



INM 308

Zemin Mekaniği

Kil Mineralleri ve Zemin Yapısı

Doç. Dr. İnan KESKİN

inaneskin@karabuk.edu.tr, inaneskin@gmail.com

www.inaneskin.com

ZEMİN MEKANİĞİ

Haftalık Konular

Hafta 1:	Zemin Etütleri Amacı ve Genel Bilgiler
Hafta 2:	Kil Minarelleri ve Zemin Yapısı
Hafta 3:	Zeminlerde Kayma Direnci Kavramı, Yenilme Teorileri
Hafta 4:	Zeminlerde Kayma Direncinin Ölçümü; Serbest Basınç Deneyi, Kesme Kutusu Deneyi, Üç Eksenli Basınç Deneyi, Vane Kanatlı sonda Deneyi
Hafta 5:	Zeminlerde Kayma Direncinin Belirlenmesine Yönelik Deneyler; Laboratuvar Uygulaması
Hafta 6:	Zeminlerde Kayma Direncinin Belirlenmesine Yönelik Problem Çözümleri
Hafta 7:	Yanal Zemin Basınçları
Hafta 8:	Yanal Zemin Basınçları; Uygulamalar
Hafta 9:	Yamaç ve Şevlerin Stabilitesi; Temel Kavramlar
Hafta 10:	Yamaç ve Şevlerin Stabilitesi Örnek Problemler
Hafta 11:	Zeminlerin Taşıma Gücü; Sığ Temeller
Hafta 12:	Zeminlerin Taşıma Gücü; Kazıklı Temeller
Hafta 13:	Zemin Sıvılaşması ve Analizi
Hafta 14:	Genel Zemin Mekanik Problem Çözümleri
Hafta 15:	Final Sınavı

KİLİN TANIMI



Kil, doğada yaygın olarak bulunan kimyasal bileşimi hidratlı alüminyum ve magnezyum silikatlardan oluşan, kayaların kimyasal ayrışmasıyla oluşmuş, tane boyu çok küçük (< 2 mikron) doğal bir malzeme olarak tanımlanabilir.

Kilin mühendislikteki tanımı ise; su ile karıştırıldığında hamur gibi kolayca şekil verilebilen (plastiklik özelliği), **kuruduğu zaman dayanımı artan**, kohezif özelliğe sahip, ısladığı zaman şişen, kuruduğu zaman büzülen ve sıkıştığı zaman suyunu dışarı atabilen kolloidal (çapları 1 mikrondan daha az) tane boyundaki ince dokulu malzeme olarak tanımlanabilir (Kasapoğlu, 1989).



Plastiklik, mekanik gerilim altında uğradığı biçim değişimini, bu etki kalktıktan sonra da sürdürme özelliği (geoteknik mühendisliğinde genellikle su içeriği cinsinden ifade edilir (PL)).

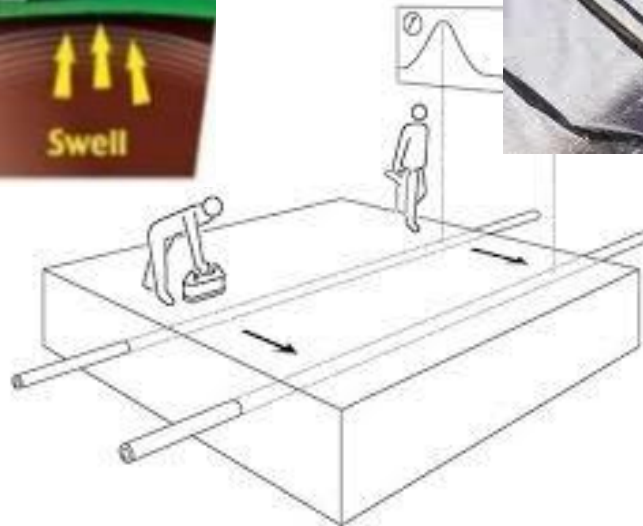
KİLLER ve NEDEN OLDUĞU PROBLEMLER

Özellikle kurak iklimli bölgelerde suya doygun olmayan killi zeminlerin su muhtevastındaki artış, önemli hacim değışikliklerini oluşturmaktadır. Bu tür zeminlerin su ile temas etmesi halinde meydana gelen hacim değışikliklerinin büyük olması ve oluşan hacim değışiminin üst yapı veya var olan mühendislik yapıları tarafından engellenmesi ile ortaya çıkan basınç, yapılarda büyük maddi hasara neden olabilmektedir. Suya doygun olmayan bazı kil zeminlerin su ile etkileşimde bulunarak bünyelerine su alması ve buna bağılı olarak gelişen hacim artışı ve ortaya çıkacak ilave basınç, kilin **şışme (swelling)** özelliğı olarak tanımlanmaktadır. Oluşan bu basınçlar; **temel sisteminde veya döşeme elemanında mimari ve hatta yapısal hasarlar** oluşturabilmektedir.



KİLLER ve NEDEN OLDUĞU PROBLEMLER

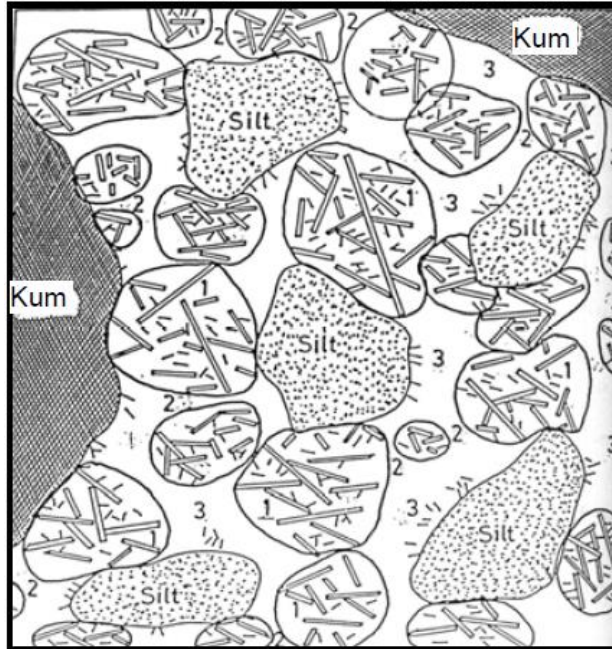
Ağırlığı oldukça düşük olan kaldırımlarda, karayollarında ve havaalanı pistlerinde, şişme problemi sık sık görülmektedir. Ayrıca sistemin zaman zaman yüklenip boşaltıldığı, sızma ve kaçak sularından dolayı temel zemininin su ile temas etme ihtimalinin yüksek olduğu kanal kaplaması, borulu sulama ve içme suyu şebekeleri gibi hafif su yapılarında çatlama, kırılma ve kabarma, ve sifon, menfez ve sel alt geçidi gibi yardımcı yapılarda da yer değiştirme, dönme ve devrilme problemleri ile karşılaşmaktadır.



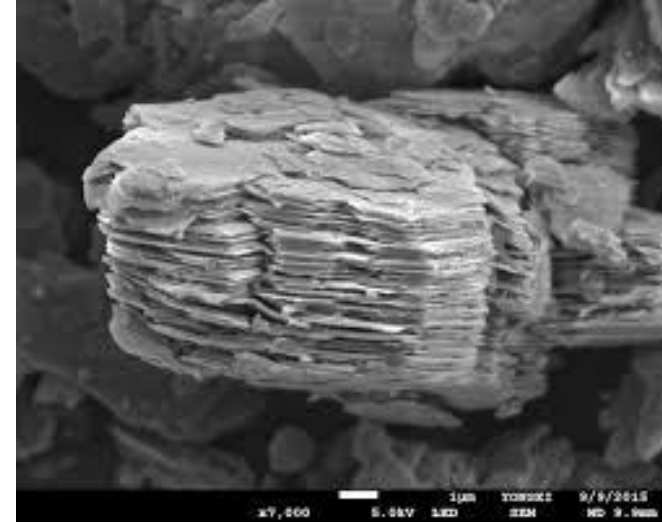
KİL MİNERALLERİNİN OLUŞUMU VE YAPISI

Genel olarak zemin sınıflama sistemlerinde kil taneleri, 2 mikron (0.002 mm) veya daha küçük tane çapına sahip *hidratlı alüminyum veya magnezyum silikat*lardan oluşan ikincil minerallerdir. Partiküller veya kolloidal boyutta taneler olarak bulunurlar.

