

Şişen Zeminlerin Tanımlanması ve Zemin İyileştirme Yöntemleri

Saniye Demir

Mustafa Kılıç

Gaziosmanpaşa Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Toprak Bölümü, 60240 Tokat

Özet: Şişme problemleri genellikle yarı-kurak iklimlerde görülen montmorillonit kil minerali içeren zeminlerde meydana gelmekte olup, gerekli önlemler alınmadığında tek veya birkaç katlı binalara, boru hatlarına, yollara, hava limanlarına, istinat ve bahçe duvarlarına vb. hafif yapılara hasar vererek önemli maddi kayıplara neden olabilmektedir. Bu tür zeminlerin şişme davranışlarının ve bunlara etkiyen faktörlerin önceden belirlenmesi ile oluşabilecek zararlar azaltılabilmekte, ya da tamamen önlenmektedir. Bu tür killerin şişme özelliğini ölçmeye yönelik çok sayıda yöntem bulunmaktadır. Bu yöntemlerin çoğunda şişme basıncı geleneksel boyutlu konsolidasyon yöntemiyle dolaylı olarak ölçülmektedir. Bu derlemede, şişen zeminlerin tanımlanması ve sınıflandırılması genel hatlarıyla açıklanmış olup, iyileştirme yöntemlerinden bahsedilmiştir. Şişen zeminleri çalışmaya yeni başlayacak olan araştırmacılar ve uygulamacılar için faydalı olacağı düşünülmüştür.

Anahtar kelimeler: Şişen zeminler, şişme deneyi yöntemleri

Identification of Expansive Soils and Ground Improvement Methods

Abstract: Swelling problems generally occur in soils containing montmorillonit group clay minerals which are often present in semi arid regions. Swelling soils may cause considerable financial loss due to damages of one or two storey light structures, pipelines, roads, airports, retaining or garden walls etc. Through early determination of swelling behavior of soils of this type and factors affecting it, possible damages can be decreased or prevented. There are numerous studies focusing on the measurement of swelling properties of such soils, most of which use the conventional one-dimensional consolidation test that measures the swelling pressure indirectly. In this study, the swelling of soils, identification are described in general terms and methods of improvement are discussed. It was considered that the study useful for the researchers and practitioners who study on the swelling soils.

Key words: Swelling soils, swelling test methods.

1. Giriş

Su içeriğinin artmasıyla birlikte hacminde artış, su içeriği azaldığında ise büzülme oluşan zeminlere “şişen zeminler” denilmektedir. Zeminlerin su içeriğindeki değişikliğin başlıca nedeni mevsim değişiklikleri olup, yağışlı mevsimlerde yüzeyde biriken yağış sularının zeminin içerisine infiltrasyon olmasıyla (sızmasıyla) zeminin su içeriği artmakta, sıcak mevsimlerde ise buharlaşma nedeniyle azalmaktadır. Su içeriğindeki bu değişikliğin sonucunda ise zeminde şişme-büzülme çevrimi oluşmaktadır.

Şişen killerdeki hacimsel değişmeden en çok etkilenen mühendislik yapıları; hafif yapılar (tek katlı az yüklü binalar), yollar ve trotuarlar, havaalanları, park alanları, altyapı tesisleri (kullanım suyu ve atık su boruları), tüneller, sulama kanalları ve bahçe duvarlarından oluşmaktadır. Suyla temas ettiklerinde şişen zeminler çoğunlukla montmorillonit tipi kil minerali içeren zeminler olup, genellikle dört

mevsim yağış almayan kurak, yarıkurak iklimlerde görülmektedir. Şişen zeminler Amerika, Kanada, İsrail, Güney Afrika, Avustralya, Hindistan, Sudan, Peru, İspanya (Akawwi ve ark., 2001; Coduto, 2001; Popescu, 1979; Sridharan ve ark., 2004; Xeidakis vd., 2004), Ürdün, Yunanistan, Kuzey Kıbrıs, Çin ve Romanya gibi ülkelerin yanı sıra Türkiye’de de bulunmaktadır. Türkiye’de şişen zeminlerin en yoğun olduğu illerden birisi de Ankara’dır. Literatürde “Ankara Kili” olarak da bilinen kilin büyük ölçüde şişme potansiyeli gösterdiği birçok araştırmacı tarafından ortaya konulmuştur (Birand, 1963; Ordemir ve ark., 1965; Doruk, 1968; Omay, 1970; Üner, 1977; Furtun, 1989; Cokça, 1991; Ergüler ve Ulusay, 2003a; Avşar ve ark., 2009) (Şekil 1). Bu çalışmaların yanı sıra Ergüler ve Ulusay (2003b) tarafından Ankara’nın güneybatısındaki yerleşim birimlerini kapsayan bir şişme haritası da hazırlanmıştır.



