlemden sonra okuma işlemi yapılır; okumalar 1dk, 2dk, 4dk, 8dk, 15dk, 30dk, 1saat, 2 saat, 4 saat, 8 saat, 16 saat, 24 saat zamanlarında yapılarak hidrometre okumaları alınarak tabloda ilgili alanlar doldurulur (Çizelge 4.2).

Çizelge 4.2. Hidrometri analiz çizelgesi.

Numune No:						**Deneyi yapan:**					
Hidrometre No:						**Tarih:**					
MenisKüs Düzelmesi:						**Özgür Ağırlık (GS):**					
Deneye sokulan Numunenin kütlesi:						**Dağıtıcı Madde için Kullanılan Düzeltme (x):**					
Çökeltme silindiri No:						$P = \left(\frac{\mathrm{Gs}}{\mathrm{Gs}-1}\right) * \left(\frac{100}{\mathrm{Wo}}\right) * (R + M - Cd)$					
Tarih	Zaman	Sıcaklık	Geçen Süre	R’	Rh=R’+Cm	K( )	Etkin Derinlik L	$D=K\sqrt{\frac{L}{T}}$	Sıcaklık Düzelmesi	Rh+Mt+Cd	P

1. 2. ve 4. dakikalarda yapılan hidrometre okumalarında hidrometre süspansiyon silindirinden çıkarılarak bir sonraki okumaya kadar saf su ile dolu bir cam silindir içerisinde beklemektedir. Hidrometre okumalarının yapıldığı zamanda süspansiyonun sıcaklığı ölçülerek çizelgeye yazılır. Böylece belirli zamanlarda süspansiyon yoğunluk değişimleri ölçülüp, Stokes Yasası’na göre yüzde miktarları ve bu yüzde miktarlarına karşılık gelen tane çapları ile hesaplanmaktadır.

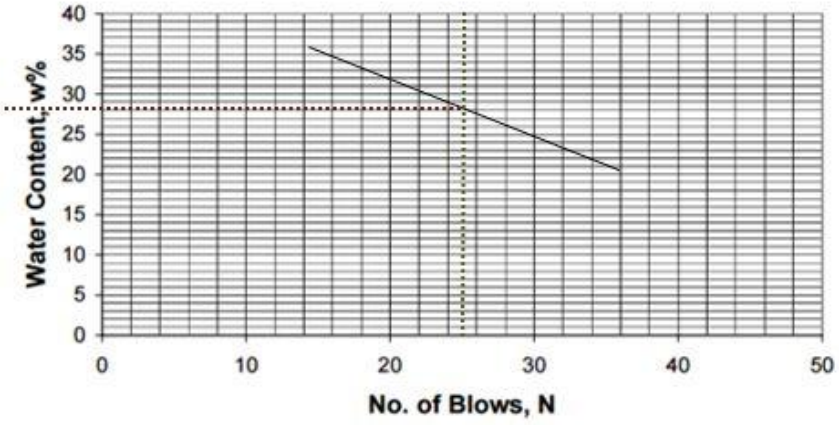
4.1.4. Likit limit analiz

Likit limit deneyi zeminlerin kıvam limitler durumlarının hesaplamak için kullanılmaktadır. Deneyde standart likit limit aletleri: Kasagrande aleti, bakkal küreği, spatula, porselen kap ve su kullanılmaktadır (Şekil 4.7).



Sekil 4.4. Likit Limit deney seti.

Deneyde kurutulmuş ve 40 no'lu elekten elenmiş malzeme kullanılır. İlk olarak kap içerisinde bir miktar malzeme dökülüp, yavaş yavaş su ilave edilir. Malzeme tamamen ıslanmalı, ısladıktan sonra yavaş yavaş karıştırılarak topaklanması önlenir. Bu işler malzeme tamamen kıvama gelene kadar devam edilir. Bu işlemden sonra malzemeden biraz alınarak ve tezgahın üzerinde oluşturulacaktır. Malzemenin üzerinde 1cm standartlık açma bıçağı ile yarık açılır ve kenarlarındaki zemin numunelerinin kalan kısımları eşit olarak düzeltilir. Saniyede Kasagrantla iki vuruş olacak şekilde yarık kapana kadar vuruş yapılır. Bu deneyden bir miktar su muhtevası hesaplanmak için alınır ve malzemede bir miktar daha su ilave edilir. Aynı işlem tekrar edilir, vuruş sayısı 25'e düşene kadar yapılır. Bu deney üç kez yapılır ve değerler bir grafik üzerine çizilir. Grafikte su muhtevası ve vuruş sayısı gösterilir ve ona göre likit limit hesaplanır (Şekil 4.8).



Sekil 4.5. Likit Limit Grafiği.

4.1.5. Plastik limit analizi

Bu işlemde zemin numunelerinin plastik kıvamdaki kohezyon ve plastisite durumları hesaplanır. Bu deneyde kap, cam plaka, terazi ve damıtık su dolu plastik pipet kullanılmaktadır. Kurutulmuş numuneden ve 40 no'lu elekten elemiş malzeme den biraz alınır ve su ilave ederek plastik kıvama gelene kadar yavaş yavaş karıştırılır. Misket boyutunda malzeme alınır, cam üzerinde yuvarlatılarak malzeme incelir. Bu incelme 3 mm'e geldiğinde malzemede çatlama oluyorsa gerekli miktarda bir kaba ıslak malzeme alınır ve su muhtevasını hesaplamak için 24 saat içerisinde fırında bekletilir. Fırından sonra kurutulmuş numuneden su muhtevası belirlenir.

4.1.6. X Işınları difraktometre (XRD) çalışmaları

Sondaj karotlarından alınan zemin örneklerinin, mineralojik açıdan irdelenmesi için X-ışınları difraktometre (XRD) analizleri MTA Genel Müdürlüğü'nde Rigaku-Geigerflex marka cihaz ile yapılmıştır. XRD analizlerinde CuKα radyasyon ve 8°/dak tarama hızı kullanılmıştır. Zemin örneklerinin normal ve detay çekimi yapılmıştır. Kil fraksiyonu öğütülerek <2 µm indirilmiştir. Detay çekimlerde yönlendirilmiş kil örneklerinin havada kurutulmuş, etilen glikolle 60ºC de 2 saat çözdürülmüş, 350ºC ve 550ºC de 2 saat ısı altında tutulmuş örneklerin çekimleri yapılmıştır.

4.1.7. Diferansiyel termal analizi-termal gravimetri (DTA-TG) analizi

Zemin örneklerinde kilce zengin fraksiyonlarının termal davranışlarını belirlemek amacıyla 1 adet örneğin Diferansiyel Termal Analiz-Termal Gravimetri (DTA-TG) analizleri Ortadoğu Teknik Üniversitesi'nde DTA-TG Rigaku TAS 100 E marka cihaz ile yaptırılmıştır. DTA-TG eğrileri, 10 mg toz kil örneğinin Pt örnek tutucuda ortalama ısıtma oranı 10°C dk^{-1} olarak alumina referansı ile elde edilmiştir.

4.1.8. Taramalı elektron mikroskobu (SEM) çalışmaları

Kilce zengin zemin örneklerinin morfolojik özelliklerini belirlemek için 1 adet örnek Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM) analizi Ortadoğu Teknik Üniversitesi'nde QUANTA 400F Field Emission marka cihaz ile yapılmıştır. Her bir kayaç örneğinin taze kırık yüzeyi çift yüzlü aliminyum örnek tutucuya konarak üzeri Giko iyon kaplayıcıyla ince bir film (350 Å) halindeki altınla kaplanmıştır.

4.1.9. FT-IR spektroskopisi analizi

FT-IR spektroskopisi analizi için 1 adet kilce zengin örnek öğütülüp, saf suda bekletilip, santrifrüjlenerek 90ºC lik etüvde kurutulmuştur. Hazırlanan örnekler KBr disk tekniği kullanılarak (~1 mg kil örneği ile ~200 mg KBr karıştırılarak) peletler hazırlanmıştır. Ortadoğu Teknik Üniversitesi Fizik Bölümü'nde bulunan PerkinElmer 100 FT-IR spektrofotometresi ile 4000-400 cm^{-1} aralığında infrared spektrumları çekilmiştir. Bu yöntemle absorbsiyon bantlarına bakılarak kil minerallerinin cinsi ve kristalinitesinin belirlenmesi tespit etmek amaçlanmaktadır.

4.1.10. Kimyasal analizler

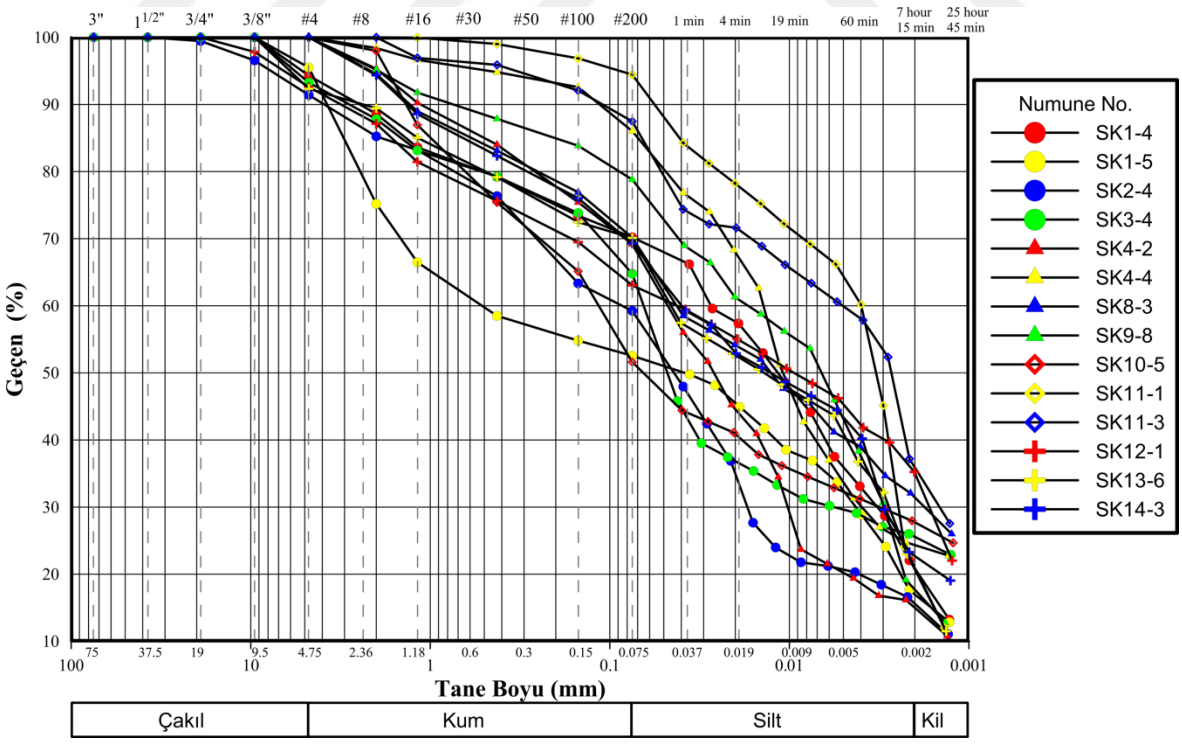
Jeokimyasal analizlerde 18 adet zemin örneklerinin majör oksitler için ICP-AES (Inductively Coupled Plasma Emission Spectrometry) iz ve nadir toprak elementler için ise ICP-MS (Inductively Coupled Plasma Mass Spectrometry) yöntemi kullanılarak Bureau Veritas Commodities Canada Ltd. (Kanada) yapılmıştır.

5. BULGULAR VE TARTIŞMA

Bu çalışma kapsamında yürütülen deneysel çalışmalar; öncelikle tanımlama ve sınıflama deneyleri üzerinde yoğunlaştırılmış; daha sonra, çalışmanın amacına yönelik olarak X Işınları Difraktometre (XRD) Çalışmaları, Diferansiyel Termal Analizi-Termal Gravimetri (DTA-TG) Analizi, FT-IR Spektroskopisi Analizi, Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM) deneyleri gerçekleştirilmiştir. Bu kapsamda, numunenin alınması, deneye hazırlanması ve deneylerin yapılmasında ASTM (1994) standart yöntemlerine uyulmuştur.

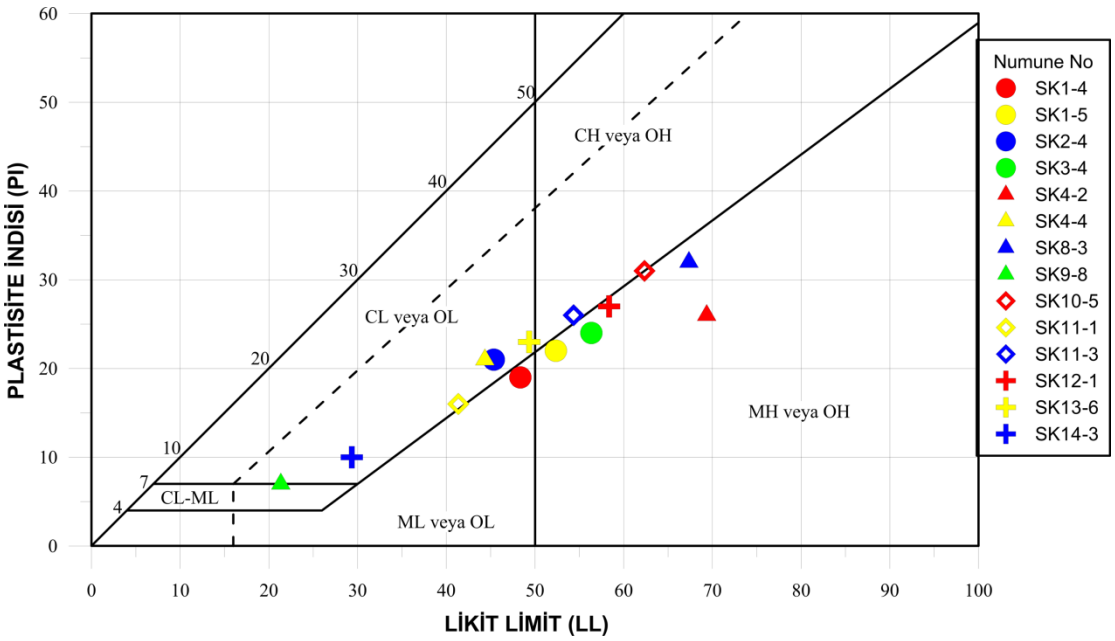
5.1. Jeoteknik Değerlendirme

Çalışmada kullanılan 14 doğal zemin numunelerinin özelliklerini belirlemek amacıyla elek analizi, hidrometri analizi ve kıvam limiti deneyleri yapılmıştır. Numunelere ait granülometri eğrileri Şekil 5.1'de sunulmaktadır.