Başlıca volkanik veya tortul kayaçların ayrışmasından ayrılarak bir dizi karmaşık süreçler sonucunda oluşurlar. Şişen killer, bol miktarda silikat mineralleri içeren, bazik–ultra bazik volkanik kayaçların, metamorfik kayaçların, kumtaşı ve şeyllerin atmosfer etkilerine maruz kalması, oksidasyon redüksiyon, hidrasyon-dehidrasyon, iyon değişimi, taşınma vb. jeolojik süreçler sonucunda meydana gelmektedir.



- 1- Kümeleşmiş kil yapısı içindeki boşluklar
- 2- Kümeleşmiş partiküller arası boşluklar
- 3- Kümeleşmiş yapılar arasındaki büyük boşluklar



Kil zemin mikro yapısının şematik gösterimi (Mitchell, 1993).

KİL MİNERALLERİNİN OLUŞUMU VE YAPISI

Kil minerallerinin türü, kökenleri ve oluşma ortamları ile yakından ilgilidir.

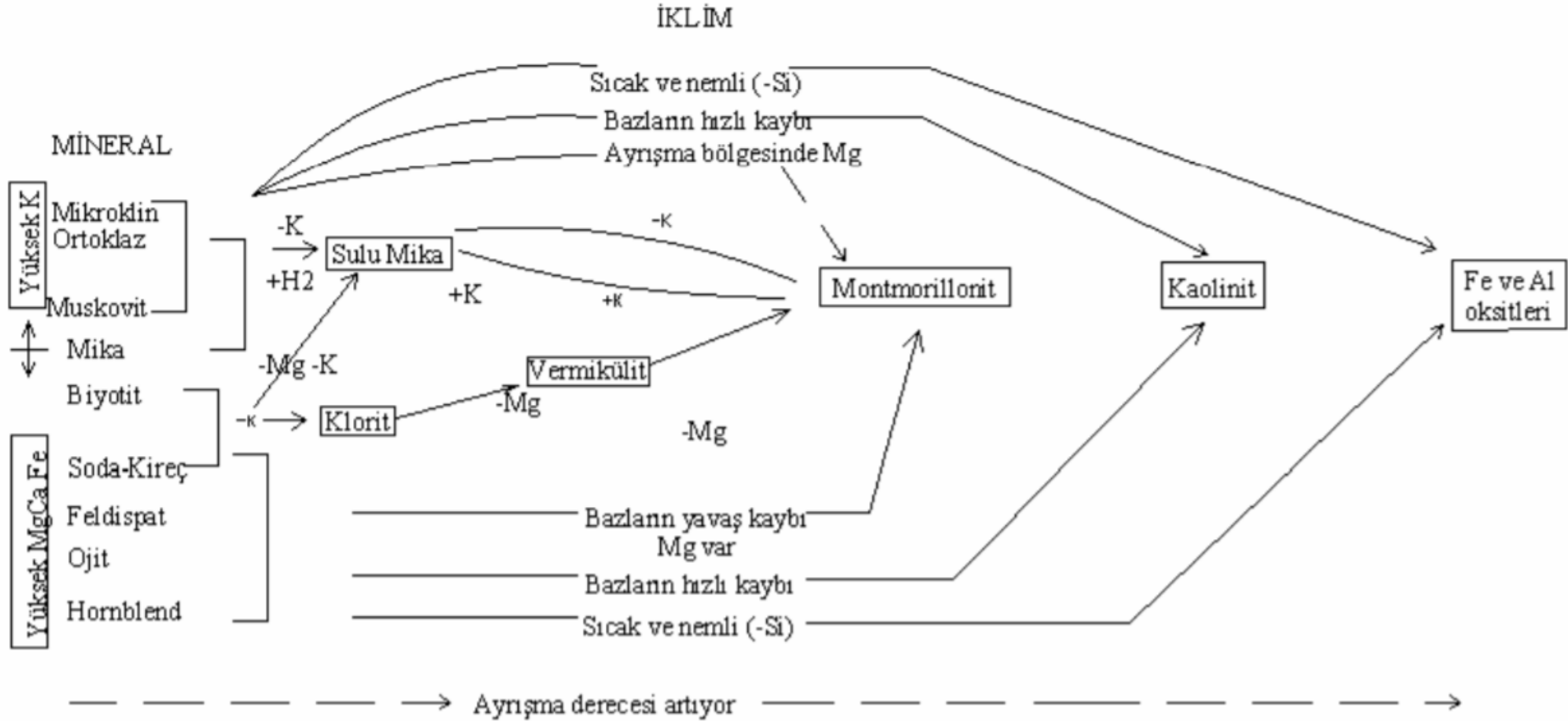
Kayacın kile dönüşmesi ve kilin karakterini kazanmasında aşağıda belirtilen faktörler önemli rol oynar ;

- yağış,
- ortam sıcaklığı,
- nemlilik,
- yer altı suyu seviyesi,
- drenaj koşulları,
- pH ve tuzluluk,
- bitki örtüsü,
- eğim
- ana kayaç türü



Dolayısı ile killerin mineral yapılarının, oluşum koşulları ve kökenleri ile birlikte değerlendirilmesi zemin yapısını daha gerçekçi tanımak, muhtemel mühendislik problemlerini tahmin etmek yönünden önemlidir. Ayrıca, geniş ölçekli alan çalışmalarında çalışmaya yön vermekte ve alanın geo-jeoteknik karakterini daha iyi anlamaya imkan tanımaktadır.

KİL MİNERALLERİNİN OLUŞUMU VE YAPISI



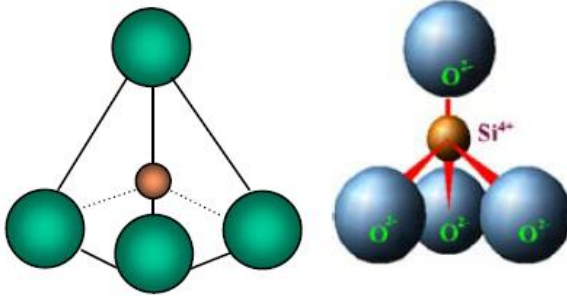
Killeşme akış diyagramı Önalp, A., 2002.

KİL MİNERALLERİNİN OLUŞUMU VE YAPISI

Tek başına tane boyutu, kil partiküllerinin davranışını belirlemede yeterli bilgiyi sağlamaz mineralojik özelliklerinin iyi analiz edilmesi gereklidir.

Her kil minerali; **Silis tetrahedron (dört yüzlü)** ile **Alüminyum** veya **Mağnezyum oktahedron (sekiz yüzlü)** olmak üzere iki adet kristal levhadan oluşmaktadır. Bu levhalar değişik bağlar ve farklı metalik iyonlarla birbirine bağlanarak farklı kil minerallerini oluşturur.

