

## Erenler (Afyonkarahisar) Bölgesinde Yer Alan Killerin Kıvam Özelliklerinin Jeoteknik Davranışlarına Etkisi

\*Makale Bilgisi / Article Info

Alındı/Received: 24.01.2024

Kabul/Accepted: 02.08.2024

Yayımlandı/Published:02.12.2024

### The Effect Of Consistency Properties Of Clays On Their Geotechnical Behavior In The Erenler (Afyonkarahisar)

Sami Serkan İŞOĞLU<sup>1\*</sup>, Ahmet YILDIZ<sup>1</sup>, Mahmut MUTLUTÜRK<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Afyon Kocatepe Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Afyonkarahisar, Türkiye

<sup>2</sup>Süleyman Demirel Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Isparta, Türkiye

© Afyon Kocatepe Üniversitesi

#### Öz

Killi zeminlerin jeoteknik özelliklerini tespit etmek amacıyla kullanılan yöntemler genellikle kıvam limitleri, elek analizi, üç eksenli sıkışma dayanımı deneyleridir. Yapılan bu çalışmada killi zeminlerin jeoteknik özelliklerini belirlerken kil minerallerinin türünü ve bunların diğer parametrelerle ilişkilerinin araştırılması amaçlanmıştır. Bu amaç doğrultusunda arazi koşullarında alınan numunelerin fiziksel özellikleri tanımlandıktan sonra X-ışınları kırınımı (XRD) analizleri yapılmıştır. Mekanik özellikler üç eksenli sıkışma dayanımı deneyi yardımıyla belirlenmiştir. Üç eksenli sıkışma dayanımı deneylerinde benzer su içeriklerine sahip numuneler düşük plastisiteli ve yüksek plastisiteli olarak iki gruba ayrılmıştır. Her iki grubun da üç eksenli sıkışma dayanımı deneyi sonucunda gerilme-deformasyon grafikleri oluşturulmuştur. Deneyler sonucunda hâkim kil minerallerinin klorit ve illit-mika olduğu anlaşılmıştır. Klorit ve illit-mika minerallerini içeren numunelerin üç eksenli sıkışma dayanımı deneylerinde gerilme arttıkça deformasyon miktarlarının artmış ve sonrasında sabit kalmıştır. Elde edilen sonuçlar aktif tektonizma içinde yer alan yerleşim yerleri veya önemli mühendislik yapılarının yapılacağı yerlerde bulunması kil türü ile su içeriği arasındaki ilişkinin önemini net bir şekilde ortaya koymaktadır.

**Anahtar Kelimeler** Su İçeriği; Zemin Mekanik; Jeoteknik Özellikleri; Kil; Afyonkarahisar

#### Abstract

The methods used to determine the geotechnical properties of clayey soils are generally consistency limits, sieve analysis and triaxial compressive strength tests. In this study, it was aimed to investigate the type of clay minerals and their relationship with other parameters while determining the geotechnical properties of clayey soils. For this purpose, X-ray diffraction (XRD) analyses were performed after the physical properties of the samples taken under field conditions were defined. Mechanical properties were determined by triaxial compression strength tests. In triaxial compression strength tests, samples with similar water contents were divided into two groups as low plasticity and high plasticity. As a result of the triaxial compression strength tests of both groups, stress-deformation graphs were created. As a result of the tests, it was understood that the dominant clay minerals were chlorite and illite-mica. In the triaxial compression strength tests of the specimens containing chlorite and illite-mica minerals, the amount of deformation increased as the stress increased and then remained constant. The results obtained clearly reveal the importance of the relationship between clay type and water content in settlements located in active tectonism or in places where important engineering structures will be built.

**Keywords:** Water Content; Soil Mechanics; Geotechnical Properties; Clay; Afyonkarahisar

#### 1. Giriş

İnce taneli zeminlerin en önemli kısmını oluşturan kil mineralleri temelde 2 mikrondan daha küçük tane boyutundaki alüminyum silikatlardan oluşmaktadır (Mitchell ve Soga 2005; Hubert vd 2009; Holtz vd 2011). Kil minerallerinin oluşabilmesine olanak sağlayan en önemli parametrelerden birisi sahada yer alan jeolojik birimlerin ayrışma miktarlarıdır. Ayrışma miktarının artış ve azalışını kontrol eden parametrelere bakacak olursak; yağış miktarı, topoğrafya, suyun varlığı, sıcaklık, rüzgar, yağış, tektonizma, sıcak-soğuk farkının fazla olması, gibi nedenlerdir. Bölgenin fazla yağış alması su miktarının artmasına neden olacak ve buna bağlı olarak yıkanma miktarı fazla olacaktır. Buna ek olarak sıcaklık artışının da

eklenmesiyle birincil minerallerin bozulması sonucu ikincil minerallere dönüşümü sağlayan kimyasal reaksiyonun hızlanmasına neden olacaktır. Rüzgar ve sıcak-soğuk farkının fazla olması bölgede yer alan jeolojik birimlerin ayrışmasına arttırıcı etki yapmaktadır. Yeraltı ve/veya yerüstü suların sahada yer alması ile su taneleri ince taneli zeminlerin arasına girecek ve soğuk havalarda donacaktır. Havalarda ısınması ile sular çözülecek ve donma-çözünme olayı gerçekleşecektir. Bu sebeple sıcaklık farkının fazla olması ayrışma miktarının artmasına neden olan bir diğer önemli parametredir. Tüm bu parametreler yardımıyla ana kayadan fiziksel ve kimyasal yol ile ayrışan malzemelerin rüzgâr, akarsu gibi etkiler ile taşınması, uygun bir bölgede depolanması sonucunda killi zeminler

meydana gelmektedir. Ana kayanın mineralojik bileşimi yeni oluşacak olan minerallerin iskeletini oluşturmaktadır (Tripathy ve Raha 2019). Oluşan yeni kil türünün tane boyutu ve fiziksel şekilleri, kristal yapısı oluşan yeni kil mineralinin türünü, mineralojik yapısını, kristal yapısını etkilemektedir (Egli vd 2001).

Kil mineralojisi zeminlerin fiziksel ve jeoteknik özelliklerine etki eden önemli bir parametredir. Artan nüfusa bağlı olarak yeni yerleşim yerlerine duyulan ihtiyaca cevap verebilmek adına killi zeminler üzerine yapılar inşa edilmektedir. Kil mineral türünün tespiti, mineralojik yapısı, yeraltı suyunun varlığı, sahanın jeolojik geçmişi gibi parametrelerin bilinmesi yapıların inşa edileceği bölgelerde meydana gelebilecek jeoteknik sorunları en aza indirgeyebilecektir.