Şekil 1. Şişen zeminlerin oluşturduğu zararlar

2. Şişen Zeminlerin Tanımlanması ve Sınıflanması

Şişen zeminlerin projenin keşif ve ön araştırma aşamasında tanımlanması, ileride yapılması gereken örneklerin alınması, deneylerin yapılması ve en son yapılacak tasarım işlemlerinin doğru yapılmasını sağlayacaktır. Bu amaçla yapılacak olan çalışmalar iki önemli aşamaya yönelik olmalıdır. İlk aşama zeminin şişen zemin olarak tanımlanması, ikinci aşama ise uygun örneklerin alınarak tasarımda kullanılacak değerlerin belirlenmesidir

Şişme özelliği olan zeminlerin şişme karakteristiklerini ölçmek amacıyla çok sayıda deney ve değerlendirme yöntemi bulunmasına karşın, bunlardan hiçbiri uluslararası geniş kullanım alanına sahip değildir. Bu durum hatalara ve sonuçta farklı değerlendirmelere yol açmaktadır (Mollamahmutoğlu ve Taşkıran, 2000). Bu yöntemler temelde iki grupta toplanabilirler. Bunlardan ilki niteliksel yöntemler olup; Atterberg limitleri, kolloid içeriği, birim hacim ağırlıkları vb. yaygın zemin parametreleri ile korelasyonlara gidilerek zeminin şişme potansiyelini düşük, orta, yüksek, çok yüksek gibi ifadelerle, ve ampirik yöntemle değerlendirmeye dayanmaktadır. İkinci grup ise niceliksel yöntemleri

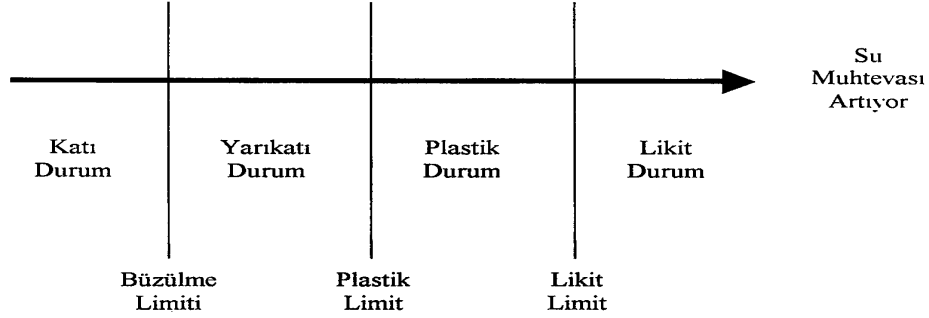
içermektedir. Bu yöntemde ise, ödometre kullanılarak zeminin tek eksenli şişme değerleri elde edilir. Bununla beraber tarım ve jeolojik amaçlı olarak farklı deney yöntemleri kullanılmaktadır. Bu deneyler, zeminin kimyasal ve mineralojik yapısı hakkında ek bilgiler verdiği için ihmal edilmemelidir.

2.1. Tanımlama Deneyleri

2.1.1. Zemin Sınıflandırma Deneyleri

Atterberg limitleri, kolloid oranı, kil yüzdesi, birim hacim ağırlıkları, başlangıç su içeriği vb. gibi zeminin indeks özellikleri şişen zeminlerin tanımlanmasında ve sınıflandırılmasında en yaygın kullanılan yöntemdir. Atterberg limitleri ince taneli zeminlerin kıvam limitlerindeki su içeriğini belirler. İnce taneli bir zemin dört farklı kıvama sahip olabilir. Şekil 2'de bu kıvam ölçüleri ve bunları belirlemede kullanılan su içeriği değerleri görülmektedir. Bu kıvam değerleri zeminin likit, plastik ve büzülme limitleri ile belirlenir.

Atterberg limitleri ve zeminin doğal su içeriği belirlenerek iki kullanışlı değere ulaşılabilir. Bunlar plastiklik indisi (PI) ve likitlik indisi (LI) dir. Özellikle plastiklik indisi (PI) şişen zeminlerin sınıflandırılmasında sıkça kullanılır ve ön araştırmalar sırasında mutlaka belirlenmelidir.