Tetrahedron Yapı

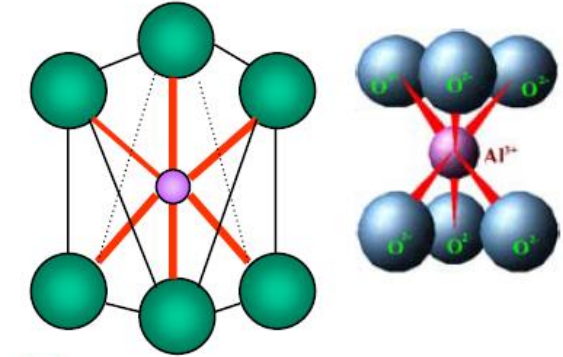


● Oksijen (anyon)

● Silika (katyon)

 **Temsili**

Oktahedron Yapı



● Oksijen veya Hidroksil (anyon)

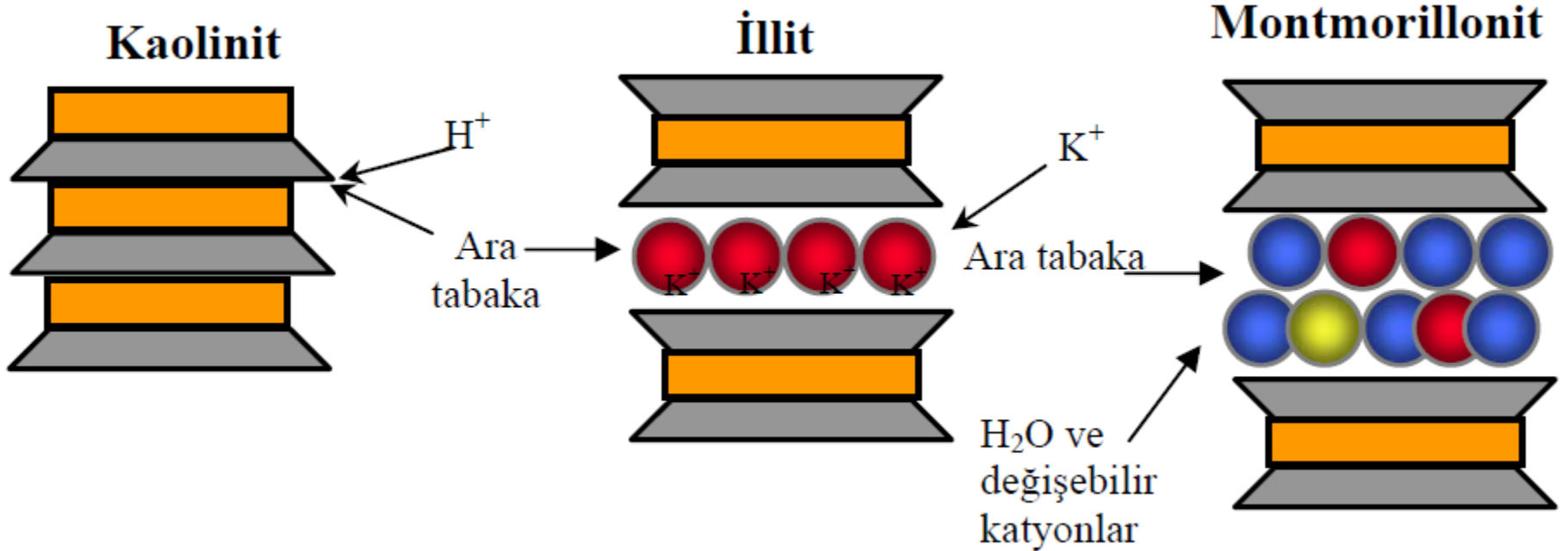
● Alüminyum (katyon)

 **Temsili**

Oktahedral levhada farklı katyonların yer değiştirmesi çok yaygın bir süreç olup bunun sonucunda farklı mineraller ortaya çıkmaktadır. Mühendislik uygulamalarında kil minerallerinde bulunan sadece birkaç yaygın mineralin tanımlanması yeterlidir.

KİL MİNERALLERİNİN OLUŞUMU VE YAPISI

Oktahedron ve tetrahedron yapılar, oktahedron ve tetrahedron levha şekillerini alarak birlikte polimer yapı oluşturur. Oluşan levhaların birleşimi ve düzenlenmesi, farklı yapıların oluşmasına sebep olur. Temel yapıdaki değişimler neticesinde bilinen kil mineralleri oluşur. Sonuç olarak tüm kil mineralleri, iki temel levha yapısının değişik şekillerde (1:1, 2:1) bir araya gelmesi ile oluşur.

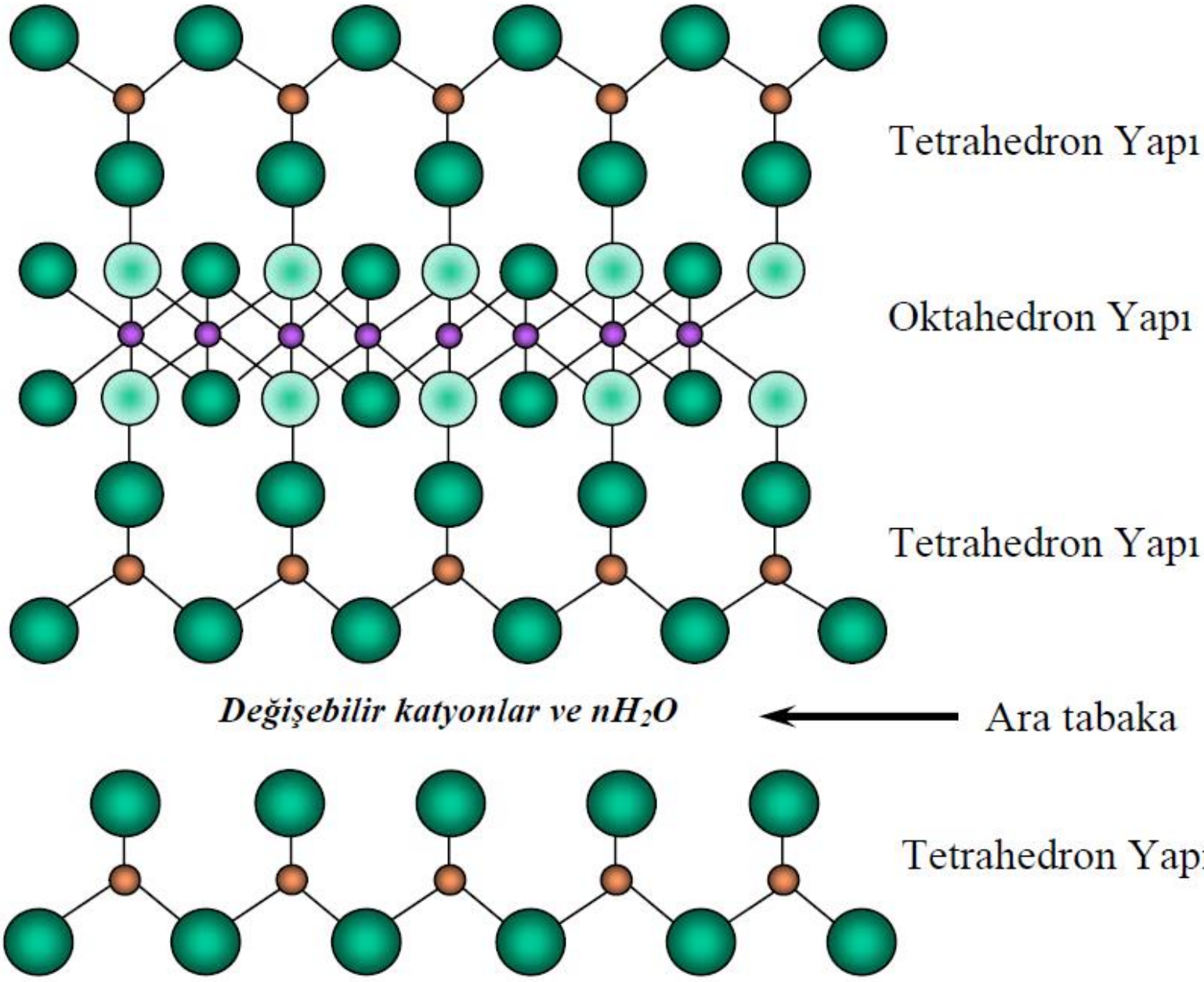


KİLLERİN SINIFLANDIRILMASI

Kilin türü; zeminin geçirimsizliğine, şişme-büzülme davranışına, sıkışabilirlik ve kayma direnci gibi önemli özelliklerini doğrudan etkilemektedir.

