

Işık YILMAZ, Ergun KARACAN

Cumhuriyet Üniversitesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, 58140 Sivas

## Zeminlerin şişme özellikleri

*Mühendislik yapılarında meydana gelen deformasyonların bir çoğu, zemin hareketlerinden kaynaklanmaktadır. Özellikle de zeminlerin şişme özelliklerinden kaynaklanan temel hareketleri üzerlerindeki yapının elemanlarını kırmakta, çatlatmakta ve birçok deformasyonlar oluşturmaktadır. Zeminler, farklı mineralojik, dokusal, kimyasal bileşim ve konsolidasyon özelliklerine bağlı olarak değişik şişme yüzdesi ve şişme basıncı değerlerine sahiptirler. Bu özelliklere bağlı olarak şişme basıncı değerleri birkaç  $kg/cm^2$  den birkaç  $ton/m^2$  ye kadar değişebilir. Eğer bu şişme basıncı, kil üzerine etkileyen inşaat yükünü aşarsa, zeminde oluşacak kabarma önemli temel sorunlarına neden olabilir, Bu nedenlerle, üzerine inşaat yapılacak zeminin şişme karakteristikleri, arazi ve laboratuvar deneyleri ile açıkça ortaya konulması ve uygun temel tasarımı yapılması, önlemlerin alınması son derece önemlidir.*

### Giriş

Zeminlerdeki killerin şişme özelliklerine, bağlı olarak, mühendislik yapılarında bir çok deformasyon sorunlarıyla karşılaşılması muhtemeldir. Şişme potansiyeli, yüksek, zeminler üzerinde inşa edilen mühendislik yapılan, üzerinde,, özellikle de hafif yapılarda, zemin kabarmaları sonucunda birçok deformasyonlar meydana gelebilmekte, hatta bir kısmı kullanılmaz hale gelebilmektedirler. Zeminlerin şişme özelliklerinin ve mekanizmalarının çok iyi belirlenmesi, zemin davranışlarının, açıklanabilmesi açısından, oldukça büyük önem taşımaktadır. Şişme potansiyeli terimi» birçok araştırmacı tarafından genellikle» zeminlerin hem. şişme

yüzdesi hem. de- şişme basıncı, olarak tanımlanır. Serbest şişme deneyleri doygun koşullarda,, kilin hacim&al değişiminin ölçülmesi olarak kabul edilebilir. Şişme basıncı ile ilgili kabul, edilen tanımlama; su eklendiğinde zemin hacminin sabit kalması için gerekli olan, karşı koyan, kuvvet olarak kabul, edilir.

Killerin şişme basınçları bir' çok. faktör tarafından denetlenmektedir., Yerinde (arazide) veya sonraki su içeriği, yerinde yoğunluk, yöntem, ve kompaksiyon derecesi şişme basıncını denetleyen fiziksel faktörlerdir., Bununla birlikte, fizikokimyasal davranış ve taneler arası» taneler içi kuvvetler ve reaksiyonlarla kontrol, edilen zemin türleri nedeni ile zeminin türü majör bir faktördür., Killerin şişmesi birincil olarak elektriksel çift tabakaya bağlıdır. Kil-su sistemindeki değişebilen katyonlar' kil. 'üzerinde yer' almayı, yüzeyden farklı uzaklıklarda bulunurlar.. Pozitif yüklü iyonlar ve negatif yüklü kil yüzeyi arasındaki elektriksel kuvvet, katyonları yüzeye çeker, fakat termal enerjileri onları yüzeyden uzağa dağıtır. Elektriksel çekme ve termal dağıtma, arasındaki denge yüzeydeki, yüksek konsantrasyonlu ve yüzeyden düşük uzaklıktaki katyonları taşımayı sağlar. Bitişik tanelerin dağılmış iyon tabakalarının birbirleri ile etkileşimi, şişme- özeliğini açıklayıcı bilgi verir. Negatif yüklü yüzeydeki, iyonların teorik, dağılımı Gouy ve Chapman, tarafından hesaplanmıştır (Sridharan ve diğ., 1986),

### Killerde nem etkileşimi

Toplam su içeriği ve sn tatma enerjisi killerin, tüm özelliklerini etkileyen en önemli iki faktördür. Su içeriği; kıvamlilik, dayanım ve yoğunluğu., su tutma enerjisi, ise; hacimsel değişim,, konsolidasyon ve hidrolik iletkenlik gibi temel özellikleri etkilemektedir.,

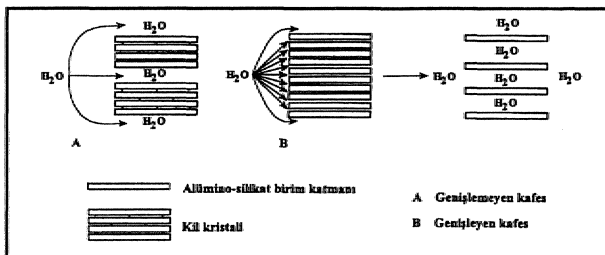
Killer üzerindeki mühendislik, uygulamalarının hemen 'hepsi kildeki doğal su içeriğini, bozar. Killer üzerine uygulanan gerilimler,, doğal ve yapay yükler ise kilin yapısında nem. hareketine neden olur; ve killerdeki haamsal değişimler, kemin, her zaman bu nem. hareketi ile kontrol edilir.. Eğim. yenilmesi ve konsolidasyon. gibi süreçler de yine b\*\*

ölçüde, bu nem hareketi ile ilgilidir, 'Killerde nem hareketi, kil-su sistemi, içerisinde içsel eğimden kaynaklanan kuvvetlerle oluşur, içsel eğim ise, sıcaklık değişmesi, doygunluğun artması ve kimyasal bileşimdeki •• değişimlerden kaynaklanır (Gillot 1968; Kasapoğlu, 1989).

Killerde,, kurama, sonucu büzülme-, su emme sonucu şişme gibi. istenmeyen kötü sonuçlar,, bu nem hareketlerinden kaynaklanmaktadır. Buharlaşma, bitki terlemesi ve ısınma, killerde kurumaya neden olduğu gibi; yeraltı su tablasındaki yükselmeler,, yağışlar ve barajlar gibi mühendislik yapılarından sızan kaçak sular da kildeki nem miktarını artırır. Killerin nem miktarındaki değişim, hemen her zaman hacımsal değişimlere neden olur.. Nem .artışı hacımsal büyümeyi,, nem kaybı ise hacımsal küçülmeyi, oluşturur.,

*KMİU* bir kilin nem absorbe etme kapasitesi çok büyüktür. Su ile temas halindeki ıslak bir Mİ örneği üzerindeki, basıncın azaltılması, kilin su emmesine neden olur. örneğin, aşırı konsolide bir kilin şişmesi, gibi., Su emme ve 'hacımsal büyüme, kil denge gözeneklilik oranına erişinceye kadar devam eder. Küllerdeki su emme sonucu oluşan hacımsal büyüme; kil üzerine- etkiyen yük ve şişme basıncının bir fonksiyonudur (Gillot, 1968; Kasapoğlu, 1989).