Şekil 5.1. Numunelerin tane dağılım eğrileri.

Tanımlama deney sonucuna göre çakıl, kum, silt ve kil miktarlarının farklı olduğunu görülebilmektedir. SK1-4, SK8-3, SK9-8, SK11-1, SK11-3, SK12-1, SK13-6, SK14-3 ve SK4-4 numunelerinde ince (kil ve silt) miktarları fazlayken SK1-5, SK2-4, Sk4-2, SK10-5 ve SK3-4 numunelerinde ise iri (çakıl ve kum) miktarı daha fazladır. Çalışma alanındaki zemin örneklerinin plastisite kartı üzerindeki dağılımları Şekil 5.2'de sunulmaktadır.



Şekil 5.2. Numunelerin plastisite kartındaki yerleri.

Eskişehir bölgesindeki 14 zemin örneğinin mühendislik özelliklerinin belirlenmesi için yapılan laboratuvar deney sonuçları Çizelge 5.1'de sunulmaktadır. Birleştirilmiş zemin sınıflama sistemine (USGS) göre, inorganik siltler ve çok ince kumlar (ML), inorganik killer (CL), kumlu ve siltli killer (CL) olarak zeminler sınıflandırılmıştır. Yüksek silt içeriğine sahip örnekler, yüksek plastisite silt alanına düşmektedir. Benzer durum, Türkiye termal çamurları ve saf killerinde görülmektedir (Çelik Karakaya vd., 2017). Daha iri taneler (>2um) kuvars, kalsit ve feldspat birleşimlerine sahip olup çalışma alanındaki zeminlerinde baskındır. Düşük plastik limit değerine sahip olan örnekler, kil dışı (kuvars, kalsit ve feldispat) içermektedir. Daha ince fraksiyon (<2 µm) kil minerallerini özellikle montmorillonit, illit ve klorit oluşturmaktadır. İnce tane yüzdesi olarak tanımlanan 0.075 mm'den küçük boyutlarındaki silt ve kil miktarlarının 65-70% ila 80-94% arasında

değişmektedir. Hidrometri analizi sonucunda bulunan kil yüzdesi (<2 μm) değerleri de %16 ile %32 arasında değiştiği belirlenmiştir.

Çizelge 5.1. Numunelerin mühendislik özelliklerinin sonuçları.

NUMUNE NO.	DERİNLİK (m)	Ortalama Derinlik (m)	w_n (%)	Çakıl (%)	Kum (%)	İnce (%)	Silt (%)	Kil (%)	LL (%)	PL (%)	PI (%)	Aktivite, A	Zemin Sınfı
SK.1-4	3.00-3.45	3.22	-	6.00	24.00	70.00	48.00	22.00	49.0	30.0	19.0	0.86	ML
SK.1-5	1.50-1.95	1.72	-	4.00	43.00	53.00	35.00	18.00	53.0	31.0	22.0	1.22	MH
SK.2-4	4.50-4.95	4.72	20.1	9.00	32.00	59.00	42.00	17.00	46.0	25.0	21.0	1.24	CL
SK.3-4	1.50-1.95	1.72	20.1	7.00	27.50	65.50	39.50	26.00	57.0	33.0	24.0	0.92	MH
SK.4-2	7.50-7.95	7.72	21.5	0.00	31.00	69.00	53.00	16.00	70.0	44.0	26.0	1.63	MH
SK.4-4	4.50-4.95	4.72	21.0	0.00	14.00	86.00	61.00	25.00	45.0	24.0	21.0	0.84	CL
SK.8-3	6.00-6.45	6.22	20.0	0.00	30.00	70.00	38.00	32.00	68.0	36.0	32.0	1.00	MH
SK.9-8	1.50-1.95	1.72	22.6	0.00	21.00	79.00	60.00	19.00	22.0	15.0	7.0	0.37	CL
SK.10-5	3.00-3.45	3.22	-	0.00	48.00	52.00	24.00	28.00	63.0	32.0	31.0	1.11	CH
SK.11-1	12.-12.45	12.22	-	0.00	6.00	94.00	70.00	24.00	42.0	26.0	16.0	0.67	CL
SK.11-3	9.00-9.45	9.22	-	0.00	13.00	87.00	50.00	37.00	55.0	29.0	26.0	0.70	CH
SK.12-1	6.00-6.45	6.22	20.4	7.00	30.00	63.00	28.00	35.00	59.0	32.0	27.0	0.77	CH
SK.13-6	1.50-1.95	1.72	-	8.0	22.0	70.0	47.0	23.0	50.0	27.0	23.0	1.00	CH
SK.14-3	4.50-4.95	4.72	20.8	0.00	31.00	69.00	46.00	23.00	30.0	20.0	10.0	0.43	CL

Likit limit (LL) değerleri oldukça değişkendir. Burada ortalama %42-53, bazı yerlerde düşük (%22-30) ve bazı yerlerde yüksek (%55-70) değerler elde edilmiştir. Genel olarak inceleme alanının morfolojine bağlı olarak farklı Likit limit değerleri gözlenmiştir. Laboratuvar sonuçları gösteriyor ki, her morfolojik birimdeki likit limit değerlerinin küçük varyasyonları vardır fakat her zemin örneğinde bulunan farklı kimyasal bileşim ve kil mineral türleri nedeniyle farklı morfolojik bölgelerdeki geniş varyasyonlar mevcuttur.

Plastik limit (PL) değerleri %15 ile %44 arasında değişmiştir. Plastik limit değerlerinin değişimi, kimyasal ve mineralojik bileşimle ilişkilidir. Montmorillonit ve illitin plastik limitlerinin daha yüksek, buna karşılık kaolinitlerin genellikle daha düşük değerlere sahip olduğu bilinmektedir (Grim, 1962).

Plastisite indeksi (PI), likit ve plastik limit arasındaki farktır. Mühendislik sınıflandırma sistemlerinde yaygın olarak kullanılan zeminin plastisite indeksini (PI) vurgulamak önemlidir. Zemin örneğinin şişme potansiyelinin göstergesi olarak kullanılır.

Kil muhtevası ile kıvam limitleri; "aktivite" (Ac) olarak ifade edilen bir tek parametrede birleştirilmiştir. Bu büyüklük; "plastisite indisinin, ağırlıkça 2.0 μm'den küçük tanelerin yüzdesine bölümüyle bulunan oran" olarak tanımlanır (Eşitlik 1).

$$Aktivite(A_c) = \frac{Plastisite\ İndisi(PI)}{Ağırlıkça\ Kil\ Yüzdesi(< 0.002mm)} \quad \text{.....[1]}$$

Ac < 0.75 ise düşük aktiviteli

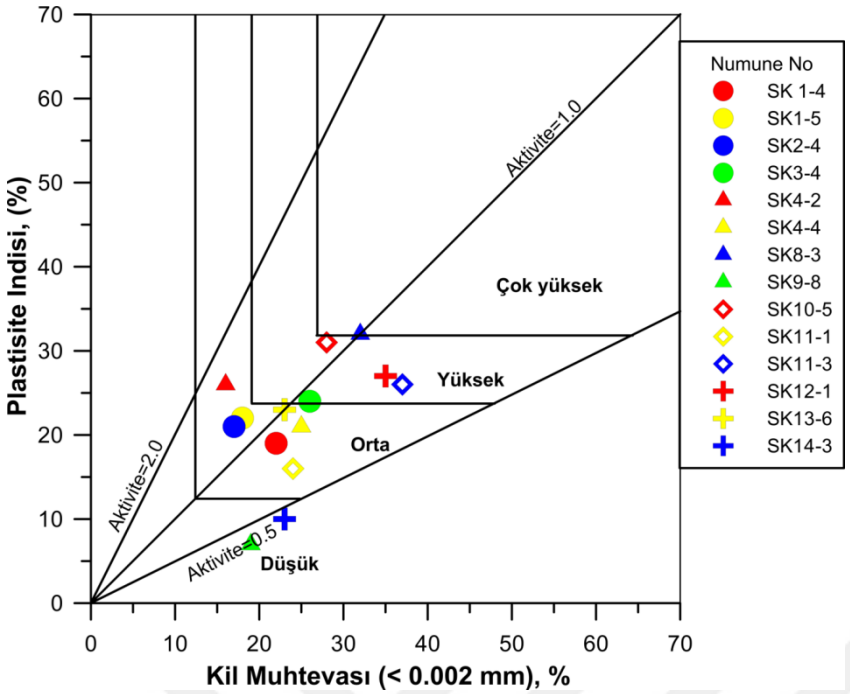
0.75< Ac <1.25 normal aktiviteli

Ac> 1.25 yüksek aktiviteli (aktif kil)

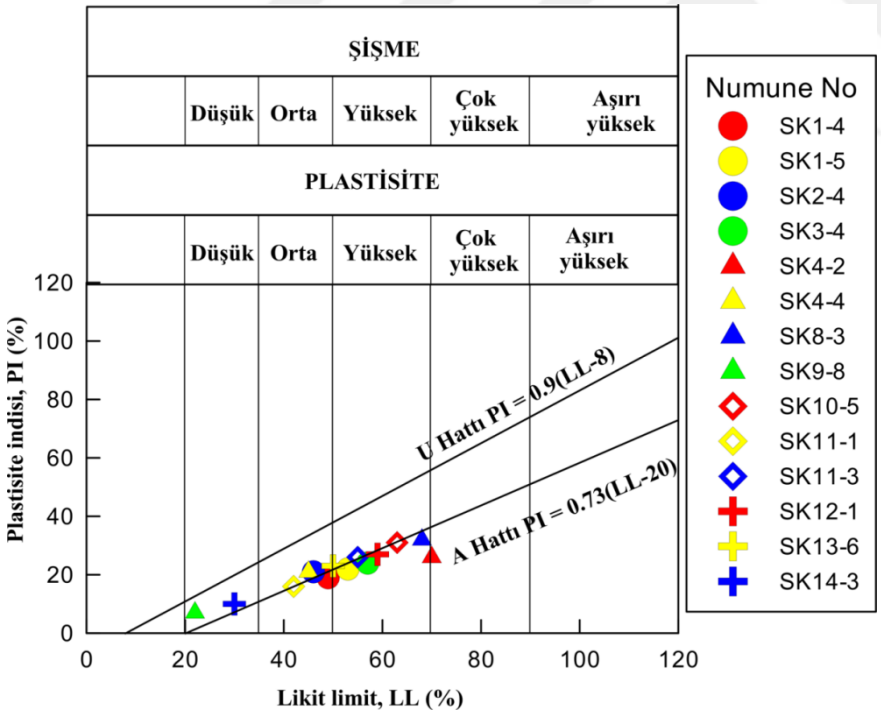
Aktivite değeri 1.25'ten büyük killer "aktif kil" olarak değerlendirilir ve şişme potansiyelleri oldukça yüksektir (Nelson ve Debora, 1992).

Plastisite indisine bağlı olarak (Van Der Merve, 1964), şişme yüzdesinin tahmini için görülen aktivite kartını önermiştir (Şekil 5.3). Zemin şişme potansiyeli üzerinde kil muhtevasının etkisi kil minerallerindeki yoğun pozitif yük eksikliği ile dolaylı olarak ilişkilendirilir. Şişme potansiyelinin değerlendirilmesinde kil muhtevasının kullanımı örneklenmektedir (Şekil 5.3).

Numunelerin plastisite indisi ve kil muhtevasına bağlı şişme potansiyeline yaklaşımda bulunulduğu aktivite kartına göre numunelerin düşük ve çok yüksek aralıkta değişen şişme özelliğine sahip oldukları Şekil 5.3'de görülmektedir. Diğer bir ifadeyle; SK8-3, SK10-5, SK12-1, SK11-3 numunelerinde çok yüksek-yüksek şişme potansiyeli, SK1-4, SK1-5, SK2-4, SK3-4, SK4-2, SK4-4, SK13-6 ve SK11-1 numunelerinde orta ve SK9-8 ve SK14-3 numunelerinde de düşük şişme potansiyeli varlığı görülmektedir.



Şekil 5.3. Şişme potansiyelinin tahmini (Van Der Merve, 1964).



Şekil 5.4. Dönüştürülmüş plastisite kartı (Daksanamurty ve Raman, 1973)

Numunelerin dönüştürülmüş plastisite kartına göre de aktivite kartında görülen duruma benzer fakat daha çok sayıda numunede yüksek şişme potansiyelerine sahip oldukları görülebilmektedir (Şekil 5.4). Bu durumun nedeni olarak; zeminin üç fazlı bir

malzeme oluşu ve tüm değişkenlerinin aynı anda kontrolünün mümkün olmayışı ve dolayısıyla mevcut olan belirsizliklerin şişme potansiyelinin değerlendirilmesinde farklılara sebep olması olarak değerlendirilmiştir.

Genel olarak numunelerin sahip oldukları kil muhtevaları değerlendirildiğinde, %16 ile %37 arasında değiştiği ve ortalamanın %24,6 olduğu belirlenmiştir. Numunelerin kil içerikleri dar bir aralıkta değişmesine rağmen şişme potansiyellerinin değerlendirildiği kartlarda farklılıklar sergilemiştir. Kil muhtevasına ilaveten belki de en önemli özellik kilin ihtiva ettiği kil mineral muhtevası ve türü olduğudur.