TABAKA YAPISI	GURUP VE BİRİM YÜK x	ALT GURUP	KILIN TÜRÜ
1 : 1	KAOLİNİT - SERPANTİNİT $x \approx 0$	Kaolinit Serpantin	kaolinit, dickit lizardit halloysit
2 : 1	PROFİLLİT-TALK $x \approx 0$ SMEKTİT $x \approx 0.2-0.6$	Profillitler Talkler Dioktahedral smektit Trioktahedral smektit	profillit talkler montmorillonit, beidellit saponit, hektorit
2 : 1	VERMİKÜLİT $x \approx 0.6-0.9$ MİKA $x \approx 1$ GEVREK MİKA $x \approx 2$	Dioktahedral vermikülit Trioktahedral vermikülit Dioktahedral mika Trioktahedral mika Diokt. gevrek mika Triokt. gevrek mika	dioktahedral vermikülit trioktahedral vermikülit muskovit biyotit margarit klintonit
2 : 1 : 1	KLORİT x değişken	Dioktahedral klorit Di/Tri-oktahedral klorit Trioktahedral klorit	donbasit sudoit klinoklor

KİLLERİN SINIFLANDIRILMASI



KİLLERİN SINIFLANDIRILMASI

Kil mineralleri yapısal oluşum açısından değerlendirildiğinde, her grup benzer mühendislik özelliği gösterdiğinden dolayı yapısal gruplamalar daha uyumlu olmaktadır.

Mühendislik amaçlı sınıflamalarda, kil mineralleri genellikle üç grup içinde değerlendirilir:

- **Kaolinit grubu;** genellikle genleşmez. **Kaolinit, Dikit ve Nakit, Hallosit, Düzensiz kaolinitler, Serpantinler** alt grunbunda bulunur. Kaolinit orta derece bir plastisiteye sahiptir ve diğer kil minerallerinden daha büyük içsel sürtünmeye sahiptir. Bu gruptaki minerallerin özgül ağırlıkları $2.6-2.68 \text{ gr/cm}^3$ ve özgül yüzeyleri $10 \text{ m}^2/\text{gr}$. civarındadır.
- **Mika grubu;** **Mikalar, Pyrofilit ve talk, Hallosit, İllit, Politip muskovit, Glokonit ve glokoniler ve vermikulit** tipi killeri içerir, fakat genleşmeleri önemli problemlere neden olmaz.
- **Smektit grubu;** montmorillonitleri kapsar. Yüksek şişme potansiyeline sahiptir. En problemlili kil mineral tipidir.

Karışık Tabakalı Killer

İllit-Montmorillonit (İ-M), Montmorillonit-Vermikülit (M-V), İllit-Vermikülit (İ-V), Montmorillonit-Klorit (M-K), İllit-Klorit (İK9, Vermikülit-Klorit (V-k)), şeklindedir.

KİLLERİN SINIFLANDIRILMASI

Şişmeye neden olan kil minerallerinin oluşumu, ana kayanın ayrışma şartlarına ve mevsimsel özelliklerine göre farklılık göstermektedir. Genel olarak kil mineralleri volkanik kökenli ana kayanın kimyasal yollarla ayrışması sonucu oluşmaktadır.

Kil Minerali	Oluşumu
Kaolinit	Volkanik kayaçların aşınması sonucu genellikle tropik ve astropik alanlarda oluşur.
Klorit	Metamorfik ana kaya alanlarında, genellikle deniz tortularında ve çökelti kayalarda oluşur. Normal olarak yüksek oranlarda bulunmaz.
İllit	Sıcak ve kurak bölgelerde çökelti kayaların aşınması ile oluşur.
Montmorillonit	Zayıf drenaj şartlarında volkanik kül ve kayaların aşınması sonucu, genellikle kurak alanlarda illit ile beraber bulunur.

Kil minerallerinin iklim ve ana kaya koşullarına göre oluşumu (Genç, 2009)

KİLLERİN SINIFLANDIRILMASI

Özellik	Montmorillonit	İllit	Kaolinit
Tane Boyutu (μm)	0.01-1.0	0.02-2.0	0.5-5.0
Tane Şekli	Eş boyutlu yaprak	Pul	6 köşeli pul
Dış Yüzey Alanı (m^2/g)	70-120	70-100	10-30
İç Yüzey Alanı (m^2/g)	550-650	-	-
Plastisite	Yüksek	Orta	Düşük
Likit Limit	110-710	60-120	29-70
Plastisite İndisi	51-100	34-60	26-38
Kohezyon	Yüksek	Orta	Düşük
Şişme Kapasitesi	Yüksek	Orta	Düşük
Elektrik Yükü	0.5-0.9	1.0-1.5	0
KDK (meq/100g)	80-150	10-40	3-15
Özgül Gravite	2,35-2,7	2,6-3,0	2,6-2,8
Tabakalar arası mesafe (nm)	1.0-2.0	1.0	0.7
Tabakalar arası bağ	Van der Waal's bağları (zayıf çekim kuvveti)	Potasyum iyonları	Hidrojen
Net negatif yük (cmol_c/kg)	80-120	15-40	2-5

Kil minerallerinin karşılaştırmalı özellikleri (Mitchell, 1993).

ŞİŞME MEKANİZMASI VE ETKİLEYEN FAKTÖRLER

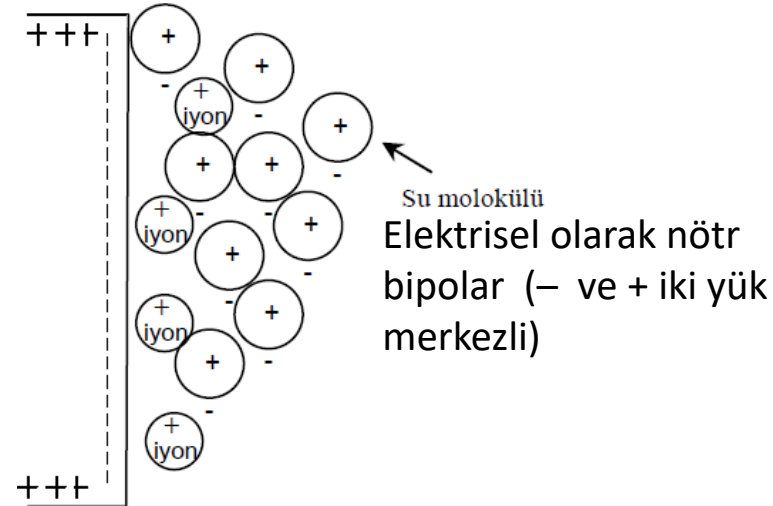
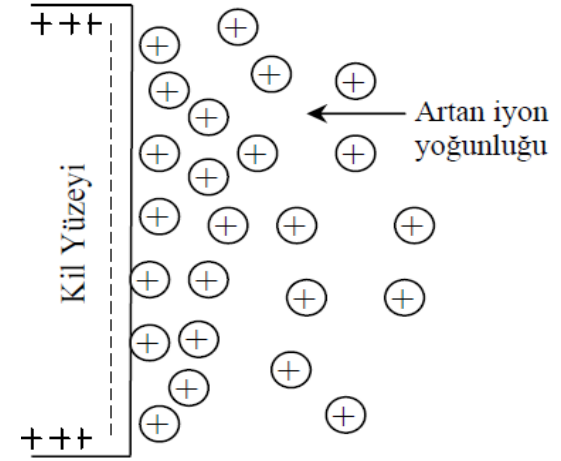
Termodinamik bakış açısından zemin içindeki suyun enerjisi serbest suyunkinden daha az olduğu sürece, su zemin içine doğru hareket eder. **Kum zemin içinde su önemli bir hacim değişikliği oluşturmaksızın boşlukları doldururken, kil zeminlerde genellikle hacim artışı oluşturur ve şişme meydana gelir.**

Kil mineralleri, genellikle yüzeylerinde negatif ve uç kısımlarında ise pozitif elektrik yüklerine sahip tabakalı partiküllerdir.

Su elektriksel olarak nötr olsa da biri negatif biri de pozitif olmak üzere iki yük merkezi bulunmaktadır. Periyodik tabloda aynı kolan (H_2S) ve aynı sıradaki (NH_3) gibi elementlere bakınca gaz olması gerekirken hidrojen bağları nedeniyle sıvı durumdadır.