Killerdeki bu şişme basıncı birkaç: kg/cm<sup>2</sup> den birkaç ton/m<sup>2</sup> ye kadar değişebilir., Eğer' bti şişme basıncı» kil üzerine etkiyen inşaat yükünü aşarsa, zeminde oluşacak kabarma önemli temel, sorunlarına neden olabilir. Kilin, mineralojisi, dokusu, kimyasal bileşimi ve konsolidasyon. miktarı, bu tür zemin kabarmalarını etkileyen en önemli jeolojik faktörlerdir. Bilindiği gibi, kil mineralleri arasında "montmorillonit" şişme potansiyeli en yüksek olanıdır. İnce tabaka yapısına sahip olan. montmorillonit. 'kristalleri içerisine giren su, bu tabakalar arasındaki yaklaşık 10Å° olan mesafeyi, önemli ölçüde genişleterek büyük hacımsal büyümeye neden olur (Şekil 1). Bu tür hacımsal büyüme "kristallerarası şişme" (intra-crystalline swelling) olarak tanımlanır. Simektitin yanısıra, bu tür genişleyebilen kil mineralleri arasında,, vermikülit, şişebilen tdoorit, halloysit ve bazı. interstratifiye kil minerallerini sayabiliriz., Killerdeki şişme olayında,, kil minerallerinin kristal, kimyasının, en önemli ro-



Şekil 1. Killerde kristallerarası şişme (Gillot, 1968; Kasapoğlu, 1989)

lü oynadığı kuşkusuzdur. Örneğin, kristal yapısı bakımından,, montmorillonit, şişmeyen kil minerali, olarak bilinen illite yüzeysel olarak çok benzer. Ancak illitin,, birim yüzey alanındaki elektron yükü montmorillonitinkinden daha fazladır. Bu nedenle Mitteki katmanlararası bağ (interlayer-bond) mantmorüömütiinkinden çok daha güçlüdür' ve bu nedenle sn, 'bu güçlü bağları kopararak katmanlararasına girememektedir (Gillot, 1968; Kasapoğlu, 1989).

## Şişen zeminler

'Killer üzerine- inşa edilen mühendislik yapılan, zeminlerin şişme özelliğinden kaynaklanan yukarı doğru, kaldırma 'kuvvetine maruz kalırlar. Bu kuvvetler, temel yapılan ve elemanlarını yukarı doğru, kaldıran; çatlatır ve kırar., Şişebilen killer, dünya üzerinde Amerika Birleşik Devletleri,, Güney Amerika,, Afrika, Avustralya, ve Hindistan'da geniş alanlar kaplarlar, özellikle de Teksas, Oklohama ve yukarı Missouri vadisinde yüzeyleirler. Şişen killer genellikle %40 dan büyük likit limit ve %15 den fottyük plastisite indeksine' sahiptirler (Das, 1995).

Su içeriğindeki artış 'killerde şişmeye neden olur., Derinliğe bağlı olarak zeminlerin su içeriğindeki periyodik değişimin .gözleendiği zoolara, "aktif zon" denir.. Aktif zonun derinliği lokasyondan lokasyona değişim, gösterir. Amerika'da belirlenen birkaç aktif zon. derinliği aşağıda verilmiştir (Tablo 1). Aktif zon derinliği» belli mevsimlerde zemin, profillerinin, derinliğine karşılık gelen likit indeksinin grafiğinin oluşturulması ile kolayca belirlenebilir.. Şekil 2 Houston\* daki Beaumont Formasyonu'na ait. grafiği, göstermektedir.

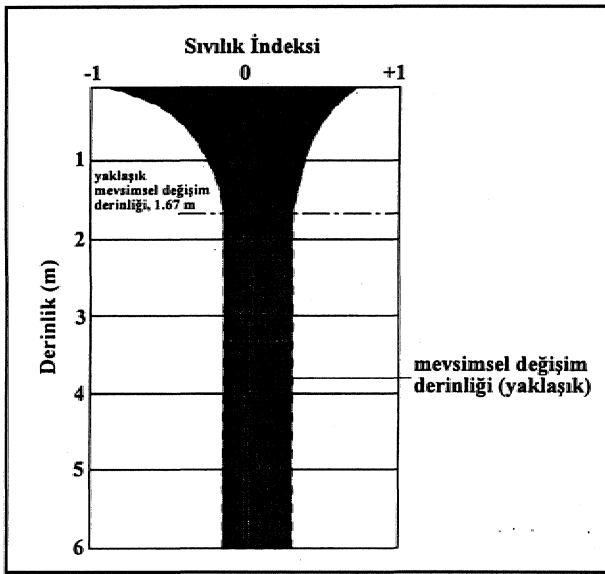
Aktif zondaki mevsimsel değişimlerin şişen, zeminlerin şişme-büzülme özelliğine etkisi, bir' ömek olarak Şekil 3' de verilmiştir. Bu, zemin yüzeyinin daha aşağısındaki. derinliklerde arazi deneyleri, ile elde edilen karakteristik düşey zemin ti. arekeuer.in kayıtlarıdır, Mevsimsel zemin, hareketleri hemen hemen 3-4 m derinlikte sona erer.

## Şişmenin laboratuvarla ölçülmesi

Killerde olası şişmenin, şiddeti örselenmemiş zeminlere uygulanan basit laboratuvar ödornetre konsolidasyon deneyleri ile belirlenebilir., Sınırlanmamış (unrestrained) şişme ve şişme basıncı deneyi, olmak üzere iki basit, deney vardır.

Tablo 1. Amerika'dan bazı karakteristik aktif zon derinlikleri (O'Neill ve Poormoayed, 1980).