5.2. Mineralojik ve Kimyasal Değerlendirme

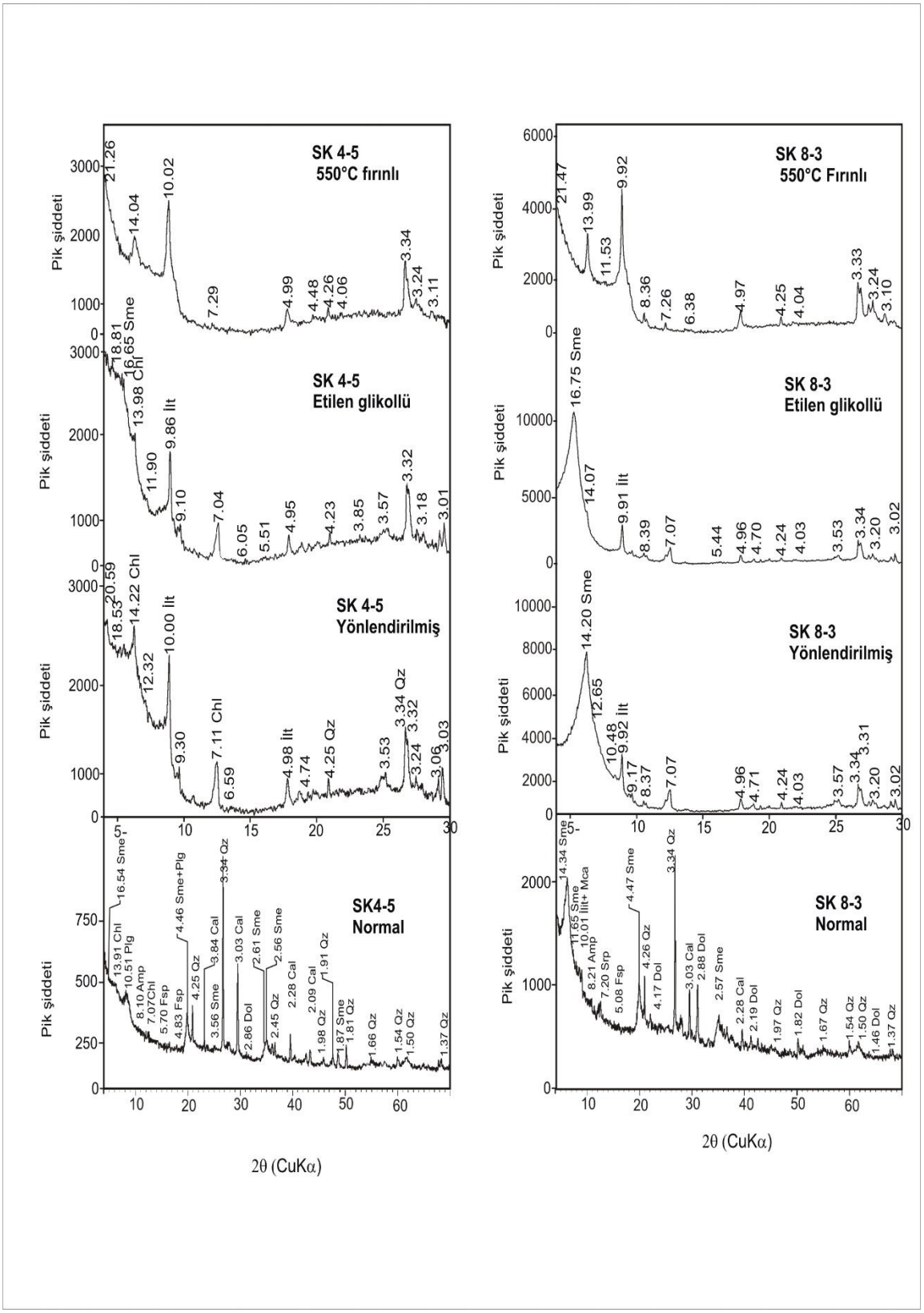
5.2.1. X ışınları difraktometresi (XRD) incelemeleri

Kilce zengin karot örneklerinin X-ışını kırınım testi sonuçlarının değerleri Çizelge 5.2'de sunulmuştur. Eskişehir bölgesinin mineralojik bileşimine göre ağırlıklı olarak smektit, bunu klorit, illit ve paligorskit mineralleri izlemektedir (Çizelge 5.2; Şekil 5.5). Kil dışı mineraller olarak, kalsit, dolomit, feldispat, kuvars ve amfibol mineralleri yer almaktadır. Çalışılan örneklerde smektit miktarı bölgelere göre değişim göstermektedir. Eskişehir bölgesinde smektit %10-65, klorit %8-15 olarak killi topraklarda daha fazla ve suya karşı çok hassasiyet göstermektedir (Çizelge 5.2). Paligorskit ise Zincirlikkuyu, Mamuca, Kurtuluş ve Kırmızıtoprak mahallerinde ve %8-15 aralığında değişim göstermektedir. Ayrıca şişebilen kil minerallerinin yüzeye yakın derinliklerde artması, bozunmayla alterasyonun da baskın olduğunu göstermektedir (Berry ve Torrance, 1998). 14.07-16.54 Å d_{001} yansıması smektit olduğunu göstermektedir. Bu pikler etilen glikolle muamele sonucunda 16.72-18.81 Å'a genişler. Bu yansımanın 550ºC'ye ısıtılmasıyla 9.89-10.08 Å'a çökmektedir (Şekil 5.5). Klorit, 13.91-14.2 Å, 7.07-7.11 Å, 3.53 Å pikleriyle, paligorskit ise 10.51 Å pikiyle tanımlanmıştır. İllit ise 9.95-10.05 ve 5.08 Å yansımaları vermiştir.

Çizelge 5.2. Eskişehir SPT sondajlarından alınan örneklerin mineralojik bileşimi.

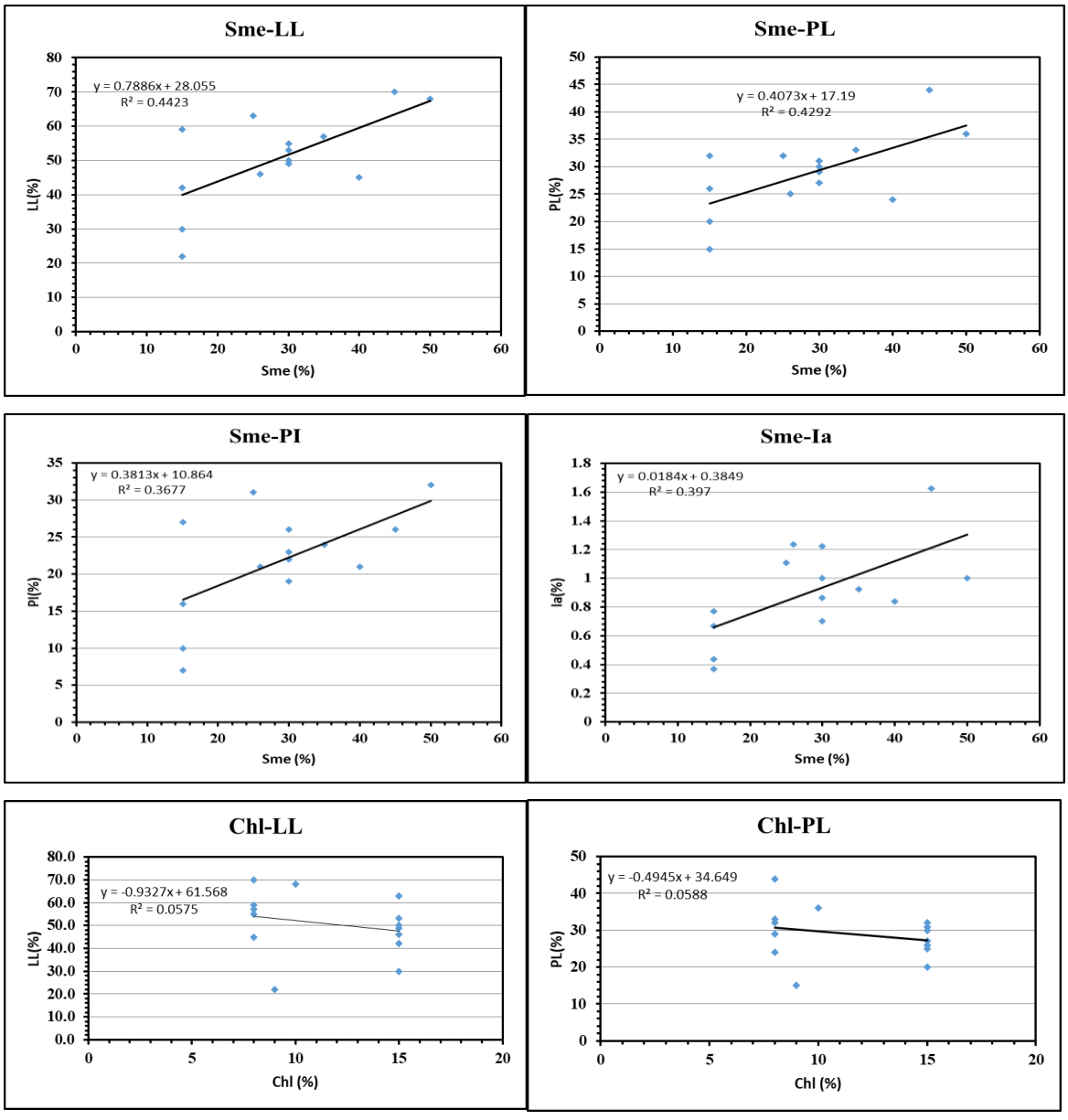
	Sme	**Chl**	**Ill/Mca**	**Plg**	**Cal**	**Dol**	**Fsp**	**Qz**	**Amp**
SK1-4	++	+	+		acc	acc	acc	+	acc
SK1-5	++	+	acc		acc	acc	acc	+	acc
SK2-6	++	+	+		+	acc	acc	+	acc
SK3-4	+++	acc	+		+		+	+	acc
SK4-2	+++	acc	acc		acc		acc	+	acc
SK4-4	+++	acc	acc		+		acc	+	acc
SK4-5	++	acc	+	+	+		acc	+	acc
SK6-1	+++	+	+		acc		+	+	
SK7-1	+	acc	+	acc	+	acc	acc	+	
SK7-2	++	+	acc	acc	+	acc	acc	+	
SK8-3	++++	+	acc		acc	acc	acc	+	acc
SK8-6	++++	+	+		acc	acc	acc	+	acc
SK9-3	++++					+	+	acc	
SK9-4	acc	acc			+	+++		acc	
SK9-8	+	acc	acc	acc	++	+	acc	+	
SK10-3	+++	+	acc	acc	+	acc	acc	+	acc
SK10-5	++	+	acc	+	acc	acc	acc	+	acc
SK11-1	+	acc	+	+	+		acc	+	acc
SK11-3	++		+	+	+		acc	+	
SK11-5	++	acc		+	+		acc	+	acc
SK12-1	+	acc	+	+	+		acc	+	
SK12-4	+	+	+	acc	+		acc	++	
SK13-5	++	+	acc	acc	+	acc	acc	+	acc
SK13-6	++	+	acc		acc	acc	+	+	acc
SK14-3	+	acc	+	+	+	+	acc	+	acc
SK15-4	++	+	+		acc	acc	+	+	acc

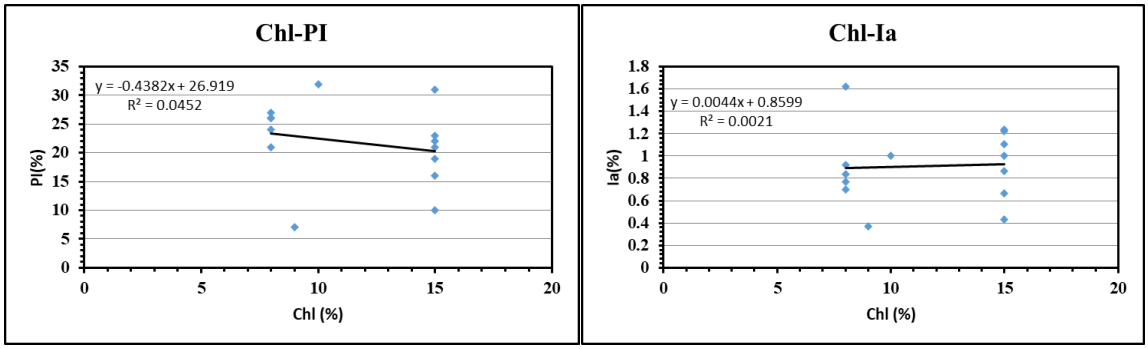
Sme: smektit, Chl: klorit, Ilt/mca: illite/mica, Plg: paligorskit, Cal: kalsit, Dol: dolomit, Fsp: feldispat, Qz: kuvars, Amp: amfibol, acc: aksesuar, +: mineral bollulk oranı (mineral adlarının kısaltmaları (Whitney ve Evans, 2010'a göre düzenlenmiştir).+: %10-30; acc: ±%10.



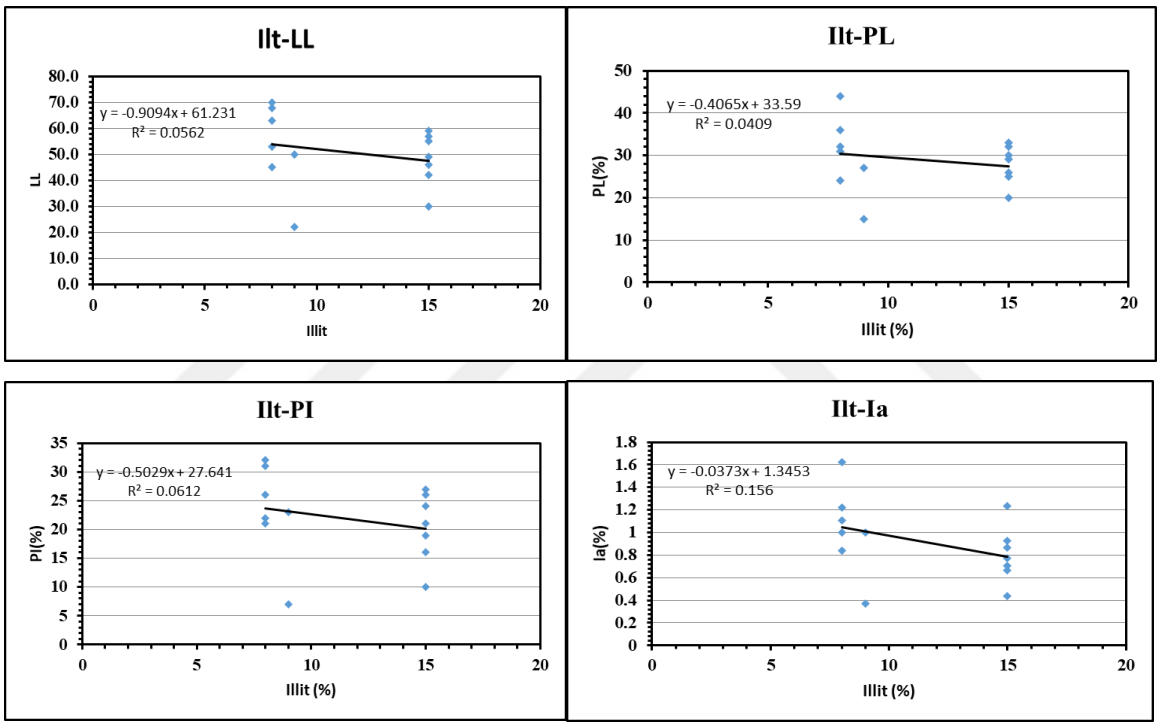
Şekil 5.5. XRD determinasyonlarının difraktogramı. Kısaltmalar için Çizelge 5.1'in açıklamalarına bakınız.