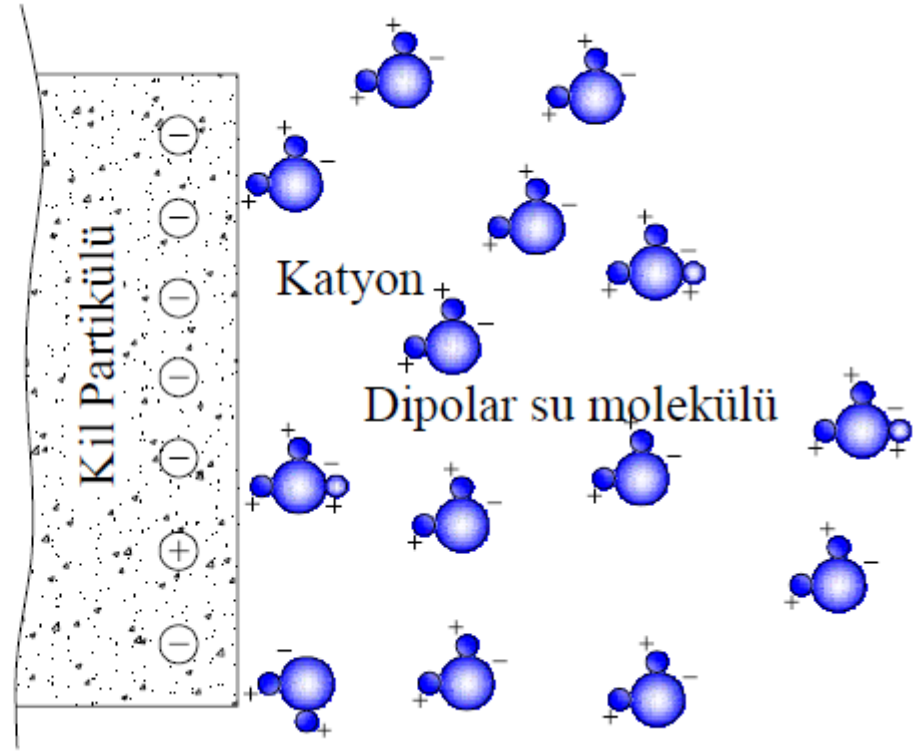
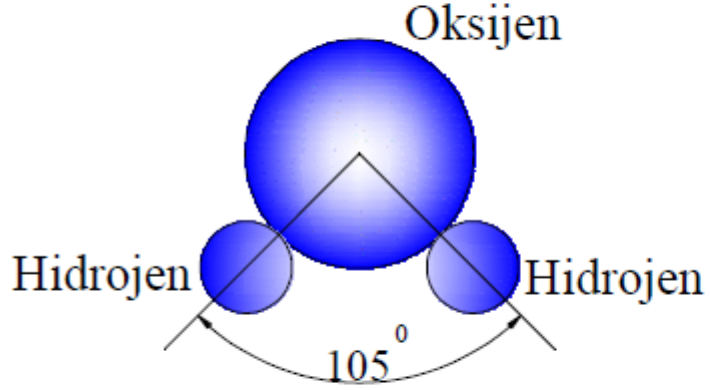
Kil partikülü etrafında suyu nasıl absorblanır?

Yukarıda belirtilen sebeplerden ötürü su molekülü kil kristalin yüzeyi tarafından **elektrostatik** olarak çekilmektedir. Buna ek olarak su, kil kristali tarafından **hidrojen bağı** ile tutulur. Başka bir ifade ile sudaki hidrojen kil yüzeyindeki oksijenler veya hidroksiller tarafından çekilir. Üçüncüsü **negatif yüklü kil yüzeyi su içerisindeki katyonları çekmektedir.**



Kil yüzeyi ve adsorbe edilen su mekanizması (Mitchell, 1993).

ŞİŞME MEKANİZMASI VE ETKİLEYEN FAKTÖRLER



a) Suyun dipolar karakteri b) Diffüz çift tabakada dipolar moleküllerin çekimi (Das 2002).

ŞİŞME MEKANİZMASI VE ETKİLEYEN FAKTÖRLER

Faktörler	Tanımlama
<u>Zemin özellikleri</u>	
Katı Madde İçeriği:	Montmorillonit içeren aktif kil mineralleri ve montmorillonit ve diğer kil minerallerinin kombinasyonu ile oluşan karışık tabakalı killer
Boşluk Sıvısı Tuz : Kombinasyonu	Boşluk sıvısındaki yüksek katyon konsantrasyonu şişme özelliğini azaltma eğilimindedir. Osmoz yoluyla şişme uzun sürede önem kazanır.
Boşluk Sıvısı İçeriği:	Tek değerlikli katyonların fazlalığı büzülme-şişme özelliğini artırır. İki ve üç değerlikli katyonlar ise büzülme-şişme özelliğini engeller.
Kuru Yoğunluk:	Yüksek kuru yoğunluk, partiküllerinin daha sıkı dizilmelerine ve şişmenin artmasına yol açar.
Yapı:	Foleküler yapılar, dağınık yapılara oranla daha fazla şişerler, çimentolanmış partiküller ise daha az şişerler. Ayrılmış dokular şişmenin artmasına yol açarlar.

İklim:	Kurak iklimler kurumayı artırırken, ılıman iklimler, zeminin nemli kalmasına neden olurlar.
Yeraltı Suyu:	Yüzeysel ve değişken yer altı suyu zemin nemine kaynak oluşturur ve şişmeye yol açar.
Drenaj:	Yetersiz yüzey drenajı nem birikimi ve göllenmeye neden olur.
	neden olur.
Bitki Örtüsü:	Ağaçlar, çalılar, otlar zemin neminin azalmasına yol açarlar. Bitki örtüsünün alındığı yerlerde ise nem birikimi oluşur.
Yanal Basınç:	Yüksek yanal basınç, şişmenin azalmasına yol açar. Kazı alanları daha fazla şişerler.
Arazi Permeabilitesi:	Figürler, permeabiliteyi önemli ölçüde artırır ve daha çabuk şişmeye neden olurlar.

KİLLİ ZEMİNLERDE ŞİŞME ÖZELLİĞİNİN TANIMLANMASI

Şişme özelliği olan, kısmen doygun zeminler, su ile karşılaştıklarında, hacim değiştirirler ve şişmelerine engel olunduğu takdirde ise basınç uygularlar. Bu basınç '**şişme basıncı**' olarak adlandırılır. Şişen zeminlerin bu özelliklerini ölçmek amacıyla, uygulanan deneysel yöntemler; '**şişme potansiyeli**' olarak adlandırılan '**şişme yüzdesi**' ya da '**şişme basıncını**', suya doygun hale gelinceye kadar ölçmeye dayanırlar.

Şişme yüzdesi laboratuvarlarda belli şartlarda sıkıştırılmış veya tabii (örselenmemiş) bir zemin numunesinin belirli yük altında, sıfır yanal deformasyon durumunda suya doygun hale gelinceye kadar göstermiş olduğu düşey şişme miktarının, numunenin ilk yüksekliğinin yüzdesi olarak ifadesidir. Bu değer, sıfır yanal deformasyon şartlarında aynı zeminde hacimsel artış yüzdesidir.