Şehir	Aktif Zon Derinliği (m)
Houston	1.5 - 3.0
Dallas	2.1 - 4.6
San Antonio	3.0 - 9.0
Denver	3.0 - 4.6



Şekim 2. Aktif zon derinliğinin belirlenmesi, Houston 'dan bir örnek (O'Neill ve Poormaayed, 1980)

Sınırlanmamış şişme deneyinde,, 6.9 kN/m<sup>2</sup> düzeyinde düşük sürşarj basıncı altında ödometreye örnek yerleştirilir. Daha sonra örneğe su eklenir ve dengeye ulaşılınay a kadar örneğin hacimsel genişlemesi (yükseklik; örneğin kesit alanı sabit olmak üzere) ölçülür, Serbest şişme yüzdesi aşağıdaki gibi ifade edilir.

$$Sw(fr\acute{e}e)(\%) = (AH/H) 100 \quad (1)$$

Burada; Sw(fr\acute{e}e)= serbest şişme

AH = doyunluğa bağlı şişme yüksekliği

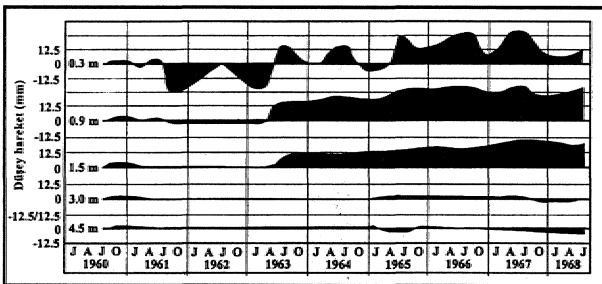
H = örneğin ilksel yüksekliğidir.

Vijayvergiya ve Ghazzaly (1973), bahsedilen yöntemle, çeşitli zeminlerden elde ettikleri sonuçları kullanarak, Şekil 4'e de görüldüğü gibi serbest, şişme, likit limit ve doğal su içeriğinin koraleyson kartını hazırlamışlardır.,

Püormoayed (1980) bu karttan, serbest yüzey şişmesinin hesaplanması için aşağıdaki ilişkiyi geliştirmiştir.

$$ASF = 0,0033 ZSw(fr\acute{e}e) \quad (2)$$

ASF = serbest yüzey şişmesi



Şekil 3. Düşey zemin hareketlerinin mevsimlere bağlı değişimine bir örnek (Das, 1995).

Z = aktif zon derinliği

Sw(fce) = yüzde olarak serbest şişme

SivapiUaiah ve diğerleri (1987) killi zeminlerin şişme, potansiyelini daha iyi belirleyecek gibi gözükken,, modifiye serbest şişme, indeksinin elde edildiği yeni bir deney yöntemi önermişlerdir. Bu deney 10 g örneğin etüvde kurutulması ile başlar,, Zemin daha soma iyice öğütülür ve içinde 100 mi distile su. bulunan behere konur,, 24 saat sonra şişen sedhnanın hacmi, ölçülür. Daha sonra, aşağıdaki eşitlikten, modifiye serbest şişme indeksi hesaplanır;

$$\text{Modifiye serbest Şişme İndeksi} = (V-V_s)/V_s \quad (3)$$

Burada» V = şişmeden sonraki zemin hacmi

Vs = zemin tane hacmi. = Ws/Gs.^W (4)

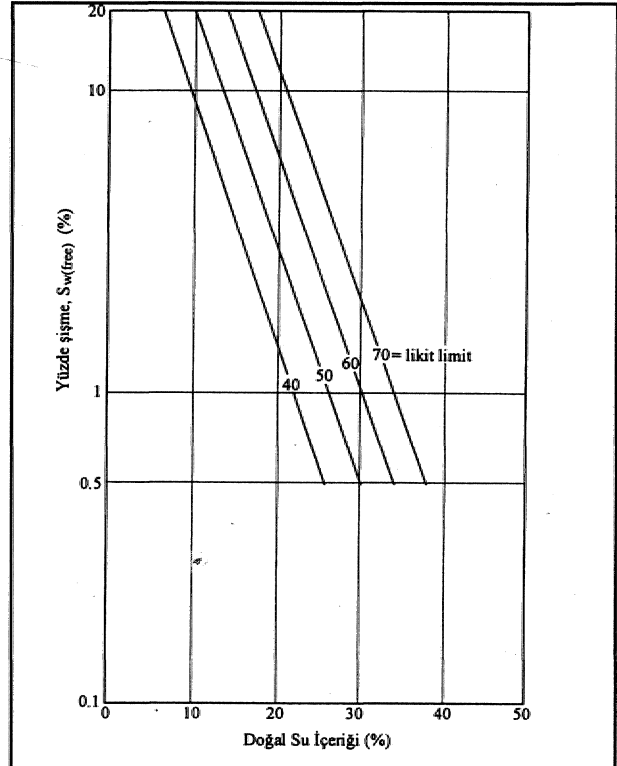
Ws= etüvde kurutulmuş zemin ağırlığı

Gs = zeminin, tane özgül ağırlığı

y<sup>TM</sup> = suyun birim hacim ağırlığıdır..-

Modifiye- serbest şişme indeksine bağlı olarak» zeminlerin şişme potansiyeli,, kalitatif olarak aşağıdaki gibi sınıflandırılabilir (Tablo 2).

Sikh (1993)» Güney Kaliforniya'dan aldığı örnekler üzerinde, yaptığı birkaç serbest şişme deneyi sonuçlarının vermiştir.. Deneyler gerçek örtü basıncı altındaki zemin ar-



Şekil 4. Serbest şişme, likit limit ve su içeriği korelasyon kartı (Vijayvergiya ve Ghazzaly, 1973).

**Tablo 2.** Modifiye serbest şişme indeksine bağlı olarak şişme potansiyeli (Sivapullaiah ve diğ., 1987).

Modifiye Serbest Şişme İndeksi	Şişme Potansiyeli
<2.5	İhmal edilebilir
2.5 - 10.0	Orta
10.0 - 20.0	Yüksek
>20.0	Çok Yüksek

nekleri kullanılarak yürütülmüştür. Bu deneylerin sonuçları Şekil 5'de verilmiştir. Eğrinin üst sınırı, 1.4 kip/ft<sup>2</sup> veya daha büyük örtü basıncı için %1'den daha küçük düşey serbest, şişme değerlerini vermektedir (Eşitlik F den hesaplanarak).

•Şişme basıncı deneyleri» konsolidasyon halkasına alınan, örneklere, örtü basıncına eşit, basınçlar' (Po) artı temel tarafından oluşacak tahmini sürşarj basıncının, (Ps) uygulanması ile yürütülür. Daha sonra, örneğe, su verilir. Örnek şişmeye başlayınca,, şişmeye karşı koyan basınçlar azar azar uygulanır. Bu olay nihai şişme oluşuncaya kadar devam eder. Bu andaki, toplam basınç ise;

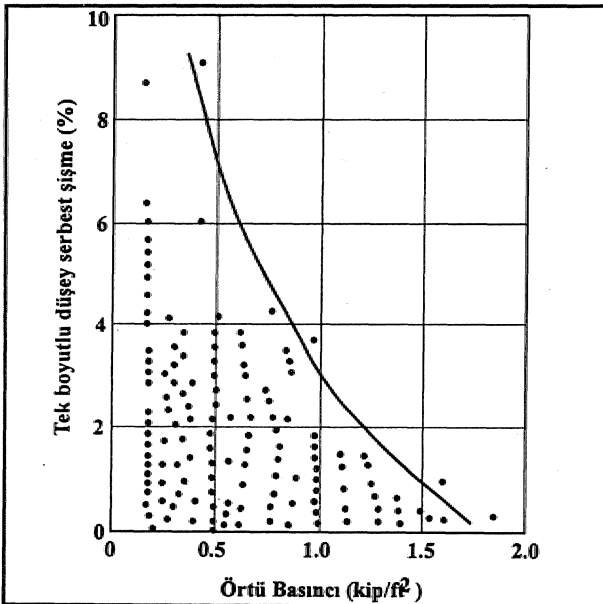
$$PT = PO + Ps + P_1 \quad (5)$$

olur. Burada, PT = şişmeye karşı koyan toplam basınç veya "O" şişme basıncı

$P_1 = SU$  eklendikten, sonra şişmeyi engellemek için kullanılan ek basınçtır.