Killi zeminlerin fiziksel ve mekanik özelliklerinin jeoteknik özelliklerine etkisi üzerine çalışmalar her ne kadar 1930'lu yıllarda başlasa da özellikle 1950'li yıllardan sonra büyük önem kazanmıştır. Kil minerallerinin nem miktarı, geçirimsizlik durumları, hassasiyet dereceleri, şişme miktarları aktivite dereceleri pek çok araştırmacı tarafından merak konusu edilerek çalışılmıştır (Peck vd 1951; Birrell 1952; Skempton 1953; White 1955; Mielenz ve King 1952). Kil mineral türlerinin zemine olan etkisi irdelendiğinde kil türlerini tek bir başlık altında değerlendirmek ilerleyen yıllarda yeterli olmamıştır. Bu kapsamda kil mineral türlerini araştırmacılar ayrı ayrı incelemeye başlamıştır. Çalışmalar özellikle ilk başlarda illit ve montmorillonit türü kil türleri üzerinde yoğunlaşmıştır (Hendrichs vd 1940; Samuels 1950; Goldberg ve Cline 1953).

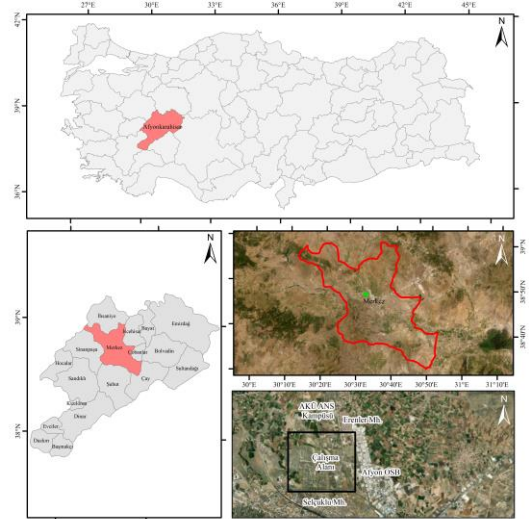
Afyonkarahisar ilinin gün geçtikçe artan nüfusu yerleşim yerlerine olan ihtiyacı da aynı oranda arttırmaktadır. Nüfusun özellikle 2000'li yılların başından günümüze kadar kuzeybatı yönünde genişlemesi bölgede yer alan jeolojik birimlerin fiziksel ve mekanik özelliklerinin araştırılmasını önemli kılmaktadır. Çalışma alanını da kapsayan bu alanda genellikle modern havza dolgusu ve alüvyon birimlerin hakim olduğu bilinmektedir. Buna ek olarak Çatkuuyu, Gecek ve Erkmen Faylarının bölgede yer alması yerleşim yerlerindeki sorunların bir kat daha arttırmasına neden olmaktadır (Gücek ve Zorluer 2019; Özkaymak ve 2020). Bugüne kadar yapılmış olan çalışmalar killi zeminlerin fiziksel, mekanik, mineralojik açıdan incelenmesi ile sınırlı kalmıştır. Ancak bütün bu çalışmalarda mineralojik analizler sonucu elde edilen kil mineral türlerinin zeminlerin fiziksel ve mekanik özelliklerini ne şekilde etkilediğini net bir biçimde ortaya koyamamıştır. Yeni yerleşim yerlerine duyulan ihtiyaç sonucunda yapılan bu çalışma ile sahada yer alan

kuvaterner yaşlı modern havza dolgusunun incelenmesi büyük bir önem arz etmektedir. Yeni yerleşime açılacak olan bölgenin yakınlarında yapılan önceki çalışmalar ile bölgede yer alan litolojik birimlerin; jeolojik ve jeoteknik özellikleri tespit edilmeye çalışılmıştır. Ancak yapılan önceki çalışmalarda yalnızca fiziksel ve mekanik özelliklerin tespit edilmesi ile sahada yer alan jeolojik birimlerin özelliklerinin net şekilde anlaşılmasına neden olmuştur. Yani çalışma sahasında yer alan birimlerin fiziksel ve mekanik özelliklerinin birbirleriyle ilişkisi, kil türüne göre değişiklik gösterip göstermediği, kil türü-su içeriği ilişkisini incelemeye çalışılmıştır. Yapılan çalışma ile bölgede yer alan ve geniş bir yayılım sunan Kuvaterner yaşlı modern havza dolgularının jeoteknik özellikleri detaylı bir şekilde incelenmiştir. Fiziksel ve mekanik özelliklerin tespit edilmesine ek olarak yapılan X-ışınları kırınımı (XRD) incelemeleri ile kil mineral türleri tespit edilmiştir. Elde edilen tüm verilerden yola çıkarak Erenler (Afyonkarahisar) bölgesindeki killerin fiziksel ve üç eksenli sıkışma dayanım deneyleri yardımıyla jeoteknik davranışlarının incelenmesi amaçlanmaktadır.

## 2. Materyal ve Metot

### 2.1 Materyal

Arazi çalışmaları kapsamında Afyonkarahisar ilinin yaklaşık 10 km kuzeyinde, Erenler mahallesinin yakınında bulunan çalışma alanında toplam 57 adet noktada sondaj çalışması yapılmıştır (Şekil 1). Yapılan sondaj çalışmalarında en derin sondaj 2,5 m, en sığ sondaj ise 0,5 m derinlikte yapılmıştır.

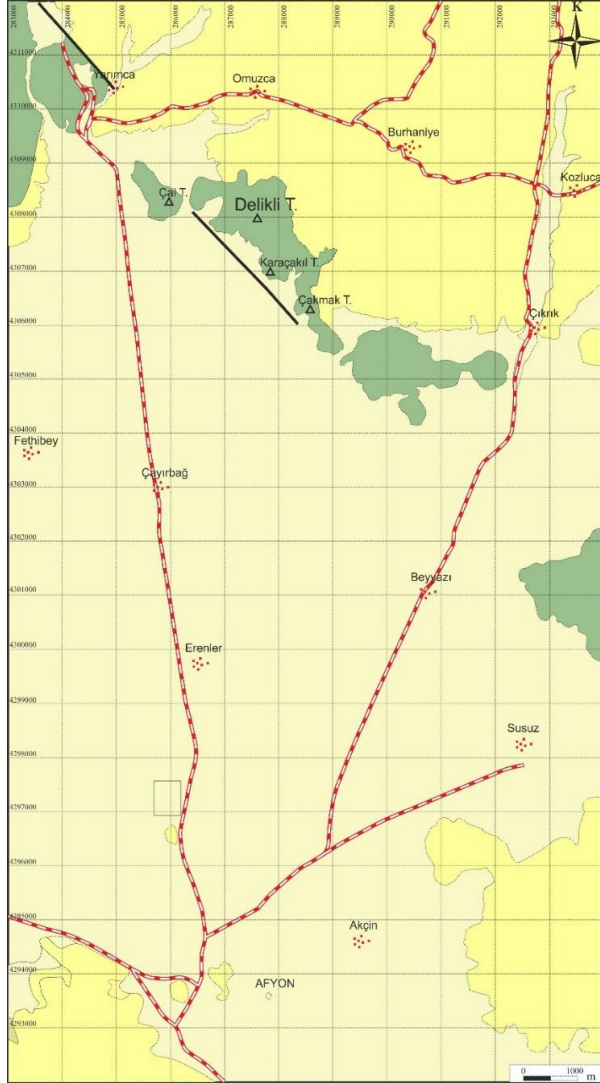


Şekil 1. Çalışma alanı yer bulduru haritası.