Smektit (montmorillonit), klorit ve illit gibi kil mineralleri, fiziksel-mekanik özellikleri etkilemektedir. Smektit içeriğinin artmasıyla LL, PL, PI ve I_a değerleri artmaktadır (Şekil 5.6). Smektit (LL r^2=0.44, PL r^2=0.43, PI r^2=0.37ve Ia r^2=0.40), klorit (LL r^2=0.06, PL r^2=0.06, PI r^2=0.05 ve Ia r^2=0.002) ve illit (LL r^2=0.06, PL r^2=0.04, PI r^2=0.06 ve Ia r^2=0.16) korelasyon değerleri göstermektedir. Eskişehir bölgesinden alınan zemin örneklerinde hakim olan kil mineral tipinin smektit olması ve daha az orandaki illit içermesine bağlı olarak, zeminlerin jeoteknik özelliklerinde düşüş ve nihayetinde üzerine inşa edilen mühendislik yapılarında sorunlara yol açabileceği düşünülmektedir. Benzer durum Albania-Tirana alanındaki kohezif zeminlerinde de gözlenmiştir (Muceku ve Lazo, 2013).





Şekil 5.6. Kil minerallerinin (smektit, klorit, illit) ve jeoteknik özelliklerinin arasındaki ilişkiler.Sme: Smektit, Chl: Klorit, Ilt: illit.

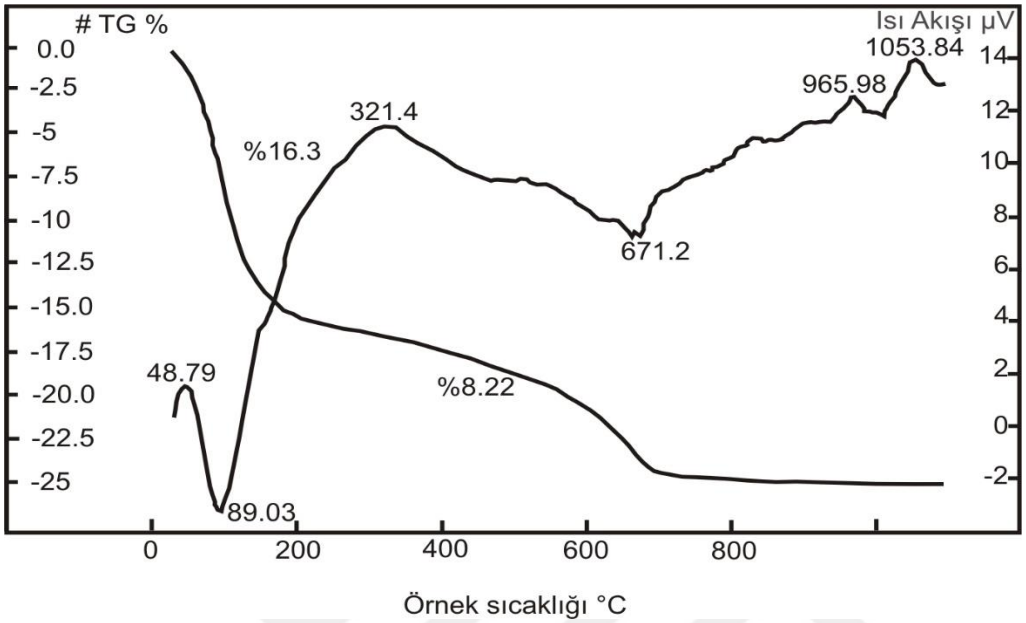


Şekil 5.6. Kil minerallerinin (smektit, klorit, illit) ve jeoteknik özelliklerinin arasındaki ilişkiler Devamı.

5.2.2. Diferansiyel termal analizi-termal gravimetri (DTA-TG)

Eskişehir bölgesindeki Saflaştırılmış SK 9-3 nolu smektit örneği üç endotermik pike sahiptir. Birinci endotermik piki 89°C (ağırlık kaybı %16.3), ikinci endotermik piki 671°C (ağırlık kaybı %8.22), üçüncü endotermik pikini de 970°C'de vermektedir (Şekil 5.7). Birinci endotermik pik yapısındaki adsorbe suyu, ikincisi yapraklar arası suyu, üçüncüsü ise yapıdaki suyun kaybolması anlamına gelmektedir (Yalçın ve Karslı, 1998; Földvári, 2011). Eksotermik pikleri de 965 ve 1053°C vermektedir ve kordiyerit, müllit,

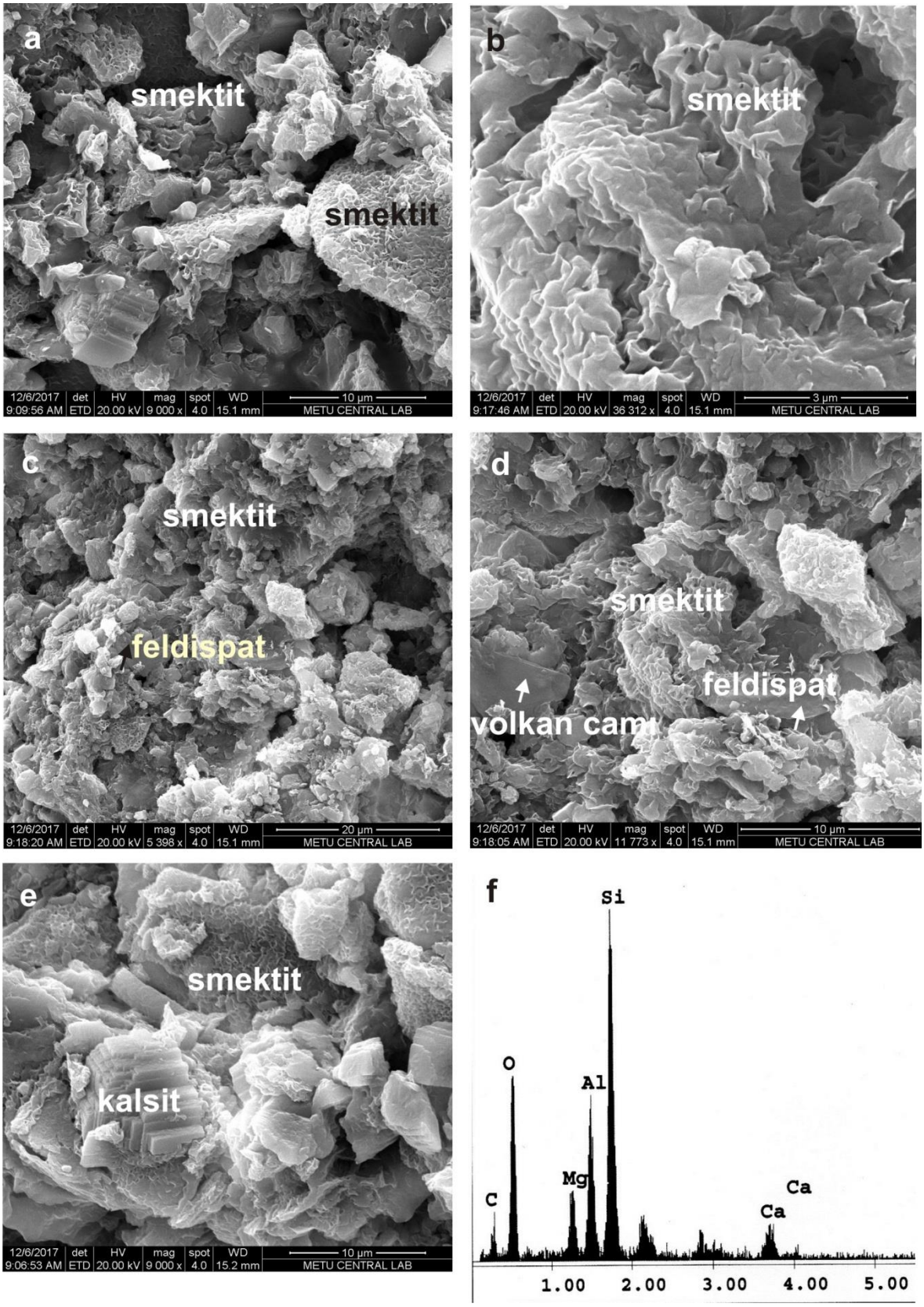
Mg-spinel, kuvars ve kristobalit kristalleşmesini göstermektedir (Földvári, 2011). Toplam ağırlık kaybı %24.52 dir.



Şekil 5.7. Eskişehir bölgesindeki SK 9-3 nolu smektit örneğine ait DTA-TG eğrisi.

5.2.3. SEM analizi

Eskişehir bölgesinde Pliyosen yaşlı çamurtaşlarından alınan örneklerde yapılan elektron mikroskopu (SEM) çalışmalarında baskın kil minerali smektit olarak saptanmıştır. Smektitler, bal peteği görüntüsünde olup, detritik karakteridedir. Benzer durum, Kadir vd., (2017) tarafından rapor edilmiştir (Şekil 5.8a,b). Feldispat ve volkan camı üzerindeki smektit oluşumları, feldispat ve volkan camından itibaren bozunarak geliştiğini göstermektedir (Şekil 5.8c,d). Smektitler, özşekilli kalsit kristalleri ile ilişkili olarak, daha çok gözenekli bir şekilde bulunmaktadır(Şekil 5.8e). Çamurtaşlarının gözeneklerinde dolaşan, vadoz zonundaki suların feldispat ve volkan camının alterasyonuyla açığa çıkan Ca yüzeye yakın seviyelerde kalsitin çökelimine yol açmaktadır (Kadir vd. 2018). EDX analizinde Si, Al, Mg ve az oranda Ca pikleri, smektitleri yansıtmaktadır (Şekil 5.8f). Smektitlerin bu gözenekli ve geçirimli mikromorfolojik yapısı, mühendislik yapılarında da sorunlara yol açmaktadır.

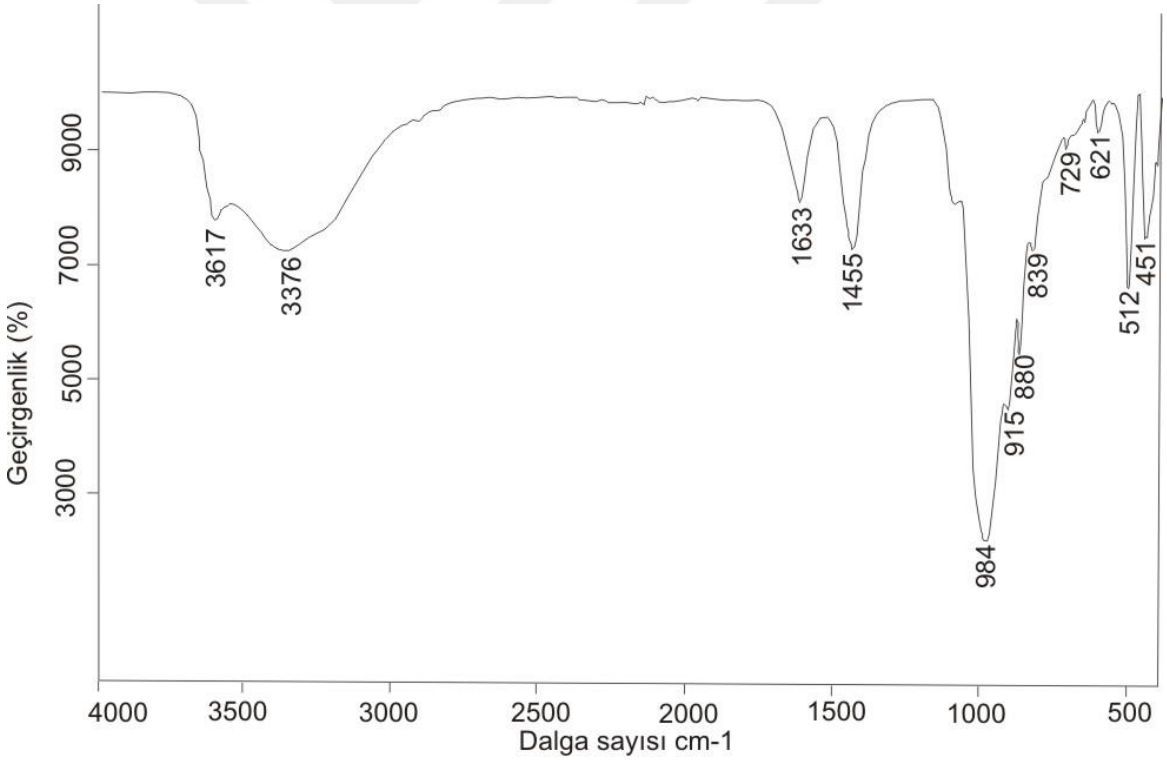


Şekil 5.8. Eskişehir bölgesindeki sedimanlardaki smektitlerin SEM'deki görüntüsü: a- b) bal peteği ve mısır gevreği şeklinde smektitler, c-e: smektitlerin feldispat, volkan camı ve kalsit ile ilişkisi, f) smektitin EDX analizi.

5.2.4. FT-IR spektroskopisi analizi

Eskişehir saflaştırılmış SK 9-3 nolu smektit örneği 3617 cm^{-1} deki dar ve 3376 cm^{-1} daki geniş absorbsiyon bandları sırasıyla tabakalararası AlOHMg-gerilme titreşimini ve higroskopik H_2O'yu tanımlar (Farmer 1974, De Santiago Buey 2000, Zviagina et al. 2004) (Şekil 5.9). Su moleküllerinin titreşimi tek bir absorbsiyon bandında (1633 cm^{-1}) görülmektedir (De Santiago Buey 2000).