$$S = \frac{H_1 - H_0}{H_0} \times 100\%$$

S - Şişme yüzdesi,

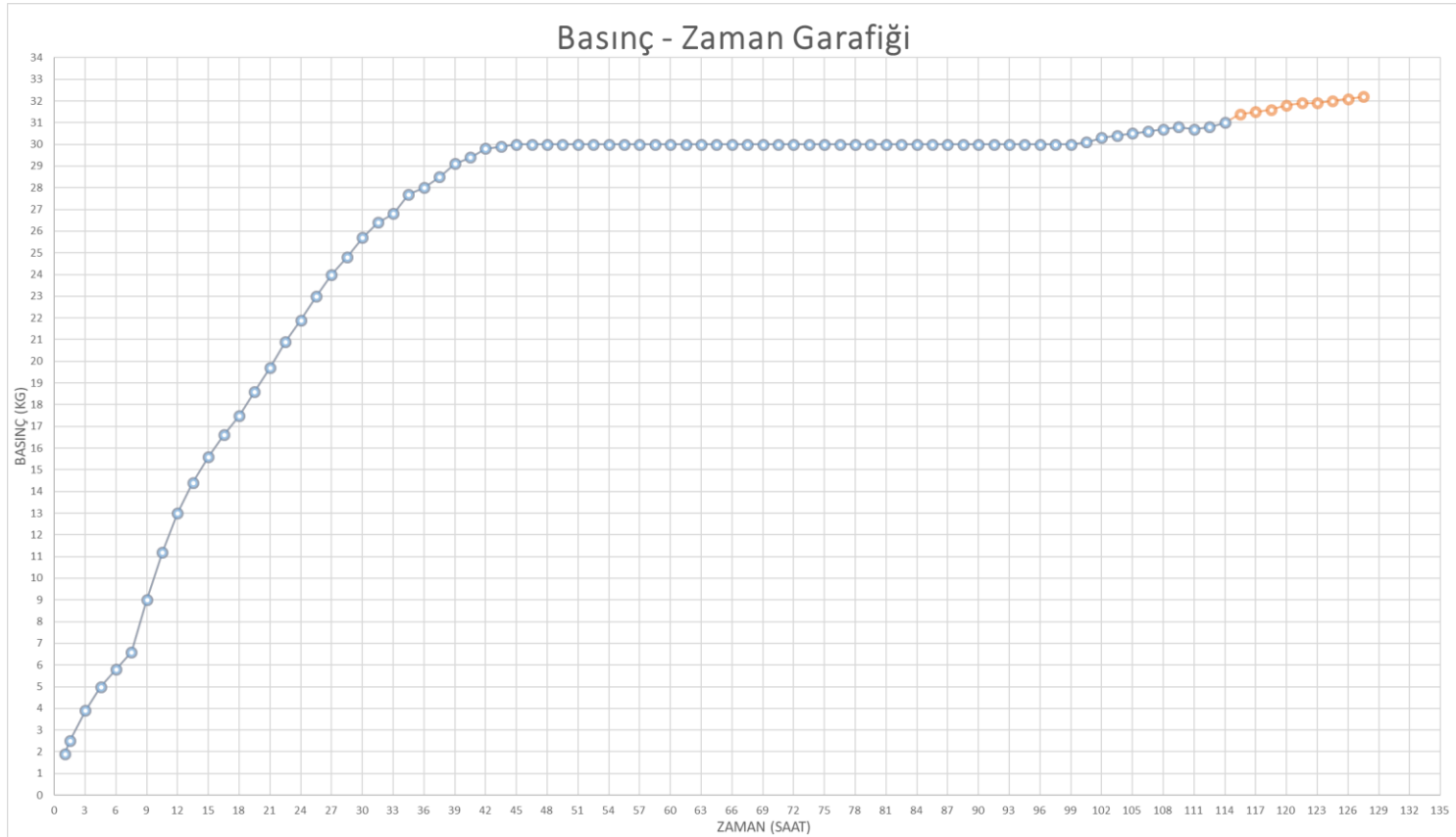
H_0 - Numunenin başlangıç yüksekliği,

H_1 - Şişme sonrasındaki numune yüksekliğidir.

Yüksek kaliteli ticari bentonitin (sodyum montmorillonit) serbest şişmesi, %1200-2000' dir. Holtz ve Gibs (1956), %100 gibi düşük şişme yüzdesine sahip bir zeminin arazide hafif yükleme altında ıslatıldığında önemli miktarda şişme oluştuğunu göstermişlerdir. %50'nin altında serbest şişme gösteren zeminlerin önemli şişme değişimi göstermediği kabul edilmektedir.

KİLLİ ZEMİNLERDE ŞİŞME ÖZELLİĞİNİN TANIMLANMASI

Şişme basıncı Şişen zeminlerin, suyla temasa geçmeleri sonucunda, matris emmedeki azalma nedeniyle ortaya çıkan hacim artışları engellenmeye çalışıldığında, bir basınç meydana gelmekte ve bu basınç şişme basıncı olarak isimlendirilmektedir. Buna, zeminin başlangıç hacmini koruyabileceği basınç da denebilir. Şişme basıncı, belli bir zemin için sabittir ve başlangıçtaki kuru birim hacim ağırlığına bağlıdır. Şişme basıncı deneyleri de ödometre koşullarında gerçekleştirilir. Bu değer bazı zeminlerde 1100 kPa (110 t/m²) ulaşabilir.



KİLLİ ZEMİNLERDE ŞİŞME ÖZELLİĞİNİN TANIMLANMASI

Şişme özelliği olan zeminlerin şişme karakteristiklerini ölçmek amacıyla, çok sayıda deney ve değerlendirme yöntemi bulunmasına karşın, bunlardan hiçbiri uluslararası hatta geniş kullanım alanına sahip değildir.

Bu yöntemler temelde iki grupta toplanabilirler.

Bunlardan ilki 'niteliksel' yöntemler olup; atterberg limitleri, kolloid içeriği, birim hacim ağırlıkları v.s. Gibi yaygın zemin parametreleri ile korelasyonlara gidilerek zeminin şişme potansiyelini 'düşük', 'orta', 'yüksek', 'çok yüksek' gibi ifadelerle, ve ampirik yöntemle değerlendirmeye dayanmaktadırlar.

İkinci grup ise 'niceliksel' yöntemleri içermektedir. Bu yöntemde ise, ödometre kullanılarak zeminin tek eksenli şişme değerleri elde edilir.

KİLLİ ZEMİNLERDE ŞİŞME ÖZELLİĞİNİN TANIMLANMASI

Nitel yöntemler

Laboratuvar ve Arazi Verileri			Muhtemel şişme (toplam hacim değişikliğinin yüzdesi), %	Şişme derecesi
200 no'lu elekten geçen (%)	Likit Limit (%)	N-Darbe direnci		
>95	>60	>30	>10	Çok yüksek
60-65	40-60	20-30	3-10	Yüksek
30-60	30-40	10-20	1-5	Orta
<30	<30	<10	<1	Düşük

Zeminin fiziksel özellikleri ve SPT verilerine dayalı şişen zemin sınıflaması (Chen, 1988)

İndis Deney Sonuçları			Muhtemel şişme (toplam hacmin değişikliğinin yüzdesi), %	Şişme derecesi
Kolloidal yüzde (<0.001 mm)	Plastisite İndisi	Rötre Limiti		
>28	>35	<11	>30	Çok yüksek
20-31	25-41	7-12	20-30	Yüksek
13-23	15-28	10-16	10-20	Orta
<15	<18	>15	<10	Düşük

Yüksek plastisiteli killer için zemin indis özelliklerine bağlı muhtemel hacim değişikliği ilişkisi (Holtz and Gibbs, 1956).