Sondaj çalışmaları kapsamında her 0,5 m'de örnekleme yapılmış olup toplam 275 tane örselenmiş numune alınmıştır. Alınan 275 adet sondaj numunesinin ilk fiziksel özellikleri arazi ortamında tanımlanarak deney föyüne yazılmıştır. Alınan numunelerin doğal su içeriği ve ilksel

fiziksel özelliklerini korumasına özen gösterebilmek için çift kat poşetlenerek güneş ışını ve diğer fiziksel özelliklerini bozucu etmenlerden korunması sağlanmıştır. Çift kat poşetlenen numuneler en kısa sürede Afyon Kocatepe Üniversitesi Zemin Mekaniği Laboratuvarına deneylerini yapmak üzere getirilmiştir.

Erkmen volkanitleri Afyonkarahisar ilinde de etkili olan volkanizmanın en son ürünü olarak uyumsuz olarak yer almaktadır. İnceleme alanında bulunan Kuvaterner yaşlı modern havza dolgusu birimi, en genç birim olarak yukarıdaki belirtilen birimleri örterek istifin tavanında yer almaktadır (Şekil 2).



#### AÇIKLAMALAR

#### Semboller

Yarım Yaşam	Simge	Adı
SENOZOYİK	Qal	Alüvyon
	Uyumsuzluk	Uyumsuzluk
MİYOSEN	m2	Ömer-Gecek Formasyonu
	Uyumsuzluk	Uyumsuzluk
MESOZOYİK	Pz3	Afyon Metamorfileri

	Yol
	Fay
	Tren Yolu
	Yerleşim Yeri
	Tepe Adı
	Çalışma Alanı

Şekil 2. İnceleme alanı 1/100.000 ölçekli jeolojik haritası (Öcal vd., 2011).

Çalışma alanının tabanında şist ve mermer birimlerinden meydana gelen Paleozoik yaşlı Afyon Metamorfileri yer almaktadır. Afyon Metamorfileri biriminin üzerine, konglomera ve volkanosedimanter istif ile temsil edilen Orta-Üst Miyosen yaşlı Ömer-Gecek Formasyonu uyumsuz olarak gelmektedir. Ömer-Gecek Formasyonunun üzerine bölgede yayılım alanı sunan

## 2.2 Metot

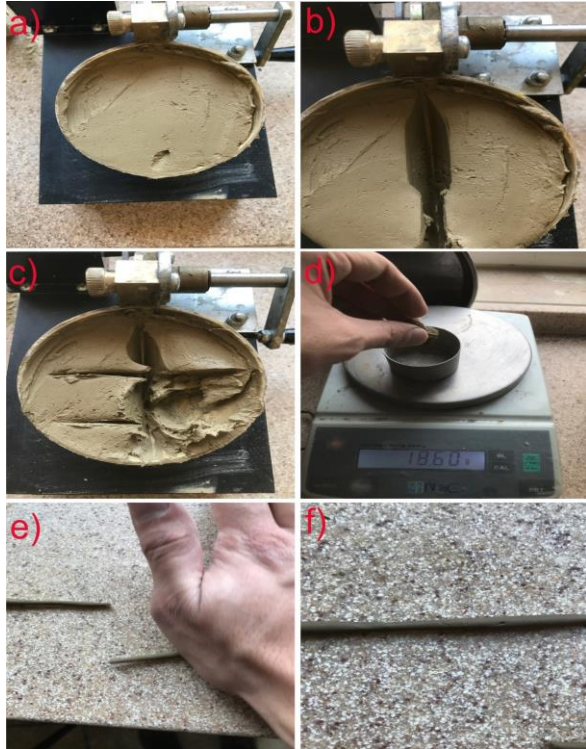
Numunelerin mineralojik, fiziksel ve mekanik özelliklerinin belirlenmesi için numunelere aşağıda detayları verilen deneyler yapılmıştır. Mineralojik özellikler X-ışını kırınımı (XRD) yöntemiyle belirlenmiştir. Fiziksel deneyleri yapılan numunelerin 0.5 m ve 1 m derinliklerinde Yüksek plastisiteli (CH) ve düşük plastisiteli (CL) zemin sınıfının her birinden 3 tane olmak üzere toplam 6 tane numune alınmıştır. Bunun için XRD analizleri tüm kaya ve kil boyutu analizler olarak 2 grupta yürütülmüştür.

Tüm kaya XRD analizlerinin yapılabilmesi için numuneler, -250µm tane boyutuna kadar düşürülmüş ve numunelerin 2θ = 2-70° aralığında XRD çekimi yapılmıştır. Tüm kaya XRD analizleri sonucunda kil mineralleri belirlenen numunelerde kil boyutu XRD analizleri gerçekleştirilmiştir. Kil koyutu XRD analizleri için yönlendirilmiş numuneler hazırlanmıştır (Brindley ve Brown 1980, Saka 1997, Yıldız 2000). Yönlendirilmiş numunelere bazı tali işlemler uygulanmış ve kil minerallerinin 2θ° bölgesinde yer alan bazal kırınımlarda yapay değişimler oluşturulmaya çalışılmıştır. Bunlar; havada kurutulmuş (AD), etilen glikolle (EG) ve ısıtılmış (550°C) (550) muamele şeklindedir. Meydana gelen yapay değişimlerin incelenmesi sonucunda kırınım profilleri benzer kil minerallerinin birbirinden ayırt edilmesi sağlanmış ve buna bağlı olarak hangi tür kil minerali olduğu tanımlaması kesin bir biçimde yapılmıştır. X-ışınları kırınımı (XRD) analizleri A.K.Ü Teknoloji Uygulama Araştırma Merkezi (TUAM)'nde gerçekleştirilmiştir. Analizler Shimadzu XRD-6000 model X-ışını difraktometre cihazı kullanılarak yapılmış olup analizlerde 40 kV (voltaj) ve 30 mA (akım) difraksiyon değerleri seçilmiştir. Numunelerin 2°/dk'da taranması ile tüm kayaç XRD analizi 2°-70° (2θ) ve kil boyutu XRD analizi ise 2°-30° (2θ) ganyometre kırınım açısı aralığında 2000 cps (intensity) pik yoğunluğunda yapılmıştır.