Dahili hidroksil gruplarına ait 915 cm^{-1} (AlAlOH) ve 839 cm^{-1} (AlMgOH)OH-bükülme titreşimleri oktahedral katmandaki Al ile Mg'un kısmi yerdeğiştirmesini göstermektedir (Madejová et al. 2002, Dudek et al. 2007). 512 ve 451 cm^{-1}'de görülen Al-O-Si ve Si-O-Si titreşimleri montmorillonit için tipiktir (Madejová et al. 2002).



Şekil 5.9. Eskişehir smektitini temsil eden IR spektrumu.

5.2.5. Kimyasal analizler

Kohezyonlu zeminlerin kimyasal bileşenlerini oluşturan ana oksitler (CaO, Fe_2O_3, MgO, Al_2O_3, SiO_2, Na_2O, K_2O) fiziksel, zemin mekaniği özelliklerinde önemli bir rol oynamaktadır. Eskişehir bölgesinden alınan 18 adet karot örneğinin kimyasal bileşimleri Çizelge 5.3'de verilmiştir. Smektitçe zengin sedimanlarda (SK 11-3, SK 9-3, SK 6-1, SK 8-3, SK 8-6, SK 3-4, SK 2-6, SK 4-2) SiO_2 % 48.66-61.93, Al_2O_3 % 12.07-15.00, Fe_2O_3 % 1.5-6.95, MgO % 1.73-6.76 ve K_2O %1.08-2.94 değerler arasında değişmesi smektit içeriğini yansıtmakta ve mineralojisiyle de uyuşmaktadır (Çizelge 5.2).

Çizelge 5.3. Eskişehir bölgesindeki kohezyonlu zeminlerde kimyasal bileşimi.

	Odunpazarı - Mamuca					Odunpazarı Kurtuluş		Odunpazarı KırmızıToprak		Odunpazarı Yıldıztepe
Major oksit (%ağırlık)	**SK 11-1**	**SK 11-3**	**SK 9-3**	**SK 9-8**	**SK 6-1**	**SK 8-3**	**SK 8-6**	**SK 10-3**	**SK 10-5**	**SK 3-4**
SiO_2	47.82	51.42	48.89	22.19	61.93	48.66	49.74	48.83	50.80	56.20
Al_2O_3	11.18	12.31	14.31	5.13	15.00	12.73	13.20	10.92	11.58	12.76
Fe_2O_3	5.01	5.49	1.50	2.27	4.62	6.95	6.81	5.93	6.36	3.54
MgO	3.04	3.45	6.76	7.46	1.89	6.73	6.05	7.01	7.28	1.73
CaO	11.33	7.44	4.56	27.76	2.55	4.71	4.30	7.19	4.81	8.80
Na_2O	0.40	0.45	0.42	0.15	1.16	0.51	0.52	0.72	0.62	1.25
K_2O	1.67	1.74	1.08	0.69	2.94	1.62	1.78	1.67	1.78	2.42
TiO_2	0.56	0.63	0.08	0.26	0.39	0.54	0.56	0.52	0.53	0.32
P_2O_5	0.03	0.05	0.02	0.03	0.06	0.06	0.07	0.07	0.07	0.06
MnO	0.13	0.12	0.10	0.05	0.09	0.09	0.09	0.11	0.09	0.16
Cr_2O_3	0.057	0.057	0.005	0.020	0.008	0.072	0.063	0.099	0.101	0.003
TOT/S	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02
TOT/C	2.48	1.57	1.84	8.61	0.31	1.57	1.56	2.05	1.37	1.85
LOI	18.6	16.7	22.1	33.8	9.1	17.0	16.5	16.6	15.7	12.5
Total	99.85	99.85	99.82	99.79	99.82	99.79	99.80	99.79	99.79	99.84
CIW										
İz Elementler (ppm)										
Ba	289	257	107	152	741	303	339	348	321	681
Be	1	1	3	<1	<1	3	1	4	2	2
Co	23.7	23.2	4.8	11.7	10.4	44.5	38.0	36.7	38.4	8.2
Cs	20.2	22.0	13.1	12.2	3.9	35.8	37.3	28.4	33.7	2.2
Ga	11.1	12.7	12.1	4.2	13.2	12.6	12.9	10.8	11.4	10.5
Hf	4.2	4.1	5.1	1.7	4.0	3.3	3.4	3.5	3.7	2.9
Nb	13.2	14.5	26.0	5.9	8.1	13.7	14.8	12.9	13.2	6.3
Rb	109.4	116.1	40.4	47.3	108.9	112.4	124.9	105.0	120.9	83.9
Sn	2	2	10	1	2	2	3	2	2	1
Sr	174.4	180.4	205.8	405.3	408.3	137.8	137.5	180.6	157.3	468.7
Ta	0.8	1.1	4.7	0.5	0.7	1.1	1.3	0.9	1.0	0.6
Th	11.8	13.1	43.6	5.8	14.5	12.3	13.6	11.9	12.8	9.6
U	1.7	1.9	2.0	3.8	3.5	1.9	1.8	2.2	2.0	4.1
V	76	79	30	42	83	101	103	87	87	80
W	1.7	1.6	0.7	1.7	1.6	2.1	2.4	2.1	2.1	4.7
Zr	157.2	153.7	108.3	64.9	147.8	111.3	112.6	126.9	133.5	115.8
Y	20.5	19.8	6.2	9.1	13.1	19.1	20.6	19.8	19.9	13.5
La	29.6	30.6	9.0	13.6	31.8	27.1	28.7	25.4	27.6	31.3
Ce	55.3	64.9	35.3	27.5	79.9	50.5	54.2	48.7	51.9	57.2
Pr	6.47	6.22	2.15	2.98	6.26	5.68	6.02	5.29	5.74	5.94
Nd	23.7	22.9	7.4	11.2	21.5	20.9	21.1	20.0	20.7	21.4
Sm	4.53	4.19	1.78	2.09	3.63	4.05	4.00	3.72	4.07	3.55
Eu	0.98	0.96	0.16	0.48	0.96	0.81	0.86	0.85	0.85	0.92
Gd	4.23	4.01	1.56	1.98	2.99	3.98	3.89	3.60	3.96	2.92
Tb	0.64	0.61	0.25	0.30	0.41	0.58	0.62	0.57	0.59	0.40
Dy	3.71	3.61	1.48	1.70	2.43	3.42	3.51	3.55	3.68	2.32
Ho	0.74	0.72	0.26	0.36	0.48	0.73	0.76	0.69	0.70	0.47
Er	2.14	2.13	0.77	1.01	1.41	2.02	2.18	2.08	2.05	1.36
Tm	0.29	0.31	0.11	1.14	0.22	0.30	0.30	0.29	0.28	0.19
Yb	1.89	1.93	0.86	0.89	1.51	1.90	2.03	1.89	1.86	1.41
Lu	0.31	0.30	0.13	0.13	0.25	0.31	0.30	0.30	0.29	0.20
Pb	21.1	21.4	38.1	9.2	68.5	24.2	24.8	20.4	23.6	37.6
Zn	45	49	24	25	166	58	62	49	58	83
Ni	217.7	197.0	129.5	81.9	28.0	522.4	471.7	451.3	532.8	16.2
Au (ppb)	1.8	<0.5	<0.5	2.1	1.6	18.7	8.6	2.5	1.9	6.1
Ag	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	0.2	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1
Mo	0.2	0.2	<0.1	0.4	2.2	0.2	0.2	0.4	0.2	1.8
Cu	26.1	27.3	34.1	14.1	116.2	36.6	36.3	28.6	31.2	68.0
As	8.3	7.0	0.8	4.9	5.0	21.1	18.0	14.4	12.4	4.3
Cd	0.2	0.1	<0.1	0.2	0.2	0.2	0.1	0.1	0.1	0.6
Sb	0.2	0.1	0.3	0.5	0.2	0.8	0.8	0.6	0.6	0.1
Bi	0.3	0.3	1.3	0.1	0.8	0.3	0.4	0.3	0.4	0.6
Hg	0.02	<0.01	<0.01	0.01	0.01	0.10	0.09	0.06	0.02	<0.01
Tl	0.5	0.4	0.7	0.2	0.3	0.8	0.8	0.6	0.6	0.2
Se	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5

Çizelge 5.4. Eskişehir bölgesindeki kohezyonlu zeminlerde kimyasal bileşimi devamı.

Odunpazarı-Osmangazi		Gökmeydan	Tepebaşı-Tunalı			Tepebaşı-Zincirlikkuyu		Tepebaşı-Çamlıca
Major oksit (%ağırlık)	**SK 13-6**	**SK 14-3**	**SK 1-4**	**SK 1-5**	**SK 2-6**	**SK 4-2**	**SK 4-4**	**SK 12-1**
SiO_2	51.07	34.24	52.32	50.07	49.26	60.15	47.55	62.11
Al_2O_3	9.89	6.05	10.87	10.53	12.07	12.69	11.28	6.04
Fe_2O_3	6.50	2.77	5.26	5.79	6.34	4.57	4.59	3.46
MgO	6.44	7.88	6.09	6.79	6.39	3.23	3.34	3.97
CaO	7.41	19.46	7.18	7.67	6.78	4.04	11.73	7.98
Na_2O	1.21	0.43	1.11	0.90	0.69	1.04	0.53	0.24
K_2O	1.86	1.06	1.75	1.59	1.79	2.08	1.70	1.06
TiO_2	0.43	0.33	0.51	0.53	0.57	0.50	0.49	0.27
P_2O_5	0.15	0.06	0.08	0.08	0.07	0.06	0.05	0.03
MnO	0.11	0.18	0.10	0.14	0.15	0.08	0.09	0.32
Cr_2O_3	0.172	0.089	0.115	0.097	0.079	0.115	0.076	0.016
TOT/S	0.07	<0.02	0.02	0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02
TOT/C	3.15	6.22	2.04	2.35	1.92	0.85	2.72	1.90
LOI	14.3	27.1	14.3	15.5	15.5	11.2	18.3	14.2
Total	99.64	99.73	99.81	99.80	99.80	99.84	99.86	99.90
CIW								
İz Elementler (ppm)								
Ba	398	360	361	355	407	527	403	198
Be	3	<1	2	2	4	2	<1	<1
Co	31.4	17.2	29.2	41.1	41.4	26.4	23.8	18.1
Cs	17.9	13.8	21.5	23.9	28.1	23.1	26.2	15.8
Ga	9.1	5.2	9.8	9.9	12.2	12.0	10.5	5.8
Hf	3.3	3.7	4.0	3.3	3.5	5.3	4.0	2.0
Nb	11.6	8.0	12.6	12.1	13.9	17.2	16.3	8.2
Rb	91.6	67.7	94.1	87.4	105.1	113.1	109.3	69.5
Sn	745	2	2	2	2	3	2	1
Sr	189.9	698.0	171.8	164.3	165.2	193.7	170.4	64.6
Ta	1.0	0.6	1.1	1.0	1.1	1.6	1.3	0.7
Th	10.8	7.6	11.1	10.3	12.8	17.8	14.0	8.5
U	7.4	4.4	2.8	2.4	2.3	3.1	2.3	1.2
V	91	55	88	90	99	63	63	46
W	2.2	1.4	2.3	2.3	2.2	2.1	2.0	1.8
Zr	115.0	139.0	146.4	125.5	125.3	195.8	140.0	73.9
Y	17.7	14.3	20.8	19.5	21.1	19.6	18.8	8.1
La	23.7	21.8	25.9	24.8	28.4	35.9	29.2	18.6
Ce	42.5	39.0	47.9	47.6	54.4	61.8	56.4	40.7
Pr	4.78	4.48	5.42	5.24	5.98	6.82	5.90	3.34
Nd	17.3	16.6	19.7	18.8	22.5	24.1	21.3	11.3
Sm	3.28	3.05	3.86	3.79	3.96	4.33	3.93	1.71
Eu	0.72	0.64	0.84	0.82	0.89	0.89	0.80	0.35
Gd	3.26	2.81	3.86	3.77	4.07	4.03	3.69	1.56
Tb	0.52	0.41	0.60	0.58	0.16	0.60	0.57	0.23
Dy	3.05	2.60	3.57	3.41	3.98	3.61	3.40	1.34
Ho	0.61	0.52	0.75	0.70	0.72	0.67	0.69	0.29
Er	1.81	1.49	2.15	2.02	2.07	1.95	1.89	0.84
Tm	0.26	0.22	0.30	0.29	0.31	0.29	0.28	0.13
Yb	1.71	1.39	1.98	1.90	2.04	2.01	1.87	0.81
Lu	0.27	0.23	0.29	0.28	0.31	0.31	0.28	0.13
Pb	671.0	12.0	16.6	17.6	22.4	23.5	23.5	11.7
Zn	55	29	42	48	58	42	43	30
Ni	357.1	185.9	291.7	467.5	457.5	316.5	294.3	575.1
Au (ppb)	3.0	1.0	1.21	1.4	2.1	<0.5	0.7	3.4
Ag	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1
Mo	1.7	0.2	0.3	0.4	0.4	0.2	0.2	0.8
Cu	42.3	17.2	28.5	30.0	31.8	18.5	26.0	16.3
As	25.2	9.4	10.2	11.4	22.9	5.5	8.3	6.8
Cd	0.2	<0.1	0.1	0.2	0.2	0.1	0.1	0.2
Sb	1.1	0.4	0.7	0.6	1.0	0.7	0.4	0.4
Bi	0.7	0.2	0.2	0.2	0.3	0.6	0.5	0.2
Hg	0.08	0.03	0.09	0.09	0.10	0.03	0.02	0.04
Tl	0.3	0.4	0.4	0.5	0.6	0.4	0.5	0.5
Se	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5

Eskişehir'de kohezyonlu zemin numunelerinin kimyasal analizlerine göre major oksitleri bölgelere göre farklılık göstermektedir (Çizelge 5.3). Eskişehir bölgesinin Mamuca, Gökmeydan ve Tepebaşı-Zincirlikuyu mahallerinde diğer bölgelere göre sırasıyla yüksek miktarda CaO (%27.76, 19.46 ve 11.73) bulunduğu belirlenmiştir. Bu veriler, XRD verileriyle uyuşmakta ve kalsitten kaynaklandığını göstermektedir (Çizelge 5.2).