KİLLİ ZEMİNLERDE ŞİŞME ÖZELLİĞİNİN TANIMLANMASI

Nitel yöntemler

Şişme Potansiyeli	Plastisite İndisi
Düşük	0-15
Orta	10-35
Yüksek	20-55
Çok yüksek	≥35

Plastisite indisine dayalı şişen zemin sınıflaması (Chen,1988)

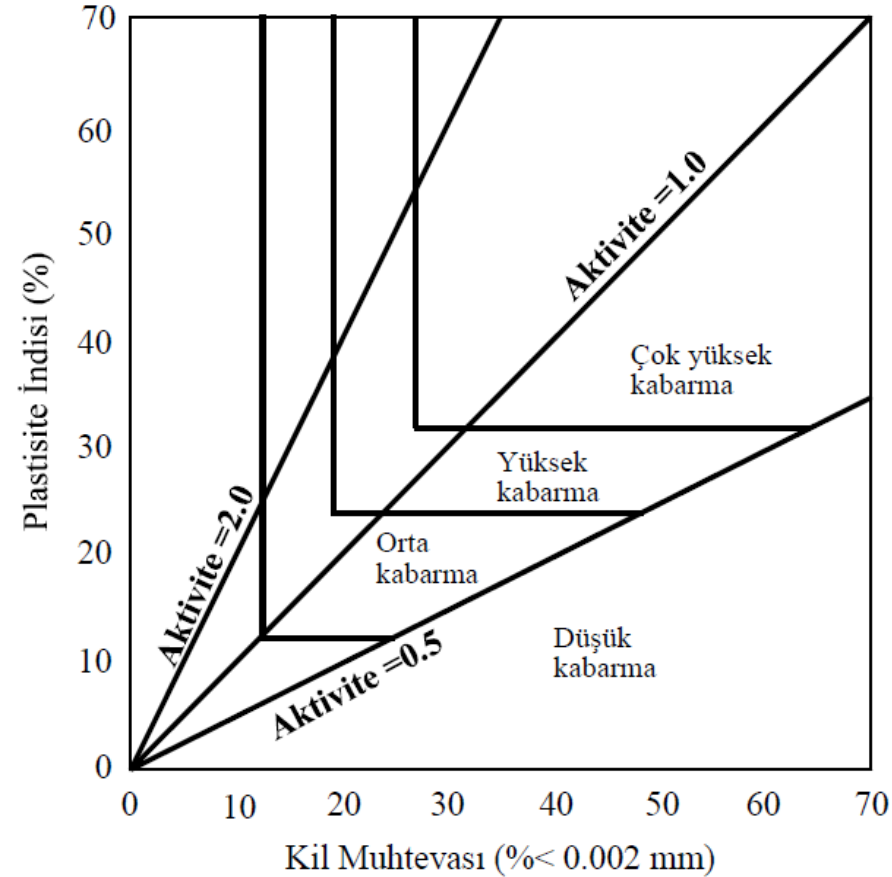
Zemin aktivitesi genellikle, değişen nem koşulları altında zeminin su alma ve verme kabiliyeti için kullanılan bir terimdir.

Kıvam limitleri, metilen mavisi absorpsiyonu ve katyon değişirme kapasitesi gibi zeminin fiziksel özelliklerinden belirlenebilmektedir.

$A < 0.75$ ise aktif olmayan, $0.75 < A < 1.25$ ise normal, $A < 1.25$ ise aktif. (Skempton (1953))

$$A = \frac{PI}{C}$$

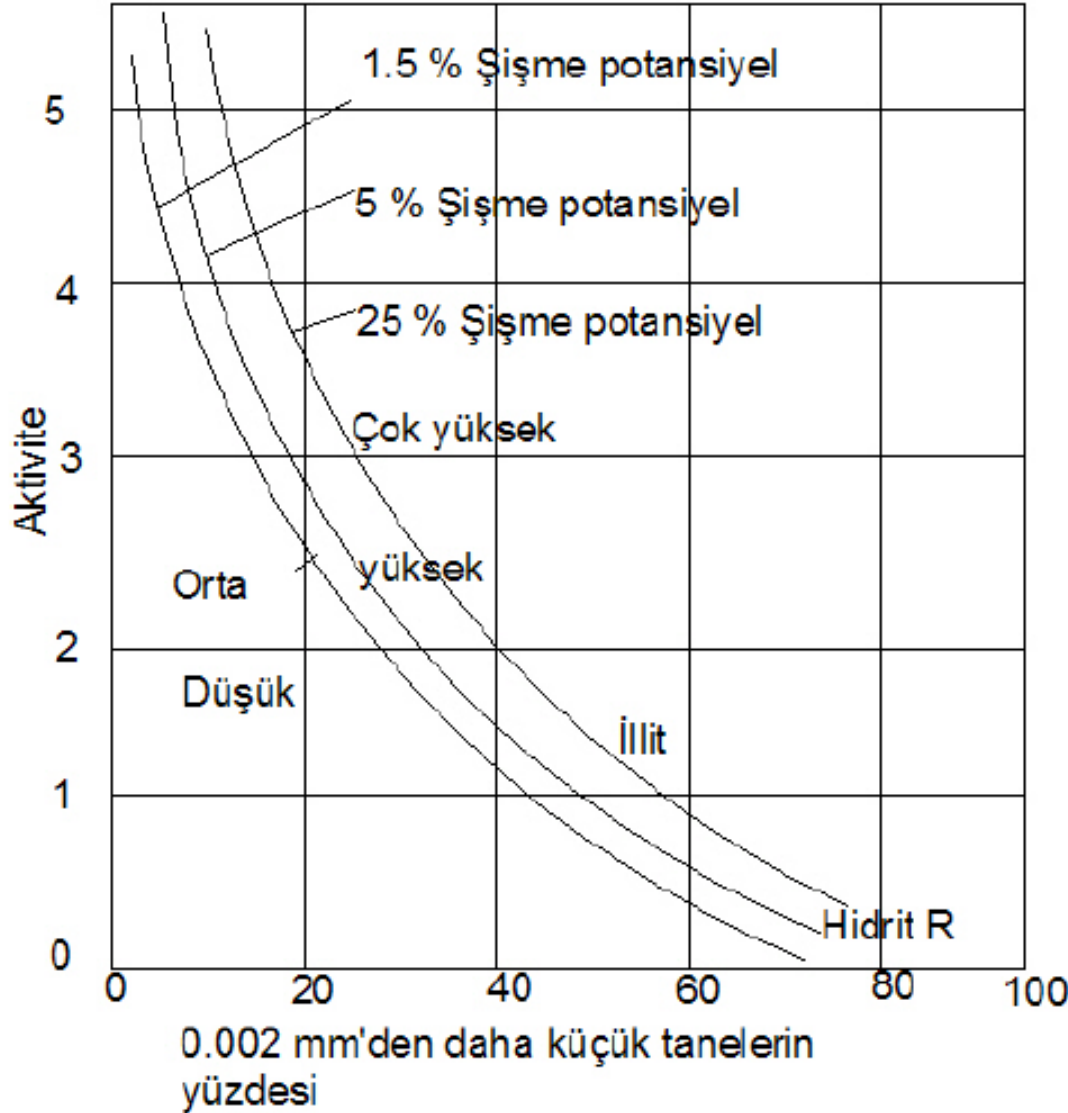
A - Aktivite,
 PI - Plastisite indisi,
 C - Kil yüzdesidir.



Şişme potansiyeli tahmini (Van Der Merve ,1964).

KİLLİ ZEMİNLERDE ŞİŞME ÖZELLİĞİNİN TANIMLANMASI

Nitel yöntemler



Şekercioğlu (1998), şişme potansiyelini ampirik bir metotla belirlemek için bir bağıntı vermiştir.

$$S = 3,6 \cdot 10^{-5} \cdot A^{2.44} \cdot C^{3.44}$$

S=Şişme potansiyeli

A=Aktivite

C=Kil yüzdesi (<0.002 mm)

Şişme potansiyeline göre sınıflandırma (Seed ve ark., 1962)

KİLLİ ZEMİNLERDE ŞİŞME ÖZELLİĞİNİN TANIMLANMASI

Nicel yöntemler

Zeminin şişme potansiyeli ödometrik yöntemle elde edilir. Ancak, şişme potansiyeli için birden fazla tanımlama mevcut olup uygulamada ise, çok sayıda farklı deney metodu önerilmiştir. Niceliksel yöntemlerde ödometre kullanılarak, numunelerin çok küçük yükler altında 'serbest şişme yüzdeleri' veya numune üzerine nispeten daha büyük yükler konularak 'yükli şişme' değerleri elde edilebilir. Sabit hacimli şişme (CVS), Modifiye şişme (MSO), Sürşarj altında şişme (SUO) en çok kullanılan yükli şişme deneyleridir.

Sabit Yük Ödometre Deneyleri;

Serbest Şişme Ödometre Deneyi (Sridharan vd., 1986; Shuai ve Fredlund, 1998).