Likit limit deneyi için yine laboratuvar ortamında kurutulan numuneler toz haline getirilmiştir. Toz haline getirilen numune porselen kap içerisine konulmuştur. Kap içerisindeki numunenin su içeriği kademeli olarak artırılmış ve istenilen kıvama gelmesi beklenmiştir. İstenilen kıvama gelen numune Casagrande aletinin içerisine konulmuştur (Şekil 3a). Pirinç pota içerisinde yer

alan numunenin orta noktasında oyuk açma bıçağı ile yarık açılmıştır (Şekil 3b). Açılan yarık kapanana kadar Casagrande aleti üzerindeki krank kolu çevrilmiştir. Yarığın kapandığı kısımdan bir miktar numune alınmış ve etüvde 24 saat 105 °C'de kurutulmuştur (Şekil 3c). Kurutulan numunenin tekrardan tartı yardımıyla ağırlığı ölçülmüş ve deney föyüne yazılmıştır (Şekil 3d). Plastik limit deneyini yapabilmek için en az 20 g numune alınmıştır. Alınan numune cam plaka üzerine konulmuş ve el ayası yardımıyla cam plaka üzerinde çapı 3 mm oluncaya kadar çevrilmiştir (Şekil 3e). Numune üzerinde çatlak ve kopmalar gözlemlenene kadar deneye devam edilmiştir. Çatlak ve kopma meydana geldiğinde numune kap yardımıyla etüvde kurutulmuştur (Şekil 3f) (TSE 2006a, 2006b).

Özgül ağırlıklarını tespit edebilmek amacıyla 50 ml'lik piknometre kullanılmıştır. Piknometrelerin ham ağırlıkları tartılmış ve deney föyüne işlenmiştir. Ardından piknometrenin tamamı su ile doldurularak ağırlığı belirlenmiştir. Daha sonra içi boşaltılıp kurutulduktan sonra en az 20 gr olacak şekilde numune doldurulmuş ve geri kalan kısmı su ile doldurularak ağırlığı tartılmıştır (TSE 2006a, 2006b).



**Şekil 3.** Likit limit deney aşamaları; a) Numunenin potaya konulması, b) Oyuk açma bıçağı kullanılarak merkezden oyuk açılması c) Düşüş yapıldıktan sonra numune alınması, d) Numunenin tartımının yapılması, e) Plastik limit deneyi, f) Numune üzerindeki çatlakların gözlemlenmesi.

Zemin Mekaniği laboratuvarına getirilen 275 adet numunenin fiziksel ve mekanik analizleri yapılmıştır.

Fiziksel analizlerinden ilk olarak ıslak elek analizi yapılmış ve daha sonra doğal su içeriklerini tespit etmek için deneye tabii tutulmuşlardır. Daha sonra ince tane boyutunun belirlenebilmesi için hidrometre, numunelerin davranışlarını belirlemede önemli bir rol oynayan kıvam limitleri (plastik limit, likit limit, büzülme limiti) deneyleri yapılmıştır (TSE 2006b; ASTM 2004). Fiziksel özelliklerinin belirlenmesinden sonra numunenin gerilme-deformasyon ilişkisini tespit etmek amacıyla üç eksenli sıkışma deneyi yapılmıştır (TSE 2006a).

### 3. Bulgular

#### 3.1 X-Işını Kırınımı (XRD)

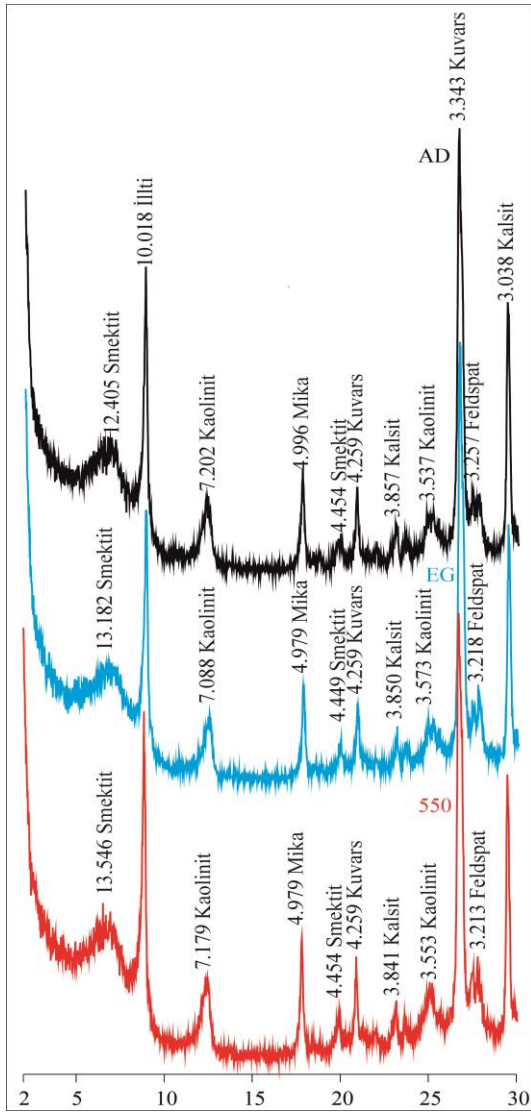
XRD analizi sonucunda numunelerin kalitatif mineralojik analiz sonuçları Çizelge 1'de verilmiştir. Analizi yapılan numunelerde hâkim kil minerali olarak klorit ve illit-mika tespit edilmiştir. Kil dışında tespit edilen bileşenler sırasıyla kuvars, kalsit, dolomit ve hematittir (Şekil 5). Kil boyutu XRD analizlerinde üç farklı yöntem kullanılarak illit-mika minerallerinin piklerinde gözlemlenen değişimler incelenmiştir. Bu üç yöntem sırasıyla hava kurutulan numune (AD), etilen glikollü numune (ED) ve 550°C'de fırınlanmış numunedir (Şekil 4). Klorit minerallerinin tespit edilmesinde  $2\theta=2-30^\circ$  arasındaki  $14.20\text{Å}$  (001),  $7.10\text{Å}$  (002),  $4.75\text{Å}$  (003) ve  $3.53\text{Å}$  (004) yansımalarına bakılmıştır. Fırınlama ( $\approx 550^\circ\text{C}$ ) ve etilen glikol işlemi sonucunda herhangi bir değişim meydana gelmemiştir. illit minerallerinin  $10.00\text{Å}$  (001) ve  $5.00\text{Å}$  (001)'da en karakteristik pikleri gözlemlenmiştir (Brindley ve Brown 1980; Saka 1997).