5.3. Mineralojik ve Kimyasal Bileşimin Jeoteknik Özelliklere Etkisi

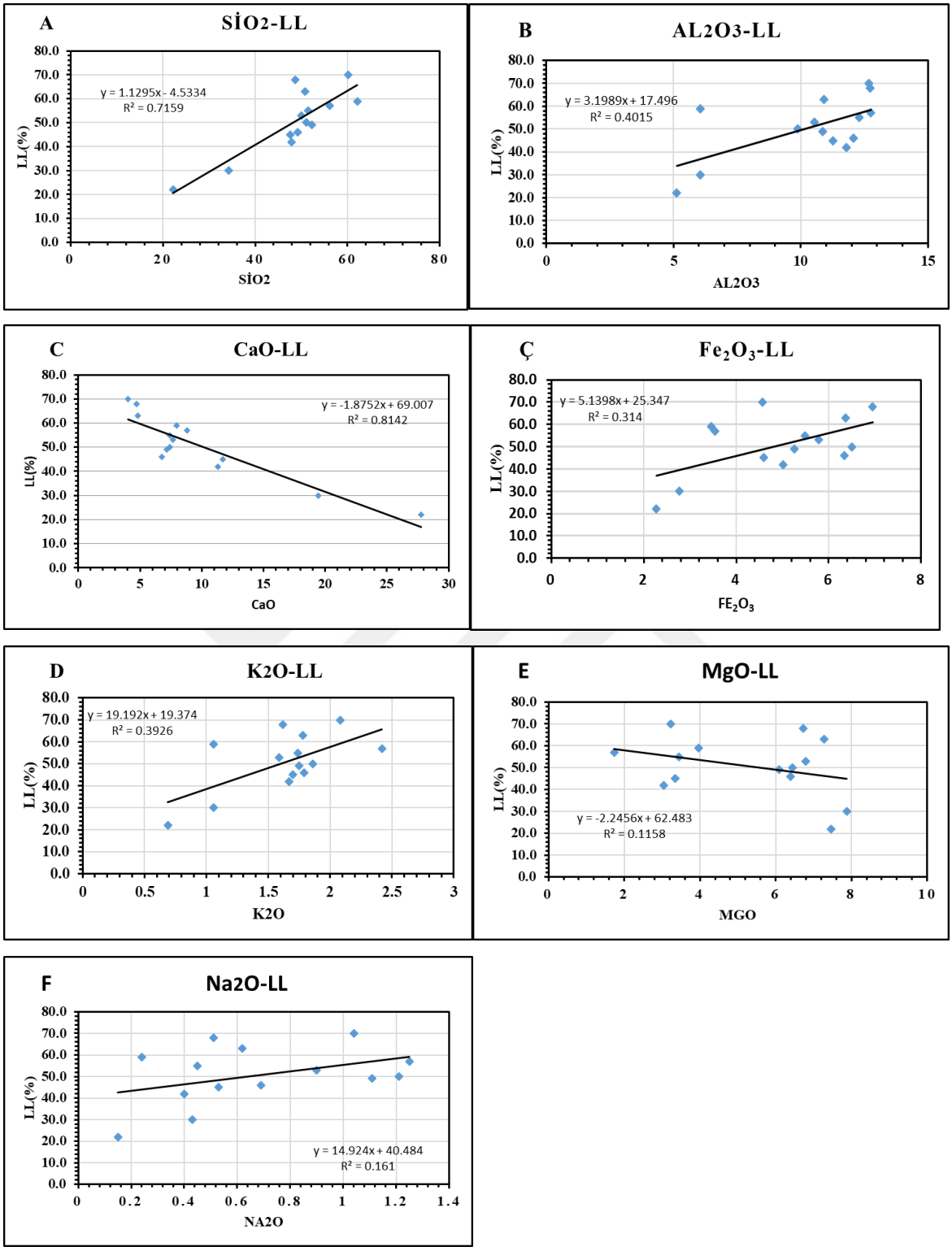
Kohezyonlu zeminlerin şişme, büzülme, çatlama ve dolayısıyla jeoteknik özelliklerindeki düşüş gibi fiziksel ve mekanik özellikleri mühendislik uygulamalarında esas rol oynayan çok önemli karakteristik değişkenlerdir. Zeminlerin fiziksel ve mekanik davranışları, oluşum geçmişlerine ilaveten zeminlerin kimyasal ve mineralojik bileşimleriyle yakından ilişkili olan jeoteknik parametrelere bağlıdır (Muceku ve Lazo, 2013). Mineralojik tespitler pek çok jeoteknik araştırmalar için geçerlidir. İnce taneli zeminler; tane boyu dağılımı, çeşitli kil minerallerinin türleri ve miktarlarına ve kimyasal bileşimine göre farklılık gösterir. Kohezif zeminlerin ve killerin kimyasal özellikleri temel minerallerin, çimento içerikli malzemelerin ayrıca kil minerallerinin yüzeylerindeki adsorbe edilmiş katyonlar ve anyonların kimyasına bağlıdır (Mitchell, 1993). Zeminin şişme ve diğer jeoteknik özellikleri üzerinde zeminin ve suyun kimyasal bileşimin önemli bir rol oynadığı görülmektedir. Büyük miktarda Ca^{2+} veya Mg^{2+} iyonlarına sahip olanlardan daha fazla miktarda değiştirilebilir. Na+ iyona sahip olan zeminlerde daha fazla şişme meydana gelmektedir.

Kil fraksiyonu, montmorillonit ve illit içeriğince zengin kohezyonlu zeminler, düşük jeoteknik özelliklere ve yüksek sıkışabiliriliğe sahip oldukları için önemli mühendislik problemlerine neden olabilmektedirler. Kohezif zeminlerindeki mineralojik ve kimyasal bileşimin değerlendirilmesi mühendislik özelliklerinin değerlendirilmesi açısından çok önemlidir. Bu amaçla, zeminlerin kimyasal-mineralojik kompozisyonun, zeminlerin fiziksel özellikleri (Atterberg limit, kil aktivitesi ve mekanik özellikleri) arasındaki ilişki incelenmeye çalışılmıştır. Bu ilişkiler; kimyasal, mineralojik, fiziksel ve mekanik özelliklerin birada değerlendirilmesi şeklinde araştırılmıştır. Genel olarak değerlendirildiğinde bu çalışmada kullanılan zemin örneklerinin tane dağılımının; %16-37

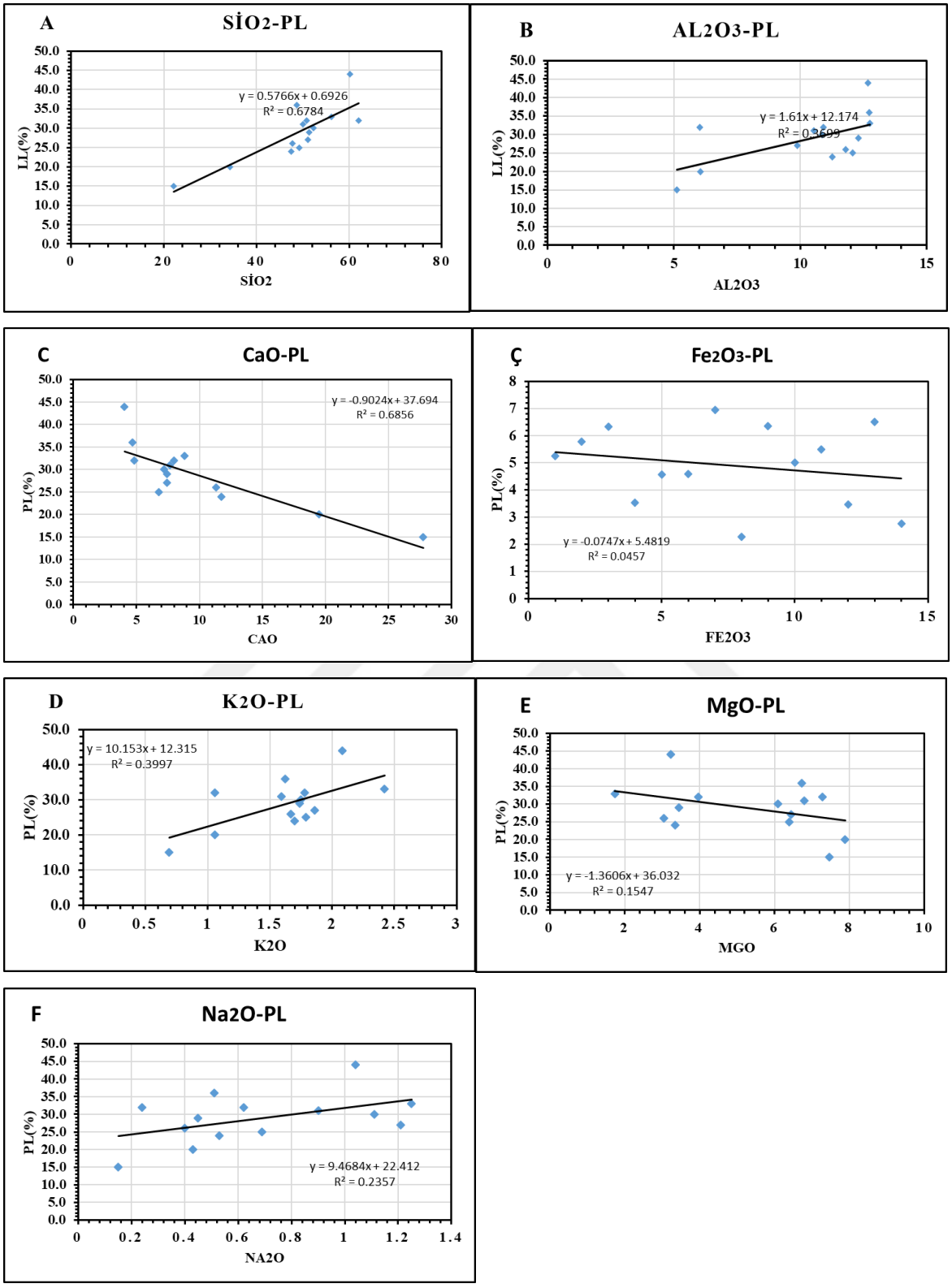
kil, % 24-70 silt ve %6-48 arasında kum fraksiyonlarından oluştuğu görülmüştür. Zeminlerin laboratuvar deneyin sonuçları kimyasal ve mineralojik bileşimlerin fiziksel ve mekanik özellikleri etkilediğini göstermektedir.

Şekil 5.9, 5.10, 5.11 ve 5.12'de sırasıyla Likit limit(LL), Plastik Limit(PL), Plastisite indeksi (PI) ve kil aktivitesi (Ia) gibi fiziksel özellikler ile ana kimyasal elementleri olan AL_2O_3, SiO_2, CaO, Fe_2O_3, MgO, Na_2O ve K_2O'nun arasındaki ilişki gösterilmektedir. Öncellikle kimyasal bileşimin Likit Limit (LL), Plastik Limit (PL) ve Plastisite indeksine (PI) olan etkisi değerlendirilmiştir.