Şekil 6 şişme basıncı deneyleri esnasındaki basınçlara karşılık, gelen şişme yüzdesinin değişimini göstermektedir. Bu deney için daha, ayrıntılı bilgi Sridharan ve diğerleri (1986) da, verilmiştir.

20-30 kN/m<sup>2</sup> civarındaki PT değerleri düşük, 1500-



**Şekil 5.** Bazı Güney Kaliforniya zeminlerinin tek boyutlu düşey serbest şişme sonuçları (Sikh, 1993)

2000 kN/m<sup>2</sup> civarındaki PT değerleri, ise yüksek değerler olarak kabul edilebilir. Sıfır şişme basıncına ulaşıldıktan sonra,, zemin, örneği örtü basıncı, (Po) seviyesinde yükler adım adım kaldırılır. Bu yük kaldırma aşaması, örneğin şişmesine neden olur.. Her basınç aşaması için denge şişine değerleri kaydedilir. Yüzde olarak, şişmenin (%Sw) değişimi ve uygulanan yükler Şekil 6'daki gibi gösterilir.

Şişme basıncı deneyleri ile,, temel için oluşacak,, yüzeydeki, kabarma (AS) miktarı belirlenebilir (CTNeill ve Poormoayed, 1980);

$$AS = "L/ \%Sw(i) / (Hi \times 0.01) \quad (6)$$

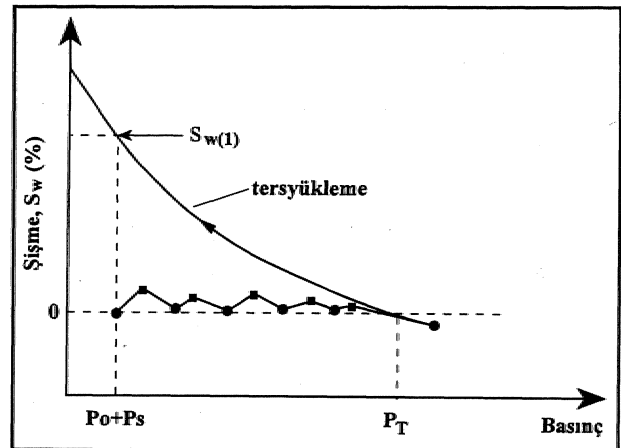
Burada, %Sw(i) = Po + Ps basıncı altındaki i tabakası için şişme yüzdesi

Hi = i tabakası kalınlığıdır.

## Şişen zeminlerin indeks özelliklere göre sınıflaması

Şişen zeminler için sınıflama sistemleri, potansiyel şişmeler nedeni, ile temel yapıda oluşacak sorunlara bağlı olarak geliştirilmiştir.. Bir çok sınıflama sistemleri Tablo 3 ve Şekil 7 de özetlenmiştir. U.S. Army Waterways Experiment Station tarafından geliştirilen, sınıflama,- Amerika Birleşik devletleri'de yaygın, olarak kullanılır. Bu sınıflama Onell ve Poormoayed (1980) tarafından özetlenmiştir (Tablo 4),.

Bu sınıflamadan başka,, araştırmacılar, zeminlerin bazı özelliklerine bağlı olarak zeminlerin şişme- özelliklerine yaklaşım için sınıflamalar önermişlerdir. Holtz (1959), koloid içeriği,, plastisite indeksi ve büzülme sınırına; Seed ve diğ. (1,962), kil içeriği ve aktiviteye; Altmeyer (1955,, lineer büzülme,, büzülme sınırı ve muhtemel, şişme yüzdesine;; Dakshanamany ve Raman (1973), oluşturdukları plastisi-



**Şekil 6.** Şişme basıncı esnasında, basınç-şişme yüzdesi değişimi (Das, 1995).

te kartına.; Raman (1967), plastisite indeksi ve büzülme indeksine; Sowers ve Sowers (1970), büzülme sınır ve plastisite indeksine; Wan. Dei' Merwe (1964), kil içeriği,, plastisite indeksi ve aktiviteye bağlı olarak geliştirdiği şişme potansiyeli abağma; Snethen (1.984),,, likit limit, plastM&in-deksi, şişme, potansiyeli ve doğal zemin .su emmesine; Oien (1988),,, plastisite indeksine; McKeen (1992), su emme, kuruma anında, hacim. değişikliği ve yumuşak su ölçümlerine; Vijayvergiya ve. Ghazzaly (1.973),, Nayak ve: Christensen (1974) ve Westen (1980) ise ortaya koydukları ampirik eşitliklere bağlı olarak sınıflamalar önermişlerdir<sup>1</sup> (Tablo 3).

## Şişen zeminlerde temel tasarımı

Eğer temel zemini, düşük şişme potansiyeline: sahipse, standart inşaat çalışmaları uygulanır, temel'zemini şişme özelliği, gösteriyorsa, aşağıdaki önlemlerin alınması „gereklidir., a, Temel altındaki, şişen zeminlerin kaldırılması,, b. Şişen zeminlerin yapısının değiştirilmesi işlem, c. inşaat sonrasında, yapı altındaki zeminin su. içeriğiyle, kontrol altına alınması,, d. Diğer yöntemler.

### a. Şişen zeminlerin kaldırılması

Şiş derinlikle ve orta. derecede şişen zeminlerin bulunduğu yüzeylerden,, şişen zemin, kaldırılarak, yerine daha az şişen, uygun dolgu malzemesinin serilmesi ve optimum, koşullarda sılaştılması şeklinde gerçekleştirilir (Das, 1995),.

### b. Şişen zeminlerin yapısının değiştirilmesi

**Kompaksiyon** : Kompaksiyon sonucunda, zeminin şişme özelliğini azaltmak için gerekli olan koşul sağlanmaya çalışılmaktadır. Şişen zeminlerin kabarma, miktar» yüksek su. içeriğinde (mümkün olduğunda%3-4 den fazla),, düşük birim, hacim ağırlığında sıkıştırılması ile düşer (Das, 1995).