**Çizelge 1.** Kalitatif X-ışınları kırınımı (XRD) sonuçları.

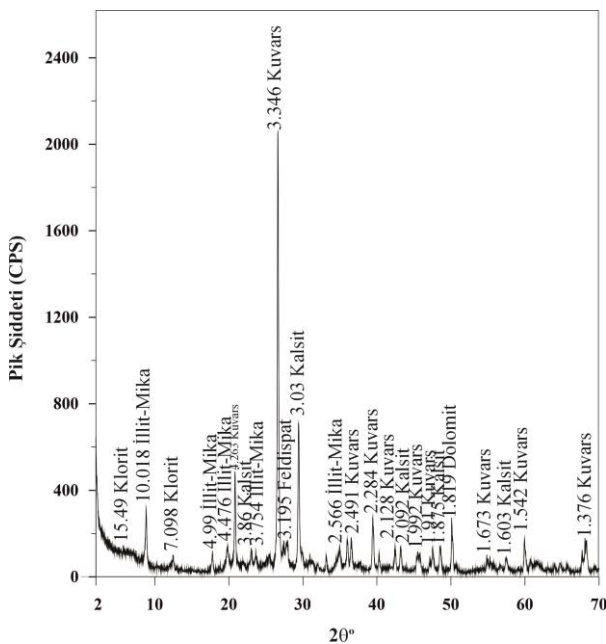
Numune Adı	Klorit	İllit-Mika	Kuvars	Kalsit	Dolomit	Hematit
AÇ-3,2a1	+	+	+	+	+	+
AÇ-5,1a7	+	+	+	+	+	+
AÇ-2,3a1	+	+	+	+	+	+
AÇ-3,3a7	+	+	+	+	+	+
AÇ-1,5a7	+	+	+	+	+	+
AÇ-5,2a7	+	+	+	+	+	+
AÇ-6,3a1	+	+	+	+	+	+
AÇ-7,1a1	+	+	+	+	+	+
AÇ-7,5a1	+	+	+	+	+	+
AÇ-7,5a1	+	+	+	+	+	+
AÇ-13,5a7	+	+	+	+	+	+
AÇ-14,1a1	+	+	+	+	+	+

#### 3.2 Kıvam Limiti Testleri

Likit limit, plastik limit ve plastisite indeksi değerleri CH zemin sınıfı için sırasıyla %50, %65 ve %69'dur. Plastik limit değerleri %27, %25 ve %29, plastisite indisi değerleri ise %23, %40 ve %40 olarak tespit edilmiştir. CL zemin sınıfında ise likit limit değerlerinin sırasıyla %33, %48 ve %49, plastik limit değerlerinin %24, %25, %24 ve plastisite indisi değerlerinin ise %9, %23 ve %25 olduğu belirlenmiştir (Çizelge 2).



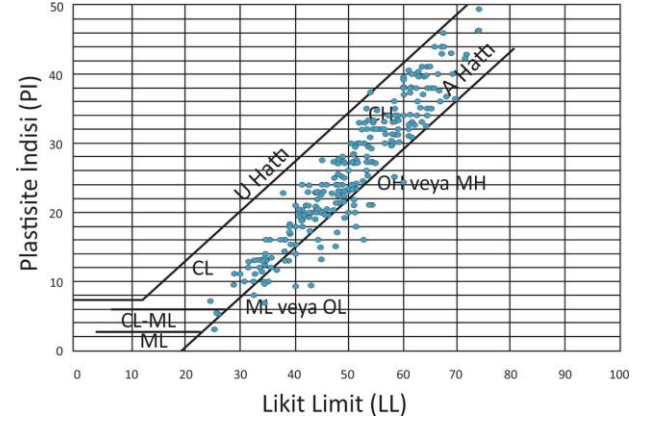
Şekil 4. AÇ-2, 3a1 numaralı örneğin detay kil grafiği.



Şekil 5. AÇ-2, 3a1 numaralı örneğin tüm kayaç grafiği.

Çizelge 2. Kıvam limit test sonuçları.

Zemin Sınıfı	Numune Numarası	Likit Limit (%)	Plastik Limit (%)	Plastisite İndisi (%)
Yüksek	17,2a3	50	27	23
Plastisiteli Kil (CH)	20,1a6	65	25	40
	20, 1a3	69	29	40
Düşük	17,2a6	33	24	9
Plastisiteli Kil (CL)	15,3a3	48	25	23
	15,3a6	49	24	25



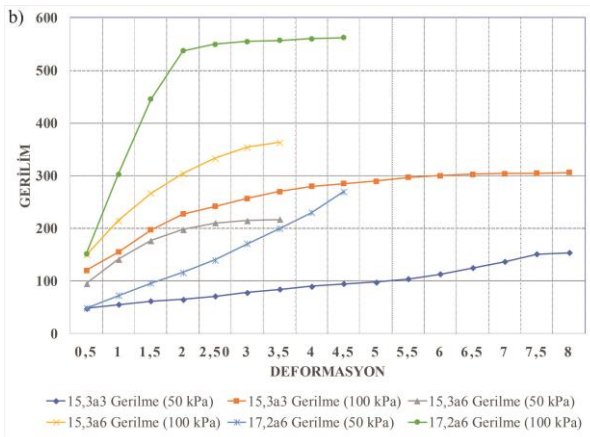
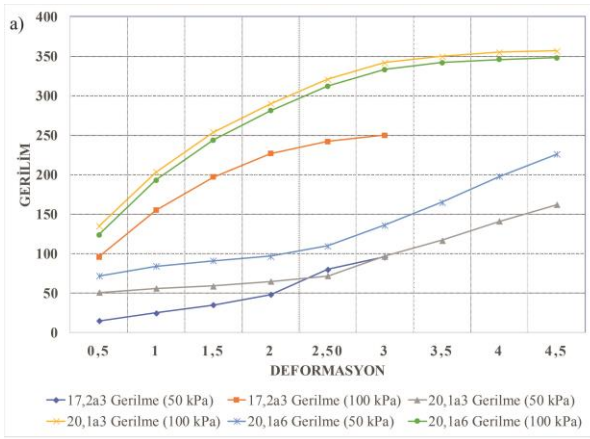
Şekil 6. Casagrande kartı

Kıvam limitleri belirlenen numunelerin Casagrande plastisite kartında yerleri tespit edilerek zemin sınıfları belirlenmiştir (Şekil 6).

### 3.3 Üç Eksenli Sıkışma Dayanımı Testi

Su içeriği değerlerine göre hazırlanmış olan örselenmiş zemin numuneleri için düşük ve yüksek plastisiteli killerin serbest sıkışma dayanımları sırasıyla 80 kPa ile 525 kPa arasında değişiklik göstermektedir (Şekil 7). Gerilme deformasyon grafikleri incelendiğinde; yüksek plastisiteli (CH) killerde 50 kPa hücre basıncında gerilmeler 20-120 kPa arasında yer alırken, 100 kPa hücre basıncında 100-355 kPa arasında yer almaktadır (Şekil 7a). Düşük plastisiteye (CL) sahip killerin dayanım değerleri 50 kPa hücre basıncında 50 ile 220 kPa arasında, 100 kPa hücre basıncında 120-360 kPa arasında değişmektedir (Şekil 7b). Düşük plastisiteli ve yüksek plastisiteli killerde 50 kPa hücre basıncında deformasyon çizgisi nispeten doğrusal bir çizgi sunarken 100 kPa hücre basıncında lineer olmayan bir doğru gözlemlenmektedir. Bu durum kalıcı kayma direnci ile açıklanabilmektedir.

Bazı durumlarda ise artan deformasyon değeri ile birlikte kayma gerilmesi değişmeyen sabit bir değer almaktadır (Genç 2011). Özellikle 50 kPa değerinde her iki grafikte de kilin pik değerine ulaşmadan deneyin sonlandığı tespit edilmiştir. Bu durumun en önemli sebebinin deney esnasında kil numunesinin ani göçmeye maruz kalarak yenilmesi ile açıklanabilir (Xu vd 2018) (Şekil 7).