Şekil 2. Atterberg limitleri ve zemin kıvamı arasındaki ilişki

2.1.2. Mineralojik yöntemler

Kil mineralojisi şişen zemin davranışını kontrol eden en temel faktörlerden biridir. Kil mineralleri çeşitli yöntemlerle belirlenebilir. Bunlar arasında en yaygın olanları; X-ray difraksiyon (XRD), diferansiyel termal analiz (DTA), tarayıcı elektron mikroskobu (SEM), kızılötesi spektroskopisi ve boya adsorpsiyonu olarak sıralanabilir (Tovey, 1986).

Bunlardan en yaygın olarak kullanılanı X-ray difraksiyon (XRD) yöntemidir. X ışını analizinde; X ışını dalga boyunun kil mineralinin atom düzlem aralığı ile uyumu, bu yöntemin kil minerallerini belirlemede en uygun yöntem olmasının temel nedenidir.

Diğer sık kullanılan mineralojik yöntemler; diferansiyel termal analiz (DTA) ve elektron mikroskobu yöntemidir. DTA analizinde bir kil örneği eş zamanlı olarak ısıtılır ve hareketsiz bir nesneden yararlanır. Sonuçta uygulanan ısıya karşı değişen sıcaklığı gösteren tomografiler elde edilerek, saf minerallerin tomografileri ile karşılaştırılır. Her mineral tomografiler üzerinde farklı endotermik ve egzotermik reaksiyonlar göstermektedir.

Elektron mikroskopları kil minerallerini doğrudan gözleme olanağı vermiştir. Elektron mikroskobu kullanarak kil minerallerinin şekli ve boyutu hakkında yalnızca nitel tanımlamalar yapılabilmektedir.

2.1.3. Katyon değişim kapasitesi (KDK)

Kil taneleri üzerindeki negatif yüklerin dengelenmesi için gereken değişebilir katyonların miktarı, katyon değişim kapasitesi

(KDK) olarak bilinir ve meq/100g ile ifade edilir. Katyon değişimi, zeminlerin temel elektro-kimyasal özelliklerinden biridir ve özellikle killerin davranışı üzerinde önemli etkilere sahiptir.

Katyon değiştirme kapasitesinin belirlenmesi için birkaç yöntem geliştirilmiştir. İlk geliştirilen yöntemlerden biri; kilin bir katyona doyurulması ve artık tuzların yıkanması; ardından başka katyonlarla doyurularak, yıkama işlemlerinin tekrarlanması şeklinde uygulanmaktadır. Toplam çözeltiler ise değişen katyon miktarının belirlenmesi için kullanılmaktadır. Diğer yöntemler kilin amonyum (NH_4) iyonlarıyla doyurulması, setilpiridinyum iyonları, kobalt hegzamin, bakır dietilendiamin ve bakır trietilentetramin gibi metal-organik karışımlarının kullanılmasıdır. KDK'nın metal organik karışımlarla belirlenmesi hızlı ve kesin sonuç vermektedir. Bununla birlikte, amonyum asetat yöntemi önemini korumakta ve uzun zaman almasına karşın diğer yöntemlerin doğrulanmasında kullanılmaktadır (Ammann, 2003).

KDK kil mineralojisi ile ilgilidir. Yüksek KDK değerleri yüksek yüzey aktivitesini gösterir. Genelde şişme potansiyeli KDK değerleri ile artar. Çizelge 1'de farklı kil mineralleri için verilen katyon değiştirme kapasitesi değerleri verilmiştir.

KDK değerinin ölçülmesi genellikle zemin mekaniği laboratuvarlarında bulunmayan detaylı ve hassas deney teknikleri gerektirir. Bununla beraber bu deney birçok toprak laboratuvarında kolaylıkla yapılmakta olup pahalı bir deney değildir.

Çizelge 1. Çeşitli kil mineralleri için katyon değiştirme kapasitesi değerleri (Grim, 1962)

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

2.1.4. Serbest Şişme

Serbest şişme indisi deneyi, zeminlerin şişme potansiyelinin tahmin edilmesinde çok yaygın kullanılan, basit bir yöntemdir. Deney, belirli miktardaki zeminin hacim ölçekli dereceli silindir içerisinde suda çökelen hacminin belirlenmesi şeklinde yürütülmekle birlikte, literatürde farklı araştırmacılar tarafından önerilmiş birkaç deney yöntemi bulunmaktadır.