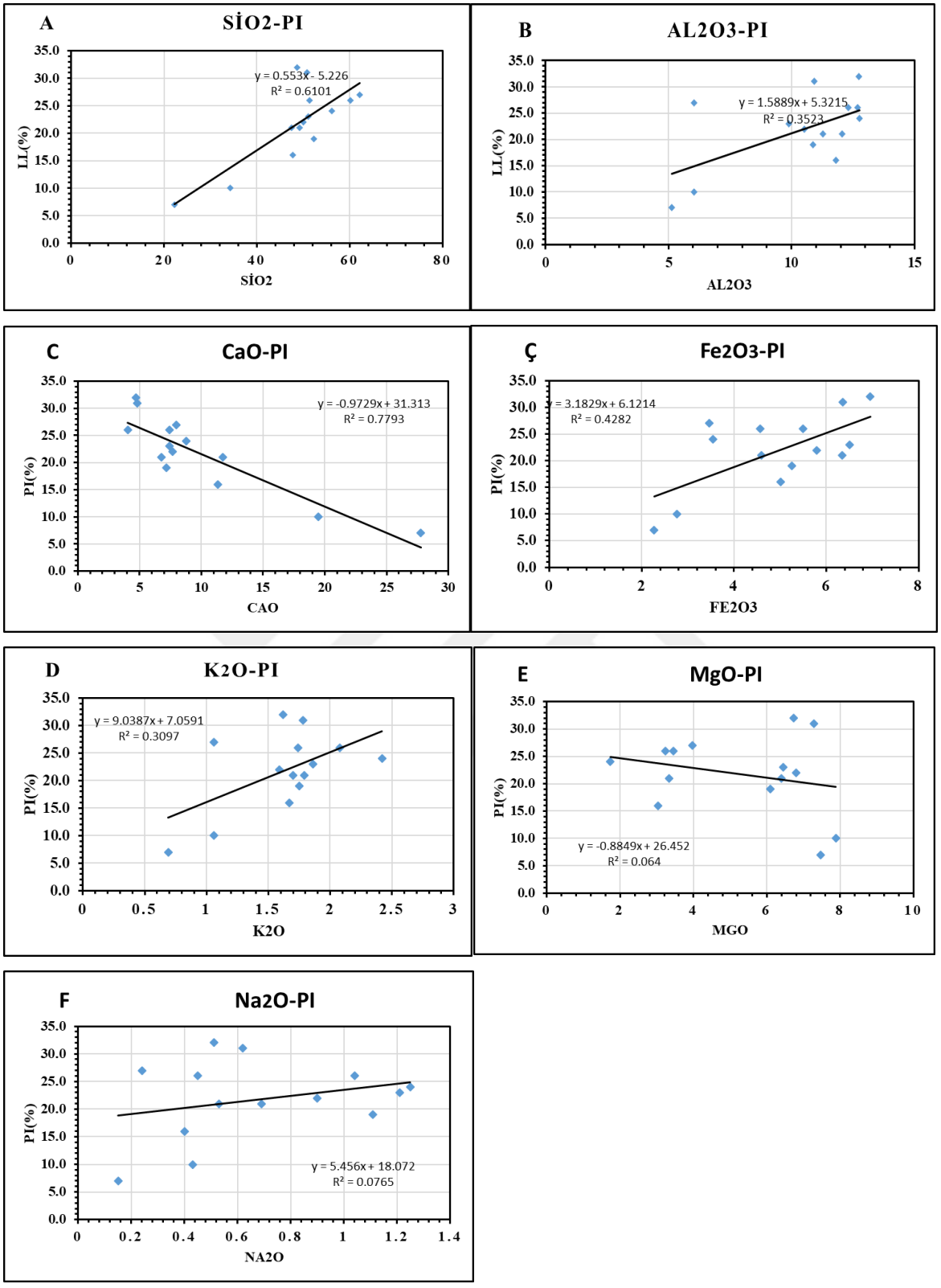
Şekil 5.10a, 5.11a ve 5.12a'da sırasıyla LL, PL ve PI değerleri üzerinde SiO_2 içeriğinin etkisi gösterilmektedir. SiO_2 içeriğinin artması ile LL(r^2=0.72), PL(r^2=0.68) ve PI (r^2=0.61) değerleri artmaktadır. Al_2O_3 jeoteknik parametreler (LL, PL, PI,) ile pozitif bir korelasyon göstermiştir. Al_2O_3 muhtevasının artmasıyla LL(r^2=0.40), PL(r^2=0.37) ve PI(r^2=0.35) değerleri artmıştır. SiO_2 ağırlıklı olarak kum ve silt fraksiyonlarındaki kuvarstan, Al_2O_3 ise kil fraksiyonundan ve kısmen feldispat minerallerinden gelmektedir (Abd-Allah vd., 2009). Bu nedenle SiO_2 ve Al_2O_3 içeriğiyle LL, PL ve PI değerleri pozitif bir ilişkiye sahiptir ve benzer durum Mısır'daki denizel killerde de görülmüştür (Abd-Allah vd., 2009). Kohezif zeminlerdeki CaO içeriği önemli bir rol oynamakta ve jeoteknik özelliklerde iyileşme sağlamaktadır. Zeminlerdeki CaO artışına karşın (Şekil 5.9c, 5.10c ve 5.11c'de) sırasıyla LL, PL ve PI değerlerinde bir azalma görülmektedir (sırasıyla r^2=0.81 r=0.69 ve r^2=0.78). Bu nedenle günümüzde, sönmüş yüksek kalsiyum muhtevasına sahip kireçler problemli zeminlerin stabilizasyonunda kullanılmaktadır. Ayrıca Fe_2O_3 jeoteknik özellikler ile pozitif korelasyon (PL hariç) göstermiştir. Fe_2O_3 artmasıyla LL(r^2=0.31) ve PI (r^2=0.42) artmakta sadece PL(r^2=0.05) azaltmaktadır (Şekil 5.9ç, 5.10ç ve 5.11ç). Kıvam karakteristikleri ile MgO muhtevası ters orantılı buna karşın K_2O ve Na_2O ile doğru orantılı bir korelasyon göstermiştir. MgO artmasıyla LL(r^2=0.11), PL(r^2=0.15) ve PI(r^2=0.06) değerlerinde düşük korelasyon değerlerinde azalma gözlenirken K_2O ve Na_2O artmasıyla LL(r^2=0.39, r^2=0.16), PL(r^2=0.40, r^2=0.24), PI(r^2=0.31, r^2=0.08) daha yüksek oranda artan bir doğrusal ilişki gözlenmiştir. Bu ilişkilerden kohezyonlu zeminlerde SiO_2, Al_2O_3, Fe_2O_3, K_2O, Na_2O içeriğinin artmasıyla likit limit, plastik limit ve plastisite indeksi değerlerinde artma ve CaO ve MgO içeriğinin artmasıyla da azalma görülmüştür (Şekil 5.10-5.12).



Şekil 5.10. A, B, C, Ç, D, E, F'nın Likit limit (LL) ve major oksitler arasındaki korelasyon grafikleri.

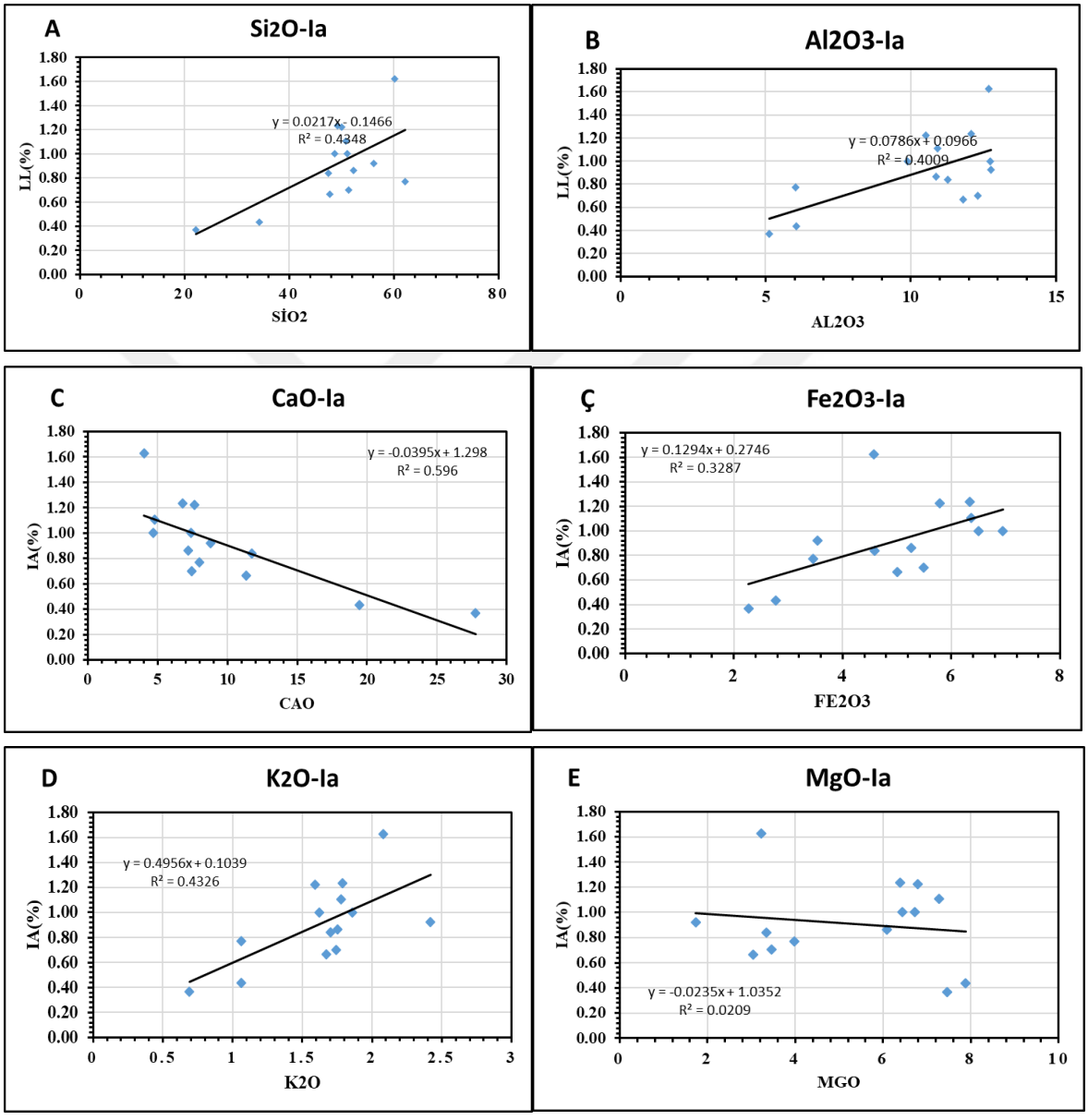


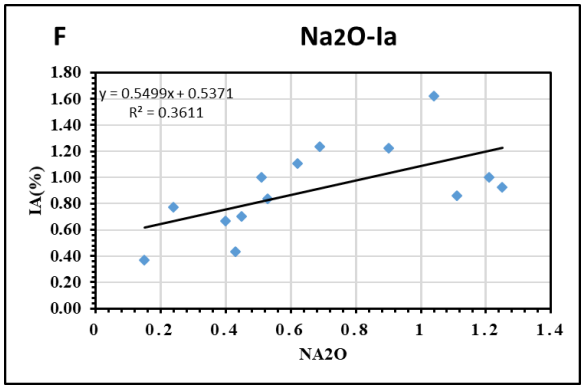
Şekil 5.11. A, B, C, Ç, D, E, F'nın Plastik limit (PL) ve major oksitler arasındaki korelasyon grafikleri.



Şekil 5.12. A, B, C, Ç, D, E, F'nın Plastisitesi indeksi (PI) ve major oksitler arasındaki korelasyon grafikleri.

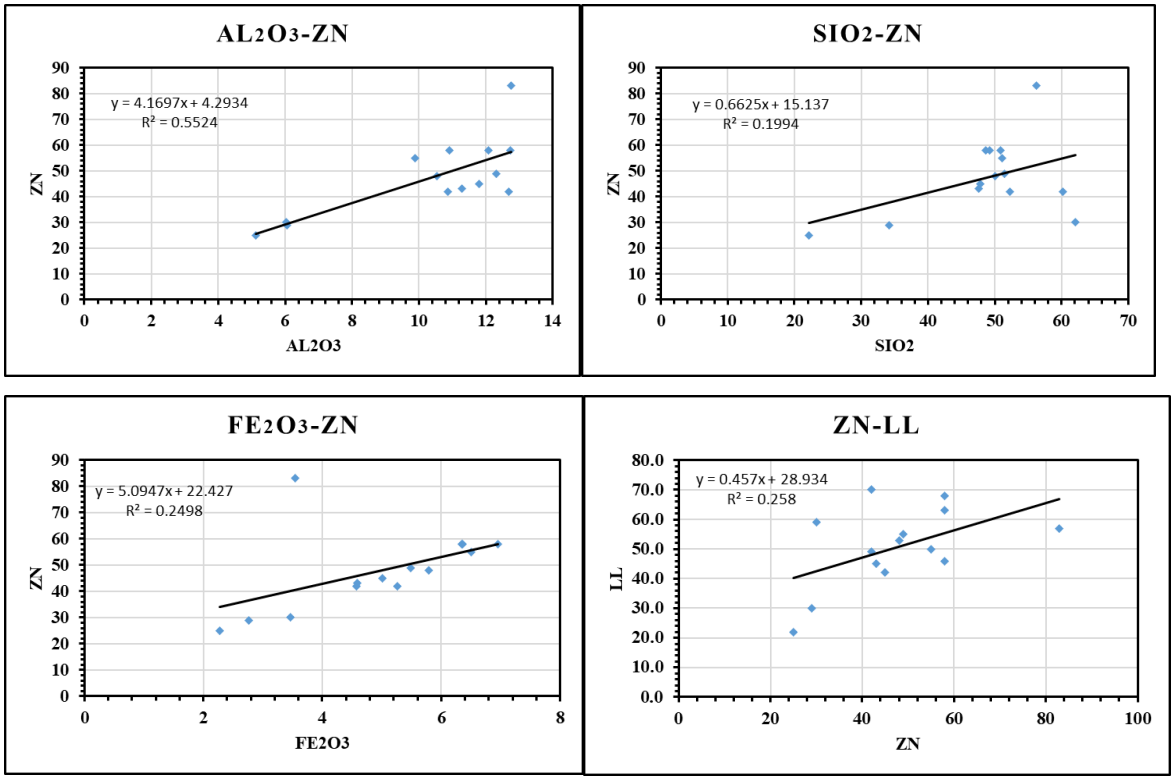
Şekil 5.13'de kil aktivitesi ile ana kimyasal oksitler arasındaki ilişkiler verilmektedir. Fe_2O_3 (r^2=0.33), Na_2O (r^2=0.36) ve K_2O (r^2=0.33) değerleri artışıyla kil aktivitesi (I_a) arasında doğru orantı, CaO (r^2=0.60) ve MgO (r^2=0.02) değerleri ile düşük korelasyon seviyesinde ters orantılı bir ilişki görülmüştür.

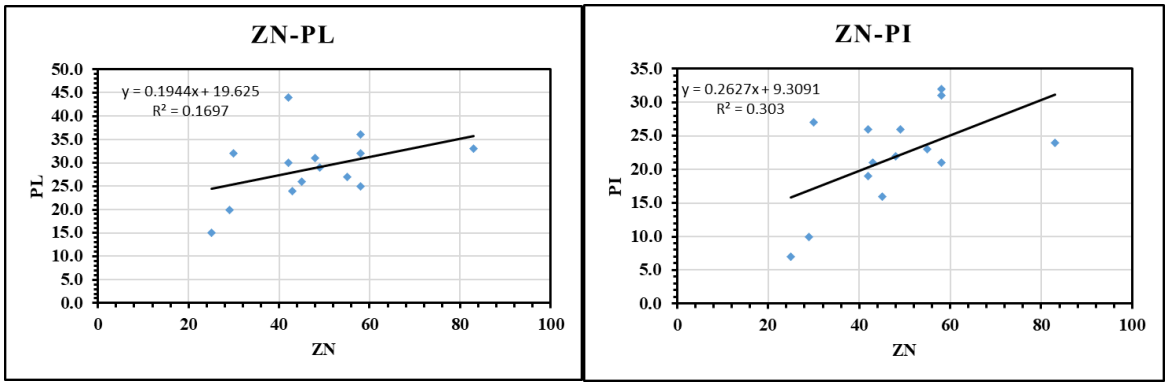




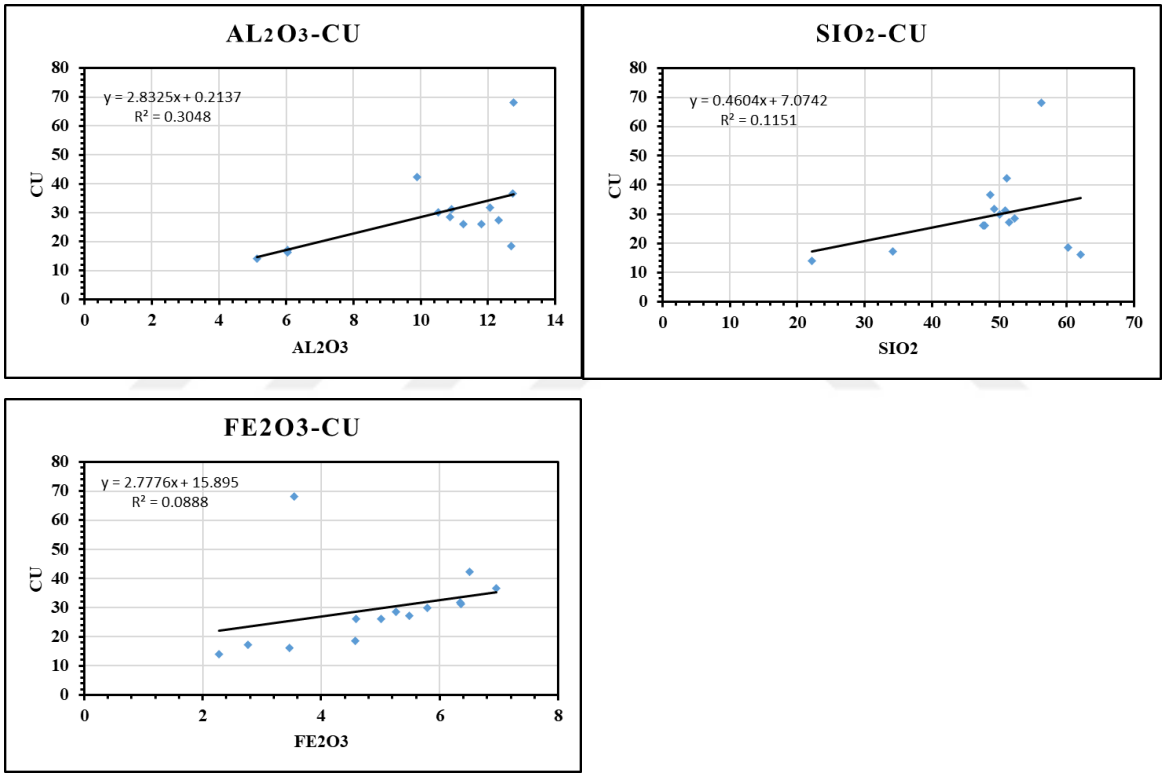
Şekil 5.13. A, B, C, Ç, D, E, F'nın Kil aktivitesi (Ia) ve major oksitler arasındaki korelasyon grafikleri.