**Şekil 7.** Düşük plastisiteli (CL) ve yüksek plastisiteli (CH) zemin sınıfına ait numunelerin gerilme deformasyon grafikleri a-) CH zemin sınıfı b-) CL zemin sınıfı.

### 3.4 Farklı Plastisiteye Sahip Kil Minerallerinin Dayanım Özellikleri

Farklı plastisiteli killerin su içeriğinin kayma dayanımı üzerine etkisini araştırmak amacıyla araziden alınan örselenmiş numunelerin XRD analizleri yardımıyla mineralojik analizleri yapılmış, ayrıca numunelerin üç eksenli sıkışma dayanım testleri yapılmıştır. Farklı plastisiteli hakim numunelerde başlıca kil mineralleri klorit ve illit-mika olduğu tespit edilmiştir. Düşük plastisiteli killerin su içerikleri %10, %13 ve %19 olarak belirlenmiştir. Yüksek plastisiteli killerin su içerikleri ise %13, %17 ve %14 olarak tespit edilmiştir (Çizelge 3). Su içeriklerine bağlı olarak oluşan numune yüksekliğinde azalma ve meydana gelen şişkinliğin yüksek su içeriğine sahip numunelerde meydana geldiği görülmektedir. Bu durumun temel sebebi numune üzerindeki plastik deformasyonun bariz bir şekilde görülebilmesidir. (Malizia ve Shakoor, 2018). Üç eksenli sıkışma altındaki numunede, gerilme artışına bağlı olarak yükseklik azalması ve hacim genişlemesi gözlemlenmektedir. Gerilme-deformasyon grafiklerine göre yüksek plastisiteli killerde su içeriğine bağlı olarak deformasyon miktarının arttığı gözlemlenmektedir. Düşük plastisiteli killerde ise genel olarak su içeriğine bağlı olarak deformasyon

miktarlarında gözle görülür bir artış meydana gelmemektedir. Deformasyon miktarları üç eksenli sıkışma dayanımı ile tespit edilen numunelerin deney sonrası şekilleri incelendiğinde; düşük plastisiteli killerde (15,3a6, 17,2a6, 15,3a3) ince çatlaklar meydana geldiği ve yenilmenin çatlaklar sonrası hemen oluştuğu görülmektedir (Xu et al., 2018) (Şekil 8).



**Şekil 8.** Üç eksenli deney sonrası numunelerde görülen şekil değişiklikleri.

Yüksek plastisiteli killerde (17,2a3, 20,1a6, 20,1a3) ise çatlakların daha az geliştiği, numunelerde boy kısalması ve sonrası yenilme meydana geldiği gözlenmiştir. Bu durum yüksek plastisiteli killerin plastik davranış sergileyebilmesi için daha fazla suya ihtiyaç duyulduğunu ortaya koymaktadır.

**Çizelge 3.** Kil türü ve su içeriklerini gösteren çizelge.

Kil Türü	Numune numarası	Su içeriği
Düşük Plastisiteli Kil (CL)	15,3a3	19
	15,3a6	13
	17,2a6	10
Yüksek Plastisiteli Kil (CH)	20,1a6	17
	20,1a3	14
	17,2a3	13

### 4. Tartışma

Akgün vd (2018), yapmış oldukları çalışma ile Çankırı'da yer alan Orta ilçesinde 22 noktadan bozulmuş ve bozulmamış numuneler almışlardır. Alınan numuneler üzerinde XRD, özgül ağırlık, SEM, hidrometre, elek analizi, ödometre ve şişme testleri uygulamışlardır. Yapılan çalışma ile hakim kil minerallerinin smektit, kaolinit ve illit olduğunu tespit etmişlerdir. Özellikle smektit mineralinin bolluğunun şişme yüzdesinin arttırdığını ortaya koymuştur.

Al-Zoubi (2008) yapmış olduğu çalışma ile yüksek plastisiteli kilin doğal durumunda şişme özelliğini araştırmıştır. Ayrıca bu durumda içerdiği potasyum ve kalsiyum klorür miktarının kilin şişme özelliği ne derecede etkilediğini araştırmıştır. Yapılan çalışma ile zeminlerin kıvam limitleri ile şişme arasında doğrusal bir ilişki olduğunu ortaya koymuş ve zeminin davranışının bu

etkiler altında farklı davranışlar sergilediğini tespit etmiştir.

Bo vd (2015), Singapur Changi'de yer alan denizel ortamda oluşmuş deniz kilinin jeoteknik özellikleri ve mineralojisini belirlemek için XRD, taramalı elektron mikroskop (SEM), su içeriği, kıvam limitleri, konsolidasyon, birim hacim ağırlık deneyleri yapmışlardır. Yapılan deney sonuçları ile kil mineralinin zemin davranışı üzerine etkisini araştırmışlardır. Yapılan çalışma ile ana kil mineralinin kaolinit, smektit ve mika olduğunu tespit etmişlerdir. Yapılan deney sonuçlarına göre kil mineralinin zemin davranışı üzerinde aktif bir rol oynadığı, özellikle kaolinit mineralinin varlığının kıvam limitlerini etkilediğini ortaya koymuşlardır.

Gylland vd (2013), Tiller bölgesinde heyelan tehlikesi bulunan bölgede yer alan kil minerallerinin jeoteknik ve fiziksel özelliklerini belirlemişlerdir. Yapılan çalışma ile kil minerallerinin klorit ve illit olduğunu tespit etmişlerdir. Yapılan mekanik deneyler sonucunda drenajsız kesme mukavemetlerini 30 kPa ve 50 kPa arasında tespit etmişlerdir. Sonuç olarak yapılan çalışma ile bölgede yer alan killerin hafif aşırı konsolide kil olduğunu tespit etmişlerdir. Schmitz vd (2004), Atterberg limitlerinin kil mineralleri ile ilişkisini koymak için yapmış oldukları çalışmada hakim kil minerali olarak kaolinit ve smektit varlığını tespit etmişlerdir. Yitagesu vd (2012), şişme özelliği gösteren killer ile zeminlerin mühendislik davranışlarıyla ilişkisinin tespit edilmiştir. Bu çalışmada hakim kil minerallerinin montmorillonit ve illit olduğu tespit edilmiştir. Artan kil içeriğine oranla şişme değerleri arasında korelasyon olduğunu tespit etmişlerdir.

Yukarıda verilen bilgiler ışığında kil minerallerinin bileşiminin ve yüzdesel dağılımının zemin davranışı üzerinde etkili olduğu belirlenmiştir. Yapılan çalışmalar ile kil minerallerinin oluşum ortamı, fiziksel özellikleri, mekanik özelliklerinin doğru tespit edilmesi mühendislik jeolojisi açısından büyük öneme sahiptir. Yapılan bu çalışma ile Akgün vd (2018), Gylland vd (2013) yapmış oldukları çalışmada benzer kil minerallerinin varlığı tespit edilmiştir. Literatürde yer alan çalışma ile gerçekleştirilen bu çalışmada kil mineralinin zeminin şişme, konsolidasyon, oturma gibi davranışları üzerinde doğrudan etkili olduğunu ortaya koymuştur.