**Ön nemlendirme** : Zeminlerin,, yapının inşasından önce su altında hırakalarak şişmenin sağlanması da. bir yöntem olarak kullanılmaktadır. Bu yöntem, suyun yüksek plastisiteli killer<sup>1</sup> içerisinde çok yavaş sızmasından dolayı uzun. zaman; alm.akta,dir., rsla.tm.ad.an sonra zeminin en üst tabakasına %4-5 sönmüş kireç eklenerek plastisite düşürülebilir ve zemin, daha duraylı hale getirilebilir (Das, 1995),.

**Nemin bariyerlerle düzenlenmesi.** : Farklı kabarmaların etkisi, zeminin so içeriğinin kontrol altına alınması ile azaltılabilir, zeminin sn içeriğinin kontrolü, plaka tipi yapılar da plakanın sınırlan, etrafında yaklaşık 1,5 m derinlikte düşey nem. badyerlerinin inşa edilmesi, ile sağlanabilir. Bu nem bariyerleri, inşa edilen hendeklerin çakıl, yağsız (lean) çimento veya geçirimsiz, membranla doldurulması ile oluşturulabilir.

**Zemin stabikzasyonu** : Kireç ve çimento yardımı ile • kimyasal stabüizasyon, kullanılabilirliği geliştirir.. %5 kireç içeren, karışım bir çok koşulda elverişlidir. 'Kireç veya çimento su karışımı, zeminin 1st tabakasına karıştırılır ve sıfaştırılır... Kireç veya çimentonun zemine eklenmesi, zeminin likit limit» plastisite indeksi ve şişme 'özelliğini düşürür.. Bu tür bir stabüizasyon, **1-1.5 m** derinliklerde gerçekleştirilebilir. Yüksek kalsiyumlu sönmüş kireç veya dolomitik kireç, kireçle stabilizasyonda kullanılabilir. Şişen zeminlerin stabüizasyonunda diğer bir yöntem, de, zemin içerisine basınçlı kireç karışımı veya kireç-uçucu kül karışımı, enjeksiyonudur,. Bu yöntem genellikle 4-5 m derinliklerde ve bazen de aktif zonun kapladığı bölgenin daha. derinliklerinde kullanılır. Sahanın zemin şartlarına bağlı olarak tek veya çoklu enjeksiyon yöntemleri, planlanır (Şekil 8) (Das, 1995).

### c. inşaat sonrası, yapı altındaki zeminin su içeriğinin kontrolü.

İnşaattan sonra, yapı altı ve çevresinde su içeriği değişikliği meydana gelmemesi için yüzey suyu drenajı» binayı çevreleyen geçirimsiz tabaka (kaldırım, kaplama,, geçirimsiz, membran gibi) yapılması,, kökleri ile aşın. su çekmesi veya sulama dolayısı ile toprak nemini arttırması sebebi ile yakın mesafedeki, bitkisel örtünün kontrolü şeklinde uygulanmaktadır.,

### d. Diğer yöntemler

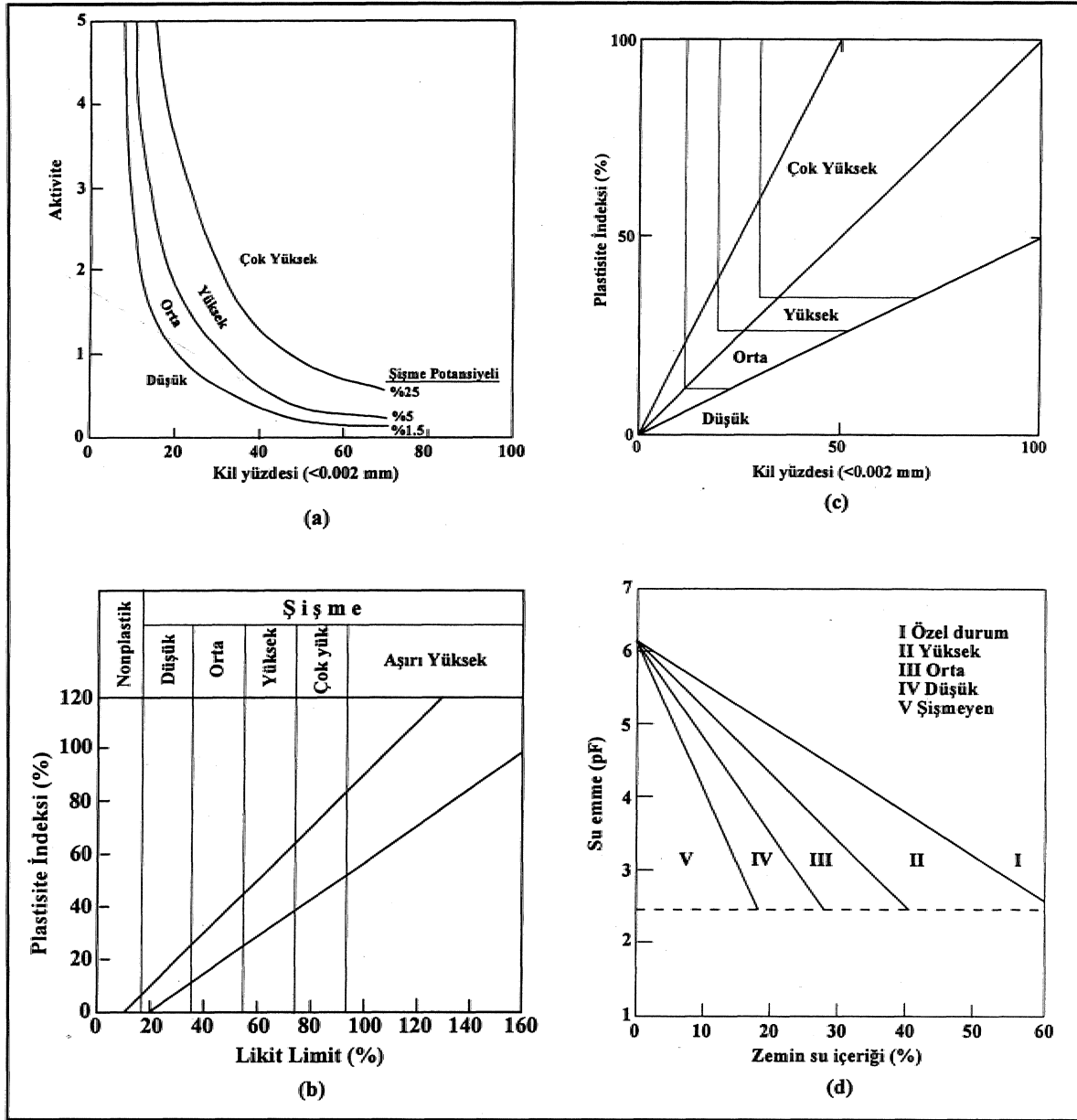
Temellerin mevsimlik değişimlerden etkilenecek derinliğin veya aktif zonan altına, yerleştirilmesi de bir yöntemdir. Kazık, veya pabuç temel sistem seçilerek subasman hatılı, döşeme ve zemin seviyesi, arasında muhtemel şişmeyi karşılamak üzere- boşluk 'bırakılması. Tekil sömeller yapılabırsa, şişen, zemini 'kaldırarak, sömel ve döşeme altlarına 1 m kalınlıktan az olmamak ve bina çevresine en az 3 m kadar -taşmak üzere sıkıştırılmış stabilize malzeme konulması. Şişme basıncını, karşılamak üzere dar sürekli sömeller yapılarak taban basıncının .arttırılması gibi. yöntemler- kullanılabilir (Das, 1.995)..