Zeminin serbest şişmesi; hacimdeki ilk değişimin ilk hacmine olan oranı ile ifade edilir. 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.

2.1.5. Potansiyel Hacim Değiştirme (PVC)

Deneyi

Deney, doğal su içeriğinde yoğrulmuş örneğin, 2600 kJ/m³ lük modifiye proktor sıkıştırma gücüyle bir odometre ringine yerleştirilmesi, örneğin ıslatılması ve yük halkasına karşı şişmesine izin verilmesi şeklinde uygulanır. Şişme indisi, yük halkasındaki basınç olarak kaydedilmektedir. Şişme-büzülme potansiyelinin, potansiyel hacim değiştirme deneyinin sonuçlarına bağlı olarak sınıflandırılmasında Çizelge 2 kullanılmaktadır (Anonim, 1993).

Çizelge 2. Şişme – büzülme potansiyelinin PVC deneyi sonuçlarına bağlı olarak sınıflandırılması (Anonymous, 1993)

| Şişme Basıncı (kPa) | Şişme – Büzülme Potansiyeli |
|---------------------|-----------------------------|
| < 81 | Düşük |
| 81–153 | Orta |
| 153–225 | Yüksek |
| > 225 | Çok Yüksek |

2.1.6. Kaliforniya taşıma oranı (CBR)

CBR deneyi, karayolu ve havaalanı kaplamalarının projelendirilmesinde yoğun olarak kullanılan bir penetrasyon direnci deneyidir. Zemin, 6 inç (152 cm) çapındaki CBR deney silindirin farklı su içeriklerinde ve yoğunluklarda sıkıştırıldıktan sonra bir sürşarj yükü altında 4 gün suda bırakılır. Sürşarj yükü zeminin arazide maruz kalacağı statik gerilmeye uygun olarak seçilir. Şişme okumaları 4 günlük ıslatma periyodundan önce ve sonra bir ölçüm saatiyle alınır.

2.1.7. Doğrusal Genişleyebilirlik Katsayısı (COLE)

Doğrusal genişleyebilirlik katsayısı (COLE) deneyi, şişen zeminlerin karakterize edilmesi için kullanılan bir büzülme deneyidir. Deney örselenmemiş örneğin 33 kPa emme durumu ile fırında kurutulmuş emme (1000 kPa) durumu arasındaki doğrusal deformasyonunun belirlenmesinden oluşur. Örselenmemiş zemin örneği, su için geçirimsiz ancak su buharı için geçirimli olan esnek plastik reçine ile kaplanır. Daha sonra bu doğal zemin toprakları, basınçlı bir kap içinde 33 kPa zemin emmesine getirilir. Zeminlerin hacimleri

Arşimet prensibi yardımıyla belirlenir. Daha sonra örnekler fırında kurutulur ve benzer şekilde diğer hacim ölçümleri yapılır. COLE, nemli durumdan kuru duruma geçirildiğinde, örnek boyutundaki değişimin ölçümüdür ve 33 kPa emme ile fırında kurutulmuş toprağın hacim ağırlıklarından belirlenir.

COLE yüzde olarak da hesaplanabilmekte ve bu durumda doğrusal genişleyebilirlik

Yüzdesi (LEP) olarak isimlendirilmektedir. Amerika Birleşik Devletleri Tarım Departmanı Doğal Kaynakları Koruma Servisi tarafından verilen şişme- büzülme potansiyeli sınıflandırması Çizelge 3'te görülmektedir (Anonim, 2005).

Çizelge 3 Şişme-büzülme potansiyelinin doğrusal genişleyebilirlik katsayısı ve doğrusal genişleyebilirlik yüzdesine bağlı olarak sınıflandırılması (Anonim, 2005).

| COLE | LEP | Şişme - Büzülme Potansiyeli |
|-------------|-------|-----------------------------|
| < 0.03 | < 3 | Düşük |
| 0.03 - 0.06 | 3 - 6 | Orta |
| 0.06 - 0.09 | 6 - 9 | Yüksek |
| ≥ 0.09 | ≥ 9 | Çok Yüksek |

2.2. Şişen zeminlerin sınıflandırılması

Şişen zeminlerin tanımlama deneyleri ile belirlenmesinden sonra elde edilen parametreler bazı sınıflandırma şemaları ile birleştirilmişlerdir. Ancak, henüz standart bir sınıflama yöntemi geliştirilmemiştir. Bu yüzden farklı bölgelerde farklı sınıflandırma sistemleri kullanılmaktadır.