## 5. Sonuçlar

Nüfusun hızlı artış gösterdiği büyük kentlerde yerleşim yerlerine duyulan ihtiyaca bağlı olarak killi zeminlerin deformasyon davranışlarının incelenmesi büyük öneme sahiptir. Bu kapsamda zemin kıvamının, killi zeminlerin

deformasyon ve dayanım özellikleri üzerindeki etkisini araştırmak jeoteknik sorunları açısından önemli bir konu teşkil etmektedir. Bu çalışmanın temel amacı benzer su içeriklerine sahip olan ve iki grup altında incelenen düşük ve yüksek plastisiteli killerin zeminlerin artan su içeriğine bağlı olarak göstermiş oldukları davranışları belirlemektir.

Özellikle killi zeminlerin aynı bölge içerisinde farklı fiziksel ve mekanik davranış sergilemesi üzerinde yer alacak mühendislik yapılarında ani göçme, oturma gibi olumsuz etkilerin oluşmasına neden olabilmektedir. Bu sorunların araştırılması kapsamında arazi koşullarında alınan ve laboratuvar ortamında deneyleri yapıp yüksek ve düşük plastisiteli zemin sınıfları (CL ve CH) üzerinde üç eksenli sıkışma dayanımı deneyi yapılmıştır. Düşük ve yüksek plastisiteli killer, killerin mineralojisi, zeminin su içeriğine bağlı olarak farklı jeoteknik davranış sergilemektedir. Yapılan XRD analizi sonucunda kil mineralleri olarak klorit ve illit-mika belirlenmiştir. Klorit ve illit-mika minerallerinin varlığı zemin için olumsuz etki oluşturmaktadır. Özellikle klorit ve illit-mika minerallerinin dayanımlarının zayıf olması mühendislik yapılarında meydana gelebilecek olumsuzlukların ana nedenini oluşturmaktadır. Üç eksenli deney sonucunda 50 ve 100 kPa sabit hücre basıncında deney tabii tutulmuştur. Bunun sonucunda CL zemin sınıfındaki numunelerin 50 kPa hücre basıncında, 50-220 kPa basınç altında; 100 kPa hücre basıncında ise 120-360 kPa arasında; CH zemin sınıfındaki numunelerin ise 50 kPa hücre basıncı altında 20-120 kPa, 100 kPa hücre basıncında da 100-355 kPa arasında yenildiği görülmektedir. Bazı numunelerin hemen yüklemeye başlar başlamaz yenilmesinin en önemli nedeni ani göçmeye maruz kalmasıdır. Bu durumunun özellikle düşük plastisiteye sahip kil grubunda görülmesi bu durumu destekler niteliktedir. Yüksek plastisiteye sahip kil grubunda nispeten yüksek dayanım göstermesi numune içerisindeki suyun boşluk suyu basıncı oluşturarak dayanım gösterdiğine bağlanmaktadır. Bu durumun bir diğer önemli nedeni ise düşük plastisiteli killerin plastik davranış göstererek hemen kırılması, yüksek plastisiteli killerin ise daha elastik davranış göstererek nispeten daha uzun süre dayanabilmesidir. Çalışmadan elde edilen tüm bulguların birlikte değerlendirilmesiyle; hakim kil mineralinin klorit, illit-mika olduğu numunelerde farklı su içeriklerine ve plastisite durumuna bağlı olarak jeoteknik davranışları farklılık göstermektedir. Özellikle yüksek plastisiteye sahip ve su içeriklerinin yüksek olduğu numunelerin üç eksenli sıkışma dayanımına tabii tutulduğunda numunenin kırılmadığı, yalnızca şekil değiştirdiği görülmektedir. Tam tersi durumunda düşük plastisiteli ve düşük su içeriğine sahip numunelerin çok

çabuk kırıldığı tespit edilmektedir. Bu durumun kil minerallerinin ve kil dışı minerallerinin yüzdesel dağılımına ve su içerikleriyle olan ilişkisine bağlı olduğu düşünülmektedir. Buradan çıkartılacak sonuç klorit ve illit-mika minerali içeren bölgelerde su içeriklerine bağlı olarak yapılacak jeoteknik çalışmalarında bu durum dikkate alınmalıdır. Aksi takdirde mühendislik yapıları ciddi zararlar görebilecek olup çok ciddi can ve mal kaybına yol açabilecektir.

#### **Etik Standartlar Bildirgesi**

Yazarlar tüm etik standartlara uyduklarını beyan ederler.

Bu çalışma Prof. Dr. Ahmet YILDIZ ve Prof. Dr. Mahmut MUTLUTÜRK danışmanlığında Sami Serkan İŞOĞLU tarafından 26/07/2021 tarihinde tamamlanan "Erenler (Afyonkarahisar) Bölgesi Killerin Jeomühendislik Özelliklerinin İncelenmesi" başlıklı yüksek lisans (Tez no: 677654) tezinden türetilmiştir.

#### **Yazarlık Katkı Beyanı**

Yazar 1: Kaynakların Oluşturulması, Deneylerin Yapılması, Makalenin Yazımı, Şekillerin Çizilmesi

Yazar 2: Proje Yöneticisi, Makalenin Düzenlenmesi, Metodolojinin Oluşturulması, Okuma

Yazar 3: Proje Araştırmacısı, Deney Tasarımının Yapılması, Metodolojinin Oluşturulması, Son Okumanın Gerçekleştirilmesi

#### **Çıkar Çatışması Beyanı**

Yazarların bu makalenin içeriğiyle ilgili olarak beyan edecekleri hiçbir çıkar çatışması yoktur.

#### **Verilerin Kullanılabilirliği**

Bu çalışma sırasında oluşturulan veya analiz edilen tüm verilerin yazar ile iletişime geçilmesi sonucunda kullanım onayı alınabilecektir.

#### **Teşekkür**

Bu araştırma Afyon Kocatepe Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinatörlüğü tarafından desteklenmiştir (Proje No: AKU BAPK-20.FEN.BİL.08)

#### **6. Kaynaklar**

Akgün, H., Türkmenoğlu, G. A., Kelam, A. A., Yousefi-Bavil, K., Öner, G., Koçkar, K. M., 2018. Assessment of the effect of mineralogy in the geotechnical parameters of clayey soils: A case study for the Orta County, Çankırı, Turkey. *Applied Clay Science*, **164**, 44-53. <https://doi.org/10.1016/j.clay.2017.08.029>

Al-Zoubi, M. S., 2008. Swell characteristics of natural and treated compacted clays. *Electronic Journal of Geotechnical Engineering*, **13**, 18.

American Society for Testing and Materials D427-04, 2004. Standard Test Method for Shrinkage Factors of Soils by the Mercury Method. ASTM International.

Birrell, K. S., 1952. Physical Properties of New Zealand Volcanic Ash Soils. Conference on Shear Testing of Soils, Melbourne, Australia, 30-34.