## Şişen zeminlerin üzerine inşaat uygulamaları

Şişen zeminler üzerinde yer alacak, temel türü seçimine özen gösterilmelidir. Tablo 5,, beklenen, toplam kabarma (AS) ve duvar panellerinin Bzunluk-yitikseklik oranlarına bağlı, olarak önerilen inşaat yöntemini göstermektedir, örneğin,,. Tablo 5, bağımsız, hareket eden yapılar için, üzerinde asılı beton döşeme plakasının bulunduğu koyu temel.

Tablo 3. Killi zeminlerin şişme potansiyelinin tanımlanmasında kullanılan kriterlerin özeti (Das., 1995'den değiştirilerek)..

Referans	Kriter	Düşünceler
Holtz(19S9)	' CO28, IP>35, SL<11 (çok yüksek) 2Q£CG£31, 25<IP<41, 7<SL<12 (yüksek) 13^CC<23,15£EP£28,1Û<SL<1,6 (orta)	CC, IPveSLyebağlı olarak
Seed, ve diğ. (1962)	Bkz, Şekil 3,1a	Sıktştımlmış ömek. kullanılan ödometre deneyi,, kil %<2 pm ve aktiviteye bağılı olarak., LS,SL»P\$ ye bağılı olarak.
Altmeyer(1955)	LS<5, SL>12, PS<0.5 (kritik, değil) 5<LS<8,, 1Ö<SL<12, 0.5<PS<L5 (orta) : LS>8> 5L<1Ö, PS>1.5 (kritik)	olarak.
Dakshanamantny ve Raman (1973)	Bkz. Şekil 3.1b	Plastisite kartına bağılı olarak.
Raman (1967)	• IP>32 ve SI>40 (çok yüksek) ' 23<;IP<32,, 30<SI<40 (yüksek) " 12<:IP<23,, 15<SI<30 (orta) IP<12veSI<15(düşük)	İP ve SI ya. bağılı olarak.
Sowers ve Sowers (1970)	SL<10 ve IP>30 (yüksek) 10<SL<12, 15<IP<30(orta) SL>12veIP<15(düşük)	IL=Ö.25 deki doğal su içeriğinde çok küçük şişme oluşacaktır.
Van Der <sup>1</sup> Merwe (1964)	Bkz. Şekil 3.1c	IP,%MK2 Linıve aktiviteye bağılı olarak.
Snethen(1984)	LL>60,. IP>35, 1^4, SP>L5 (yüksek) 30^LL^60,25<IP<35,1.5^1^ <4 ve 0...5<SP<L5 (orta) LLO0, IP<25, 1 <sub>nat</sub> <1.S, SP<0,5 (dfışfk)	PS ar'azi şartları için . ortaya konur, T.»* olmadan " kullanılabilir, fakat doğruluk azalır.
Chen (1988)	IP>35 (çok yüksek), 20<IP<55 (yüksek) 10<IP<35 (orta) ve :IP<15 (düşük)	İP ye bağılı olarak.
McKeen (1992)	Bkz,. Şekil 3-1d	Su. emme, kuruma. ;anında hacim değişikliği ve • yumuşak su. ölçümlerine: bağılı olarak.
Vijayvergiya ve Ghazzaly(1973)	logSP=(1A12X0.44LL-w <sub>o</sub> +5.5)	Eşitlikten.
Nayak ve Christensen (1974)	SP=(0.00229IP)(l .45c)/w <sub>o</sub> +6.38	Eşitlikten.
Weston (1980)	SP=0.00411(LL <sub>w</sub> ) <sup>417</sup> q	Eşitlikten.
Not.		
C= kil, %		PS= muhtemel şişme, %
CC= koloid. içeriği, %		q= sürşarj
IL= sıvılık indeksi, %		SI= büzülme indeksi= LL-SL, %
LL= likit limit		SL= büzülme simim,, %
Ll <sub>w</sub> =ağırlıkça likit limit, %		SP= şişme potansiyeli, %
LS= lineer büzülme, %		w <sub>o</sub> = doğal su. içeriği.
IP= plastisite indeksi., %		T.Mt <sup>-</sup> doğal, zemin, su, 'emmesi, tsf



Şekil 7. Şişme potansiyelinin belirlenmesinde kullanılan abaklar (Abduljawwad ve Al-Sulaimani, 1993).

Tablo 4. Şişen zeminlerin sınıflaması (O'Neill ve Poormoayed, 1980)

Likit Limit	Plastisite İndeksi	Şişme Potansiyeli	Şişme Potansiyeli Sınıflaması
<50	<25	<0.5	Düşük
50-60	25-35	0.5-1.5	Orta
>60	>35	>1.5	Yüksek

Şişme Potansiyeli= Örtü basıncına eşit basınç altındaki düşey şişme

kullanımını önerir. Şekil 9 da bu tür bir-temelin, şematik şekli görülmektedir. Kuyu temellerin tabanları, şişen zeminlerin, aktif zon derinliğinin, altına yerleştirilmelidir. Kuyuların dizaynı için, kaldırma kuvveti (U) ne bir yaklaşım için aşağıdaki eşitlik kullanılmaktadır (Das., 1995),

(7)

Burada; -Ds = kuyu çapı

Z = aktif zon derinliği

$\phi_{ps}$  = kuyu duvarı-zemin efektif sürtünme açısı

PT = sıfır yanal şişme için basınç (Bkz. Şekil 6, Eşitlik 5). "