Şişen zeminlerin sınıflandırılmasını güçleştiren en önemli neden şişme potansiyelinin standart tanımının olmamasıdır. Şişme deneylerinin yapıldığı örneğin özellikleri (örselenmiş, örselenmemiş), sürşaj yükü ve deneye etki eden diğer faktörler değişiklikler gösterir. Mollamahmutoğlu ve Taşkıran'ın (2000), temel mühendislik özellikleri ile şişme potansiyeli arasındaki korelasyonlara ilişkin önerileri ile şişme potansiyelinin yaygın zemin deneyleri arasındaki korelasyonları Çizelge 4'deki gibidir.

Şişen killerin tanımlanmasında; genellikle tane boyu dağılımı, kil içeriği ve plastiklik gibi zemin özellikleri kullanılır. Plastiklik indisi ($PI = LL - PL$) ile kıvam limitleri ve doğal su içeriğine bağlı olarak belirtilen likitlik indisi ($LI = [w_n - LL] / [LL - PL]$); iki önemli kriter olarak göz önüne alınır. Özellikle plastiklik indisi, şişen killerin sınıflandırılmasında sıkça kullanılmaktadır. Plastiklik indisine göre belirlenen şişme potansiyelinin gruplandırılması Çizelge 5'de olduğu gibidir.

Hafif binalar (1 veya 2 katlı), yollar, hava alanları ve yer altı tesislerinin (su, kanalizasyon, telekomünikasyon vb. tesisler) yer aldığı zeminlerdeki hacim değişikliği ise, şişme basıncı ile hafif yapılardaki olası hasar durumu Wayne ve ark. (1984) tarafından Çizelge 6'da verilmiştir.

Çizelge 4. Zeminin mühendislik özellikleri ile şişme dereceleri arasındaki korelasyon (Mollamahmutoğlu ve Taşkıran, 2000).

| Laboratuar ve Arazi verileri | | | Şişme dereceleri | | |
|------------------------------|-------------|---|--------------------|-------------------|-------------------|
| 200 nolu elekten geçen | Likit limit | Standart Penetrasyon Deneyi (N) değerleri | Muhtemel şişme (%) | Şişme Basıncı (%) | Şişme Potansiyeli |
| < 30 | < 30 | <10 | <1 | 50 | Düşük |
| 30-60 | 30-40 | 10-20 | 1-5 | 150-250 | Orta |
| 60-90 | 40-60 | 20-30 | 3-10 | 250-1000 | Yüksek |
| <95 | >60 | >30 | <10 | >1000 | Çok yüksek |

Çizelge 5. Plastiklik indisi ile şişme potansiyeli arasındaki bağıntı (Yıldırım ve Acar 1994)

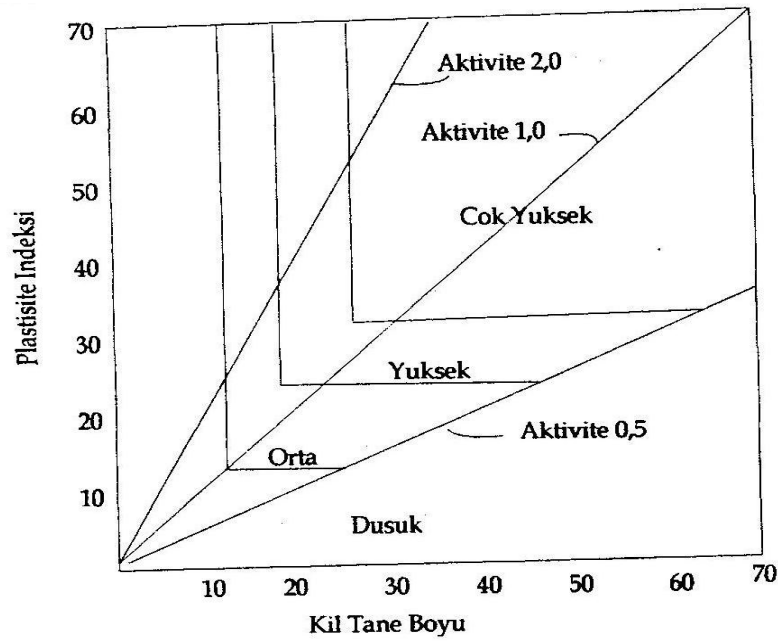
| Plastiklik indisi | Şişme potansiyeli |
|-------------------|-------------------|
| 0-15 | Düşük |
| 10-35 | Orta |
| 20-35 | Yüksek |
| ≥35 | Çok yüksek |