Çift Ödometre Deneyi (Jennings vd., 1973; Shuai, 1996)

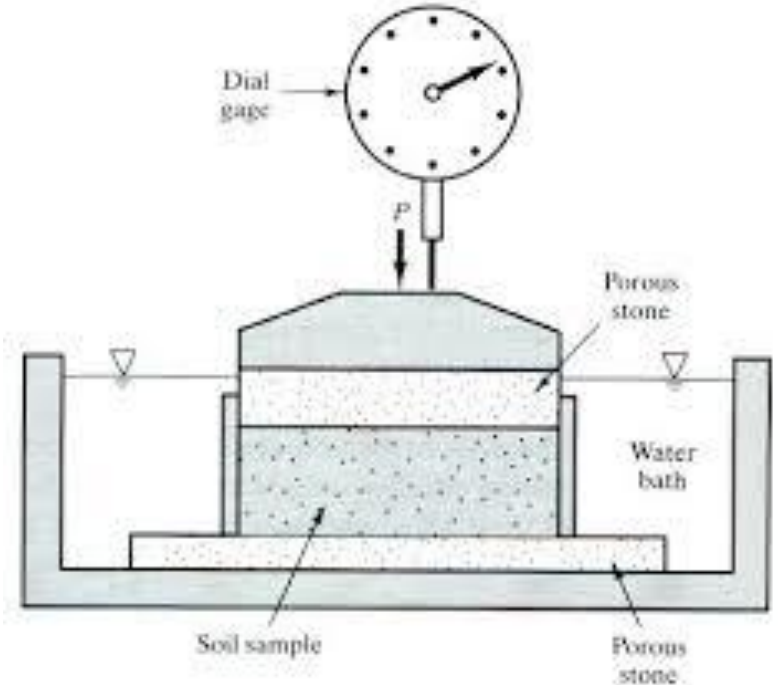
Yükli Şişme Ödometre Deneyi (Skempton, 1961; Matyas, 1969)

Chinese Yöntemi (Feng, 1995; Shuai, 1996)

Sabit Hacim Ödometre Deneyleri;

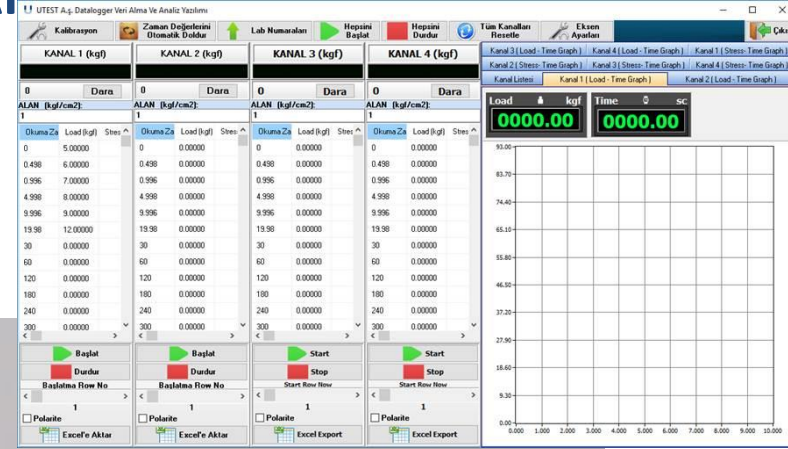
Sabit Hacim Ödometre Deneyi (Sridharan vd., 1986; Fredlund vd., 1980)

Deformasyon Kontrollü Deney Yöntemi (Porter ve Nelson, 1980)



KİLLİ ZEMİNLERDE ŞİŞME ÖZELLİĞİNİN TANIMLANMASI

Nicel yöntemler



KATYON DEĞİŞİMİ

Kil taneleri üzerindeki negatif yüklerin dengelenmesi için gereken değişebilir katyonların miktarı; katyon değişim kapasitesi (KDK) olarak bilinir ve (meq/100g) büyüklüğünde tanımlanır. **Yüksek KDK değerine sahip zemin, yüksek şişme potansiyeli gösterir**

Kil mineralleri; belirli anyon ve katyonları adsorplayarak, onları değişebilir durumda tutma özelliğine sahiptir.

Adsorbe edilen katyon miktarı zemin içindeki kil miktarıyla orantılıdır.

Değişebilir iyonlar, kil mineral yapı biriminin dış yüzeyi etrafında tutulur.

Kil minerallerinde en yaygın değişebilir katyonlar Ca^{++} , Mg^{++} , H^+ , K^+ , NH_4^+ , Na^+ ve Li^+ gibi pozitif iyonlardır.

Kil yüzeyinde negatif yüklerin hâkim olması, katyonların anyonlardan çok daha kolay yüzeye çekilmesini mümkün kılar

Kil Tipi	Değişebilir İyon	Şişme İndisi
Montmorillonit	Na^+	2,50
	Li^+	2,00
	Ca^{+2}	0,51
	Mg^{+2}	0,44
	H^+	0,34
	K^+	0,30
	Fe^{+3}	0,03
İllit	K^+	0,27
	Ca^{+2}	0,21
	Mg^{+2}	0,18
	Fe^{+3}	0,15
	Na^+	0,15
	H^+	0,10
Kaolinit	Na^+	0,20
	Mg^{+2}	0,08
	K^+	0,06
	Ca^{+2}	0,06
	Fe^{+3}	0,06
	H^+	0,05

Kil minerallerinin şişme indisi değerleri (Lambe and Whitman, 1959).

KATYON DEĞİŞİMİ

KDK, kil mineralojisiyle ilişkilidir ve yüksek KDK kapasitesine sahip olan kil zeminler yüksek yüzey aktivitesi neticesinde KDK değerindeki artışa bağlı olarak yüksek şişme potansiyeli gösterirler

Kil minerali	CEC (meq/100gr)
Montmorillonit	80-150
Vermikülit	100-150
Haloyisit 4H ₂ O	10-40
İllit	10-40
Klorit	10-40
Sepiyolit – Atapulgit	20-30
Haloyisit 2 H ₂ O	5-10
Kaolinit	3-15

meq: sıvı içerisindeki elektrolit miktarını ifade eden bir birimdir.

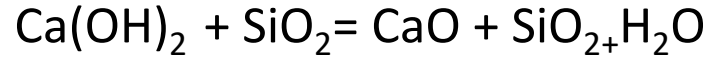
Çeşitli kil mineralleri için katyon değiştirme kapasitesi değerleri (Grim, 1962)

Genellikle iki değerlikli katyonla (Ca²⁺) doygun bir montmorillonit, 1nm'den 2 nm'ye kadar %100 şişebilmektedir (Azam vd. 2000). Ancak tek değerlikli katyona (Na⁺) doygun bir montmorillonit sınırsız şişebilir. Bununla birlikte, doğal zeminler sodyuma doygun montmorillonitler kadar şişmezler.

KATYON DEĞİŞİMİ

Katyon değişimi ve flokülasyon: Kireç, su ve killi bir zemin ile bir araya geldiğinde, pozitif iki yüklü Ca^{++} katyonları kil yüzeyine adsoplanmış katyonlarla yer değiştirir.

Kireç eklenen kil mineralinden silisi sökerek reaksiyona girer ve oluşan jel kil toprakları çevreleyerek boşlukları tıkar. Kil zeminler topaklanma ve çimentolanma ile yeni bir doku kazanır.



Kristaller elektriksel olarak nötrleşme eğilimdedir. Bu nedenle suyun içindeki katyonlar (+) mevcut negatif yük miktarına bağlı olarak kil tarafından çekilir.

Yer değiştirme kuvveti giderek artan bir şekilde sıralama yapıldığında iyonlar řu şekilde sıralanır;
 $\text{Li}^+ < \text{Na}^+ < \text{H}^+ < \text{K}^+ < \text{NH}_4^+ \ll \text{Mg}^{++} < \text{Ca}^{++} \ll \text{Al}^{+++}$

Yüksek değerlikli katyonlar düşük değerlikli katyonların yerini kolaylıkla alır.

Yukarıdaki her katyon, soldakinin yerini alabilir

KATYON DEĞİŞİMİ