Bo, W. M., Arulrajah, A., Sukmak, P., Horpibulsuk, S., 2015. Mineralogy and geotechnical properties of Singapore marine clay at Changi. *Soils and Foundation*, **55**, 600-613.

<https://doi.org/10.1016/j.sandf.2015.04.011>

Brindley, C. M., Brown, G., 1980. Crystal Structure of Clay Minerals and Their X-Ray Identification. *Mineralogical Society of Great Britain and Ireland*, **5**, 518. <https://doi.org/10.1180/mono-5>

Casagrande, A., 1948. Classification and identification of soils: transactions. *American Society of Civil Engineering*, **113**, 901-930. <https://doi.org/10.1061/TACEAT.0006109>

Egli, M., Mirabella, A., Fitze, P., 2001. Clay Mineral Formation In Soils Of Two Different Chronosequences In The Swiss Alps. *Geoderma*, **104**, 145-175. [https://doi.org/10.1016/S0016-7061\(01\)00079-9](https://doi.org/10.1016/S0016-7061(01)00079-9)

Genç, D., 2011. Zemin Mekaniği ve Temeller. TMMOB Mühendisleri Odası, Yayın No: 100.

Goldberg, I., and Klein, A., 1953. Some Effects of Treating Expansive Clays with Calcium Hydroxide. *American Society of the Testing Materials Special Publications* **142**, 53-67. <https://doi.org/10.1520/STP46254S>

Gücek, S., Zorluer, İ., 2019, Afyonkarahisar Uydulent Bölgesinin Zemin Mühendislik Özellikleri Haritalarının Üretilmesi ve Bölgenin Zemin Büyütmesinin Belirlenmesi. International Symposium on Innovations in Civil Engineering and Technology, Afyonkarahisar, 614-622.

Gylland, A., Long, M., Emdal, A., Sandven, R., 2013. Characterisation and engineering properties of Tiller Clay. *Engineering Geology*, **164**, 86-100. <https://doi.org/10.1016/j.enggeo.2013.06.008>

Hendrichs, S. B., Nelson, R. A., and Alexander, L. T., 1940. Hydration Mechanism of the Clay Mineral Montmorillonite Saturated with Various Ions. *Journal of the American Chemical Society*, **62**, 1457-1464. <https://doi.org/10.1021/ja01863a037>

Holtz, R. D., Kovacs, W. D., Sheahan, T. C., 2011. An Introduction to Geotechnical Engineering, 2nd edition. Pearson Education, Inc., Upper Saddle River, New Jersey, 853.

Hubert, F., Caner, L., Meunier, A., Lanson, B., 2009. Advances in characterization of soil clay mineralogy using X-ray diffraction: from decomposition to profile fitting. *European Journal of Soil Science*, **60 (6)**, 1093-1105. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2389.2009.01194.x>

Malizia, P. J., Shakoor, A., 2018. Effect of water content and density on strength and deformation behavior of clay soils. *Engineering Geology*, **244**, 125-131. <https://doi.org/10.1016/j.enggeo.2018.07.028>

Mielenz, R. C., King, M. E., 1952. Physical-Chemical Properties and Engineering Performance of Clays. *Clay and Clay Minerals*, **1**, 196-254. <https://doi.org/10.1346/CCMN.1952.0010122>



- Mitchell J K, Soga K, 2005. Fundamentals of Soil Behavior, 3rd edition. John Wiley and Sons, 577.
- Öcal, H., Turhan, N. ve Göktaş, F. 2011, 1:100.000 ölçekli Türkiye jeoloji haritaları Afyon K-25 paftası ve raporu. Maden Tetkik Arama (MTA) Genel Müdürlüğü Jeoloji Etütleri Dairesi Yayını, **159**, 33, Ankara.
- Özkaymak Ç, Sözbilir H, 2020, Structural Evidence For Extensional Domain-Type Geothermal Play in Western Anatolia: A Case Study From Afyon-Akşehir Graben. *Afyon Kocatepe Üniversitesi Journal of Science and Engineering*, **20(4)**, 693-702.  
<https://doi.org/10.35414/akufemubid.704433>
- Peck, R. B., Ireland, H. O., Fry, T. S., 1951. Studies of Soil Characteristics: The Earth Flows of St. Thuribe. Quebec University of Illinois Department of Civil Engineering, Soil Mechanics, **1**, 1-9.
- Saka A H, 1997. Mineralojik Analizler X-Işınları Toz Kırınım Yöntemlerinin Temel Prensipleri ve Laboratuvar Şartlarının Standardizasyonu.
- Samuels S G, 1950. The Effect of Base Exchange on the Engineering Properties of Soils. Building Research Station, Britain, Note C176.
- Schmitz M R, Schroeder C, Charlier R, 2004. Chemo-mechanical interactions in clay: a correlation between clay mineralogy and Atterberg limits. *Applied Clay Science*, **26**, 351-358.  
<https://doi.org/10.1016/j.clay.2003.12.015>
- Skempton A W, 1953. Soil Mechanics in Relation to Geology, Yorkshire Geological Society of A. Brown & Sons. Proceedings of the Yorkshire Geological Society, **29**, 33-62.  
<https://doi.org/10.1144/pygs.29.1.33>
- Tripathy B, Raha S, 2019. Formation of Soil. *Thematics Journal of Geography*. **8**.  
<https://doi.org/10.26643/tjg.v8i8.8140>
- Türk Standartları Enstitüsü, 1900-1, 2006a. İnşaat Mühendisliğinde Zemin Laboratuvar Deneyleri Bölüm 2: Mekanik Özelliklerin Tayini. Türk Standartları Enstitüsü.
- Türk Standartları Enstitüsü, 1900-2, 2006b. İnşaat Mühendisliğinde Zemin Laboratuvar Deneyleri Bölüm 1: Fiziksel Özelliklerin Tayini. Türk Standartları Enstitüsü.
- Yitagesu, A. F., Werff, V. D. H., Meer, V. D. F., Hecker, C., 2012. On the relationship between plasticity and spectral characteristics of swelling soils: The 3-5 µm wavelength region. *Applied Clay Science*, **69**, 67-78.  
<https://doi.org/10.1016/j.clay.2012.08.007>
- Xu, Y., Wu, S., Williams, J. D., Serati, M., 2018. Determination of peak and ultimate shear strength parameters of compacted clay. *Engineering Geology*, **243**, 160-167.  
<https://doi.org/10.1016/j.enggeo.2018.07.001>
- Yıldız, A., 2000. Bentonitlerin Teknolojik Özelliklerini Belirleme Yöntemiyle Kullanım Alanlarının Tespiti, 61.
- White, W. A., 1955. 'Water Sorption Properties of Homoionic Clay Minerals, *Clays and Clay Minerals*, **3**, 186-204.  
<https://doi.org/10.1346/CCMN.1954.0030116>
- Winterkorn, H. F., 1950. Engineering Properties of Clay Soils. Winterkorn Road Research Institute. **71 (4)**, 326.  
<https://doi.org/10.1097/00010694-195104000-00014>