Pekçok koşullarda  $\phi_{ps}$  değeri" 10° ile 20° arasında, değişim göstermektedir. Laboratuvar, sıfır yanal, şişme için ortalama şişme basıncı hesaplanmalıdır. Laboratuvar sonuçlarının, bulunmadığı zaman, Pt ve  $\phi_{ps}$  değerleri aktif zondaki kilin, drenajsız kayma dayanımına (cu) eşit olarak alınabilir. Pabuçlu- kuyu temelleri kaldırma kuvvetlerine karşı koyan, bir ankraj gibi görev yaparlar. Kuyu temel, ağırlığını ihmal ederek;

$$Q_{net} = U'D \quad (8)$$

olur, Burada; Q<sub>net</sub> = kaldırma yükü

D = ölü yüküdür.

$$Q_{net} = (c \ll N \ll / FS X icf4)(D_b 2 - D2) \quad (9)$$

Burada Cu = kuyu temelin yer aldığı, kilin drenajsız kohezyonudur. Son olarak, eşitlik 8 ve 9 birleştirildiğinde aşağıdaki, eşitlik (eşitlik 10) elde edilecektir.

$$U - D = (cu N \ll / FS)(T/4)(D_b 2 - D2) \quad (10)$$

Burada; Ne = taşıma gücü faktörü (oluşturulmuş tablolardan bulunur)

FS = güvenlik, faktörü

Db = kuyu pabucu çapıdır.

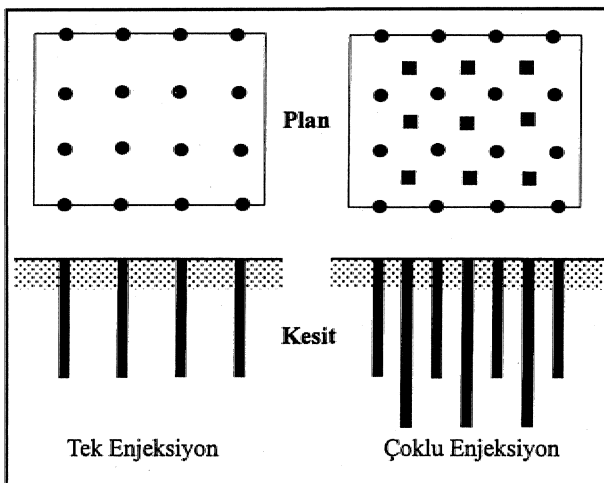
## Sonuçlar

Bazı killi suya doymun olmayan zeminlerin so emerek hacminin artması veya su bulabildiği halde hacminin artmasının engellenmesi durumunda aşın basınçlar oluşturması, zeminin şişine özelliğinden kaynaklanmaktadır. Genellikle kurak veya yan kuak Mimlerde karşılaşılan, bu tip şişmeye eğilimli zeminler, su içerikleri azaldığında da hacim azalmasına, (büzölmeye) maruz kalırlar, Bina temelleri, yol,

Tablo 5. Şişen killi zeminler üzerinde inşaat (Gromko, 1974),

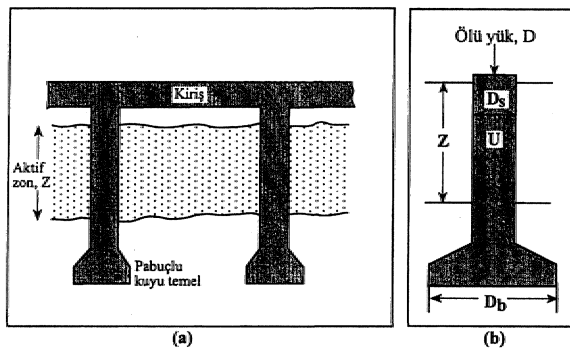
Beklenen toplam kabarma (mm)		Önerilen İnşaat	Yöntem	, Diifincder
L/H-12S	L/H-23			
0 - 6,35	İ2/7	Önleme gerek yok.		
6.35 -12.7	" 12.7 - 50.8	Hareketleri talere edebilecek rijit yapılar (gerektiğinde: çelikli betonarme)	<i>Temeller:</i> Tekil Şerit temel Sürekli temel <i>Döşeme betonu:</i> Sürekli (waffle) 'Tuğla' <i>Duvarlar:</i>	Zemin taşıma gücüne bağlı olarak, temeller küçük ve derin olmalıdır. Süreklilik eğilme ve bükfihnelere karşı koyar.  Döşeme betonları bükilmeyi karşılayacak şekilde: dizayn, edilmeli ve kırışden bağımsız olmalıdır. Duvarlar esnek, olmalıdır. Düşey yönde rijit bağlantılar- olmamalı ve tuğlalar; bağ barlar ve bantlarla güçlendirilmelidir.
12.7-50.8	50.8-101.6	Hareketleri azaltacak yapılar	<i>Eklemler:</i> Serbest Esnek <i>Duvarlar:</i> Esnek Birim yapı Çelik kafes <i>Temeller:</i> Üç nokta Hücresele Krikolar	Yapısal, birimler arasındaki birleşimlerden kaçınılmıdı; veya esnek olmalıdır» eklemlere sugeçirmez malzeme: konabilir. Duvarlar veya dörtgen yapı birimleri yükseltilmelidir.  Hücresele temeller, önemsiz zemin şişmelerine müsaade eder ve şişme basınçlarını azaltır. Üç-nokta yüklemesi basımsız hareketlere müsaade eder., Ayarlanabilen krikolar müteahhit için, zahmetli, ve zor olabilir.
>50.8	>101.6	Hareketten bağımsız yapılar	<i>Kuyu temeller:</i> Doğrusal kuyu. Bell tabanlı <i>Asılı döşeme:</i>	Yüke uygun küçfık çaplı ve aralıklı :kuyu temeller olmalıdır. Kırış alttan serbest olmalıdır. Döşeme' zeminin 30-4,5 cm kadar üzerinde, kırış- tizerinde asalı olmalıdır.





Şekil 8. Yapılarda kireç karışımı enjeksiyon işleminin planlaması.

havaalanı ve kanal yapılan» bora hallan altındaki veya istinat yapılan, arkasındaki, şişme özelliğine sahip» nisbeten kuru zeminlerin, yüzey suyu, pis ve temiz su kaçaqları, kapalıite sonucu, su yükselmesi» yeraltı su seviyesinin, yükselmesi, zeminde buhar halinde varolan rutubetin termal akımla hareketi ve daha serin bölgede yoğunlaşması gibi nedenlerle, su içeriklerinin artarak, şişmesi, üst yapıya büyük çaplı zararlar verebilmektedir. Özellikle şişme özelliğine sahip temel zeminleri,, üzerlerindeki düşük sürşarji basıncına sahip hafif yapılara büyük zararlar verebilirler. Bu tür hafif yapıların temellerinin, mevsimlik yağış ve sıcaklık değişiminden etkilenen sığ derinliklerde inşa edilmesi, durumunda birbirini takip eden şişme- ve büzülme devrelerine maruz, kalması,, ciddi çatlak ve hasarlara neden olabilir, Yılmaz ve Karacan (1997) mevsimsel yeraltı su seviyesinin değişimine bağlı olarak, şişme ve büzülme sonucu, temellerde iki yönlü; hare-



Şekil 9. a. Pabuçlu kuyu temel ve kiriş inşaatı, b. Eşitlik 7'deki parametrelerin tanımları (Das, 1995)

ket sonucu,, binalarda hasarlar' tesbit etmişlerdir., Yeraltı su seviyesi, derinde ise, temel seviyesi ve su tablası arasında hacim, değişikliğine maraz kalabilecek tabaka kalınlığı artacağından, muhtemel hareketler de büyüyecektir.