Şekil 5.14, 5.15'de Al_2O_3 (r^2=0.55), SiO_2 (r^2=0.20) ve Fe_2O_3 (r^2=0.25) ile Zn elementi ile pozitif korelasyon göstermektedir. Ayrıca Zn elementi ile LL (r=-0.26), PL (r^2=0.17) ve PI (r^2=0.30) pozitif korelasyon göstermektedir. Al_2O_3 (r^2=0.30), SiO_2 (r^2=0.12) ve Fe_2O_3 (r^2=0.09) ile Cu elementi ile zayıf pozitif korelasyon göstermektedir. Zn ve Cu elementlerinin LL, Pl ve PI ile pozitif korelasyon göstermesi smektitin çevredeki çözeltilerden ağır metalleri adborbe ettiğini göstermektedir (Velde, 1995). Bazı elementler (Fe, Ca, Mg, Na ve Zn) killerin kristal kafes yapısında ya Al ile yer değiştirir ya da adsorbe olur, bu da şişme potansiyelini artırır (Abd-Allah vd., 2009).





Şekil 5.14. Zn elementi ve major oksitler- jeoteknik ile korelasyon grafikleri.



Şekil 5.15. Cu elementi ve major oksitler arasındaki korelasyon grafikleri.

6. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu tez kapsamında, Eskişehir ilinin farklı mahallelerinden (Odunpazarı, Kırmızıtoprak, Gökmeydan, Osmangazi, Tepebaşı) alınan 65 zemin numunesi üzerlerinde Elek ve Hidrometre Deneyleri, Likit limit ve Plastik Limit analizi, X Işınları Difraktometre (XRD) Çalışmaları, Diferansiyel Termal Analizi-Termal Gravimetri (DTA-TG) Analizi, FT-IR Spektroskopisi Analizi, Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM) çalışmaları yapılmıştır. Killi sedimanlar mineralojik-jeokimyasal ve jeoteknik açıdan incelenmiş ve mühendislik özellikleri üzerindeki etkileri kıvam limitleri (likit limit, plastik limit, plastisite indeksi) ve kil aktivitesi esas alınarak değerlendirilmiş ve aşağıdaki sonuçlara ulaşılmıştır:

1- Birleştirilmiş zemin sınıflama sistemine (USGS) göre, inorganik siltler ve çok ince kumlar (ML), inorganik killer (CL), kumlu ve siltli killer (CL) olarak zeminler sınıflandırılmıştır. Daha iri taneler (>2um) kuvars, kalsit ve feldspat birleşimlerine sahip olup çalışma alanındaki zeminlerinde baskındır. Daha ince fraksiyon (<2 μm) kil minerallerini özellikle montmorillonit, illit ve klorit oluşturmaktadır.
2- XRD sonuçlarına göre çalışılan örneklerde baskın kil minerali smektittir. Daha az oranlarda klorit ve illit yer almaktadır.
3- Genel olarak numunelerin sahip oldukları kil muhtevaları değerlendirildiğinde, %16 ile %37 arasında değiştiği ve ortalamanın %24,6 olduğu belirlenmiştir. Numunelerin kil içerikleri dar bir aralıkta değişmesine rağmen şişme potansiyellerinin değerlendirildiği kartlarda farklılıklar sergilemiştir. Kil muhtevasına ilaveten belki de en önemli özellik kilin ihtiva ettiği kil mineral muhtevası ve türü olduğudur.
4- Eskişehir'de kohezyonlu zemin numunelerinin kimyasal analizlerine göre major oksitleri morfolojiye göre farklılık göstermektedir. Eskişehir bölgesinin Mamuca, Gökmeydan ve Tepebaşı-Zincirlikuyu mahallerinde diğer bölgelere göre sırasıyla %27.76, 19.46 ve 11.73 yüksek miktarda CaO bulunduğu belirlenmiştir.
5- Saflaştırılmış smektit ideal DTA-TG ve IR pikleri vermektedir.
6- Mikromorfolojik olarak, çalışılan örneklerde Patlamış mısır yapılı smektitler belirlenmiştir.

7- Smektit, klorit ve illit içeriğinin artmasıyla likit limit, plastik limit, plastisite indeks ve kil aktivite değerleri artmaktadır.

8- Çalışılan sondaj karotlarındaki smektit, SiO_2 % 48.66-61.93, Al_2O_3 % 12.07-15.00, Fe_2O_3 % 1.5-6.95, MgO % 1.73-6.76 ve K_2O %1.08-2.94 değerler arasında değişmekte ve mineralojisiyle de uyuşmaktadır.

9- Zeminlerde SiO_2, Al_2O_3, Fe_2O_3, K_2O, Na_2O içeriğinin artmasıyla likit limit, plastik limit ve plastisite indeksi değerlerinde artma ve CaO ve MgO içeriğinin artmasıyla da azalmıştır.

10- Al_2O_3, SiO_2 ve Fe_2O_3, Zn ve Cu elementleri ile pozitif korelasyon göstermektedir. Zn elementi ile likit limit, plastik limit ve plastisite indeksi pozitif korelasyon göstermektedir.

KAYNAKLAR DİZİNİ

Abdullah, A., Dawood, Y., Awad, S., Agila, W., 2008, Mineralogical and chemical compositions of Shallow marine clays, East of Cairo, Egypt: A geotechnical perception, JKAU; Earth Sci, 20, 141-166.

Adebisi, N. O., Adeyemi, G. O., Oluwafemi, O. S., Songca, S. P., 2013, Important Properties of clay content of lateritic soils for engineering Project, Journal of Geography and Geology, 5, 1916-1987.

Altunel, E., Barka, A., 1998, Eskişehir fay zonimun İnönü-Sultandere arasında Neotektonik aktivitesi, Türkiye Jeoloji Bülteni, 41, 41-52.

Barutoğlu, Ö. H., 1960, The Eskişehir chrome region with special reference to the Sazak mine (Turkey). Symposiumo on Chrome Ore, Cento, Ankara, pp. 146-156. M.T. A. Rep. No; 985.

Berry, R.W., Torrance, J.K., 1998, Minearlogy, grain-size distribution and geotechnical behavior of Champlainclay core samples, Quebec. The Canadian Mineralogist, 36, 1625-1636.

Çelik Karakaya, M., Karakaya, N., Aydın, S., 2017, The physical and physicochemical properties of some Turkish thermal muds and pure clay minerals and uses in therapy. Turkish Journal of Earth Sciences, 26, 395-409.

Dağ, N., Kibici, Y., Özgenç, İ., 1994. Sivrihisar-Günyüzü(Eskişehir) granittik pegmatitleri. TJK. Bült. 9, s18-23.

Daksanamurty, V., Raman, V., 1972, A Simple Method of Identifying an Expansive Soil, Soils and Foundation, Japanese Society of Soil Mechanics and Foundation Engineering, 13, 1, 97-104.

De Santiago Buey, C., Suarez Barrios, M., Garcia Romero, E., Doval Montoya, M., 2000, Mg-rich smectite 'Precursor' phase in the tagus basin, Spain, Clays and Clay Minerals, 48, 366-373.

Dudek, T., Cuadros, T., Huertas, J., 2007, Structure of mixed-layer kaolinite-smectite and smectite-to-kaolinite transformation mechanism from synthesis experiments, Am, Mineral, 92, 179-192.

Dubleton, M. J., West, J., 1966, Some factors affecting the relation between the clay minerals in soils and thier plasticity, Clay minerals, 179.

Farmer, V.C., Layer silicates., 1974, In: Farmer V.C., (ed), Infrared Spectra of Minerals, Mineralogical Society Monograph 4, London, pp, 331-363.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

Földvari, M., 2011, Handbook of Thermogravimetric System of Minerals and İts use in Geological Practise,Occasional Papers of the Geological İnstitute of Haungary, volume 213, 180pp.

Gözler, M. Z., Cevher, F., 1987, EskiĢehir-Ġ26 paftasının 1/100000 ölçekli jeoloji haritası. Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü, Jeoloji Etütleri Dairesi, Ankara.

Gözler, M. Z., Cevher, F., Küçükkayman, A., 1985, Eskişehir civarinin jeolojisi ve Sicak su kaynakları, Maden Tetkik ve Arama Dergisi,103,40-54.

Grim, R. E., 1962, Applied Clay Mineralogy, McGraw-Hill, New York.

Güllü, B., Kadıroğlu, Y.K., 2010, Topkaya granitoidindeki mafik daykların kökeni, Eskişehir-Sakarya levhası, Türkiye, IV. Ulusal Jeokimya Sempozyumu, Bildiriler ve Özetler Kitapçığı, 55-56.

Kadir, S., Erkoyun, H., Eren, M., Huggett, J., Önalgil, N., 2016,Mineralogy, Geochemistry and Genesis of sepiolite and palygorskite in Neogene lacustrine sediments, Eskişekir Province West central Anatolia, Türkey, 64, 145- 166.

Kadir, S., Erkoyun, H., 2015, Characterization and distribution of fibrous tremolite And chrysotile minerals in the Eskişehir region of western Turkey, 50, 441-458.

Kadir, S., Eren, M., Külah, T., Erkoyun, H., Huggett, J., Önalgil, N., 2018, Genesis of palygorskite and calcretes in Pliocene Eskişehir Basin, West central Anatolia, Turkey. Catena (basımda).

Kibici, Y., 1990, Sarıcakaya (Eskişehir) volkanitlerinin petrolojisi ve kökensel Yorumu, Türkiye Jeoloji Bülteni, 33, 69-77.

Kirov, B. L., True, N. N., 2011, A study on the relationship between geotechnical Properties and clay mineral composition of Hanoi soft soils in saline media, İnternational Journal of Civil Engineering, 10, 280-320.

Madejova, J., Keckes, J., Palkova, H., Komadel, P., 2002, İdentification of Components in Smectite-Kaolinite Mixtures, Clay Miner, 37, 377-388.

Muceku, Y., Lazo, P., 2013, The chemical- mineralogical composition and thier Effect on physical and mechanical properties of cohesive soils in Tirana area, Albania, Fresenius Enviromental Bulletin, 22, 3006-3015.

Ocakoğlu, F., 2007, A re-evaluation of the Eskişehir fault zone as a recent extensional Stracture in NW Turkey, Journal of Asian Earth Sciences, 31, 91-103.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

Ohtsubo, M., Egashira, K., Tanaka, H., Mishima, O., 2002, Clay minerals and Geotechnical index properties of marine clays in East Asia, Marine Georesouces And Geotechnology, 20, 223-235.

Orhan, A., Türköz, M., Tosun, H., 2013, Preliminary hazard assessment and site Characterization of Meşelik campus area, Eskişehir-Turkey, Natural Hazards and Earth systum sciences, 13, 75-84.

Sincan, M., 1978, Eskişehir-Mihalıççık kaolen etüd raporu, MTA Enst. Raporu No:6129, Ankara (yayınlanmamış).

Skempton, A. W.,1953, The colloidal activity of clays, proceedings 3rd International Soils Mechanics and Foundation engineering, London, Vol. 1, p. 57.

Tosun, A., Seyrek, E., Orhan,A., Savaş, H., Türköz, M., 2011, Soil liquefaction Potential in Eskişehir, NW Turkey, Natural Hazards and Earth Systum Sciences, 11, 1071-1082.

Van der Merve, D.H., 1964, The prediction of heave from the plasticity index and the percentage clay fraction of soils, Civil. Eng. South Africa, 103-107.

Velde, B., 1995, Origin and Mineralogy of Clays, Clays and the Enviroment, Springer-Verlag, New York, 334p.

Yalçın, H., Karslı, Ş., 1998, Dodurga (Çorum) Kömür havzasında karbonat ve smektit minerallerinin kökeni ve diyajenetik evrimi, Türkiye Jeoloji Bülteni, 41, 95-108.

Yılmaz, I., Karacan, E., 1998, Zeminlerin şişme özellikleri. Cumhuriyet Üniversitesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, 26-52 No:58140.

Zviagina, B.B., McCarty, D.G., Srodon, J., Drits, V.A., 2004, Interpretation of infared spectra of diotahedral smectite in the refion of OH-stretching vibration, Clay Clay Miner, 52, 399-410.

Win Bo, M., Arulrajah, A., Sukmak, P., Horpibulsuk, S., 2016, Mineralogy and Geotechnical properties of Singapore marine clay at Changi, Soils and Foundations, 55, 600-613.