Killi zeminlerin şişme özelliklerinin çok iyi belirlenmesi,, zemin davranışının açıklanabilmesi açısından büyük önem taşımaktadır. Laboratuvar' ve arazi deneyleri ile şişen zeminlerin, özellikle şişme yüzdesi ve şişme basıncı olmak üzere tim karakteristikleri belirlendikten sonra, üzerindeki yapı yükleri de hesaba katılarak, uygun temel sistemi, seçilmelidir.. Eldeki veriler kullanılarak zemin yüzeyinde oluşacak kabarma miktarı da hesaplanabilmektedir.

Killerde- tesbit edilen şişme basınçları  $\text{kg/cm}^2$  düzeyinden.  $\text{ton/m}^2$  düzeyine kadar, kilin özelliklerine bağlı olarak değişmektedir., Eğer bu şişme basınçları» üzerindeki, inşaat yükünü aşarsa, zeminde meydana gelecek olan kabarma, önemli temel sorunlarına neden olabilmektedir., Bu şişme özellikleri kilin mineralojisi, dokusu, kimyasal bileşimi ve konsolidasyon. miktarı gibi özelliklerle de yakından ilişkilidir. Örneğin montmorülanit şişme potansiyeli en yüksek olanıdır.. Buna. karşın, illit ise şişmeyen veya çok az şişen bir kil mineralidir.

Şişen zeminler üzerinde temel tasarım yapılırken, tüm bu özellikler' iyice- belirlenmeli ve temel tasarımı buna göre gerçekleştirilmelidir., Şişebilen temel zeminlerinde, şişen zeminlerin kaldırılması,, yapısının değiştirilmesi, yapı altındaki zeminin su içeriğinin kontrolü gibi bir' çok iyileştirme yöntemleri, de vardır.

## Değinilen Belgeler

- Altmeyer, W. T., 1955, Discussion of-engineering properties of expansive clays.. Journal of the Soil Mechanics, and Foundations Division.. American Society of Testing and Materials, Vol. 81, No. SM2, p. 17-19..
- Chen, F. H., 1988, Foundations on Expansive Soils. Elsevier, Amsterdam.
- Dakshnamanthy, V. and Raman,» V., 1973, A simple method of identifying an expansive soil. Soils and Foundations., Vol. 13., No. 1, p. 97-104..
- Das, B. M., 1995,, Principles of Foundation. Engineering. PWS Publishing Company,, a division of International Thomson Publishing Inc. Boston., U. SA, 828 p..
- Gromko, G. J., 1974,, Review of expansive soil. J. of the Geoteek. Engineers, Am., Soc. Of Civ. Engng. Vol. 100., No. GT6, P.667-687..
- Holtz, W. G., 1959, Expansive clays-properties and problems. Journal of the Colorado School of Mines, Vol. 54., No. 4., p. 89-125.

- Kasapoğlu, K. E., 1989» Killerin jeo-mühendislik özellikleri. IV. Ulusal Kil Sempozyumu Bildiriler Kitapçığı, s. 3-29.
- McKeen, R.-G., 1992» A model for predicting expansive soil behaviour. Proceedings, 7th International Conference on Expansive Soils, Dallas, Vol. 1, p. 1-6.
- Nayak, N. V. and Christensen, R. W., 1974, Swell characteristics of compacted expansive soils. Clay and Clay Minerals» Vol. 19, p. 251-261. \* •
- O'Neil» M. W. and Poormoayed, N., 1980» Methodology for foundations, on expansive, clays., Journal of Geotechnical Engineering, Division,, American Society of Civil Engineers» Vol. 106,, No. GT12, p. 1345-1367.
- Raman,, V., 1967» Identifications of expansive soils from the plasticity index and the shrinkage index data. The Indian Engineer, Vol. 11, No. 1» p. 17-22.,
- Seed» H. B» Woodward,, R. J., Jr., and Lundgren» R., 1962, Prediction of swelling potential for compacted clays. Journal of the Soil Mechanics and Foundations Division,, American Society of Civil Engineers, Vol., 88, No. SM3, p. 53-87.
- Sikh,, T. S., 1993,, Swell potential versus overburden, pressure. Geotechnical Testing Journal» American, Society for Testing and Materials, Vol.' 16» No. 3,, p. 393-396,
- Sivapulkian, P. V., Sitharam, T. G. and Rao,, K. S. S» 1987» Modified free swell index for clay., Geotechnical Testing Journal,, American Society for Testing and Materials, vol. 11, No. 2» p. 80-8,5.
- Snethen, D. R» 1984,, Evaluation of expedient methods, for identification and classification of potentially expansive soils., Proceedings, 5th International Conference on Expansive Soils, Adelaide, Australia, p. 22-26.
- Sowers,, G. B. and Sowers, G. F., 1970. Introductory Soil Mechanics and Foundations» 3rd ed. Mcnrrillan, New York.
- Sridharan. A., Rao,, A. S. and SivapuUaiah, P. V., 1986,, Swelling pressure- of clays., Geotechnical Testing Journal, American Society for Testing and. Materials, Vol. 9» No. I, p. 24-33.
- Von Der Merwe, D. H., 1964,, The prediction of heave from, the plasticity index and percentage clay fraction of soils. Civil Engineer in South Africa» Vol. 6, No., 6, p. 103-106.
- Vijayvergiya, V. N. and Ghazzaly, O. L» 1973» Prediction, of swelling potential of natural clays., Proceedings,, 3rd Int. Research and Engineering, Conference on Expansive Clays,, p. 227-234.
- Weston,, D. J., 1980,, Expansive roadbed, •treatment for Southern Africa. Proceedings, 4th International Conference on Expansive Soils,, Vol. 1» p. 339-360.,
- Yilmaz, I. and Karacan., E, 1997» Geotechnical properties of-alluvial soils: an example from south of Sivas (Turkey). IAEG, Bulletin of International Association of Engineering Geology, France» No., 55.