Çizelge 6. Hacim değişikliği, şişme basıncı ve muhtemel hasar arasındaki ilişki (Wayne, Osman and Elfatih, (1984)

| Hacim değişikliği | Şişme basıncı | Hafif yapılarda olası hasar |
|-------------------|---------------|-----------------------------|
| 0-1,5 | 0,5 | Düşük |
| 1,5-5 | 50-250 | Orta |
| 5-25 | 250-1000 | Yüksek |
| >25 | >1000 | Çok yüksek |

Şişen zeminlerin sınıflandırılmasında yaygın olarak Van Der Merwe (1964) tarafından önerilen abak kullanılmaktadır. Modifiye Van Der Merve abağı, kil içeriği ve

plastiklik indisi değerlerinden hareketle şişme yüzdeleri derecelendirmiştir (Van Der Merve 1964) (Şekil 3).



Şekil 3. Şişme potansiyeli abağı (Van Der Merve,1964)

3. Şişen Zeminlerin İyileştirilmesi

Zemin iyileştirme yöntemleri aşağıdaki başlıklar altında toplanabilir:

1. Kimyasal katkı maddeleri
2. Temeller ve döşemeler inşa edilmesi
3. Ön ıslatma
4. Sıkıştırma kontrolü ile zeminin iyileştirilmesi
5. Sürşaj yüklemesi
6. Yol kaplamaları
7. Su içeriğinin korunması

3.1. Kimyasal Katkı Maddeleri

3.1.1. Kireç Stabilizasyonu

Kireç stabilizasyonu şişen zeminlerin iyileştirilmesinde çok sık kullanılan yöntemdir. Genellikle ağırlıkça %3-8 oranında sönmüş

kireç zeminin üst 10-50 cm'lik kısmını stabilize etmek için kullanılır. Oluşan temel reaksiyonlar; kation değişim kapasitesi, folukasyon-aglomerasyon, kireç karbonatlaşması ve puzolonik reaksiyonlardır. Kireç stabilizasyonu zeminin plastikliğini azaltarak çalışabilirliği artırır. Aşağıda yer alan zemin özellikleri, zeminin kireç ile reaktivitesini etkilemektedir (Amer A. Al-Rawas.,1998) .

1. pH değeri 7 civarında olan zeminlerin kireç reaktivitesi yüksektir

2. Organik karbon varlığı zemin- kireç reaksiyonunu yavaşlatır

3. Zayıf drenaj özelliklerine sahip zeminler iyi drenaj özelliklerine sahip

zeminlere oranla daha yüksek reaktiviteye sahiptir

4. Kalkerli zeminler iyi reaktivite özelliğine sahiptirler

5. Sülfatlar ve bazı demir bileşikler kireç reaksiyonunu engellerler

6. Alçı taşı (Gypsum) içeren zeminlerde kireç gereksinimi daha fazladır

Puzolonik reaksiyonlar; kil yüzdesi, kilin mineralojisi, zeminin pH'sı, organik madde içeriği ve drenaj koşulları gibi zemin özelliklerine bağlıdır. Zemin stabilizasyonunu sağlayan diğer reaksiyonlar; kireç, su ve alüminyum veya silikatlı maddelerin oluşturduğu güçlü çimentolaşmış yapılarıdır. Kireç stabilizasyonu kum ve silt ağırlıklı zeminlerde etkin sonuçlar vermeyebilir. Zemine kireç ile birlikte uçucu kül veya benzeri puzolonik özellikler gösteren malzemelerin ilavesi, zemin özelliklerini olumlu etkileyecektir (Çetin, 2003).

3.1.2. Çimento Stabilizasyonu

Zemini, çimento ile stabilize edilmesi kireç stabilizasyonuna benzer reaksiyonlar oluşturur. Çimento stabilizasyonu; likit limit, plastiklik indisi ve hacim değiştirme potansiyelini azaltırken rötre limitini artırır. Ancak çimento stabilizasyonu yüksek plastiklikli killerin stabilizasyonunda kireç stabilizasyonu kadar etkili değildir. Zeminlerin kirece karşı reaktif olmadığı durumlarda çimento stabilizasyonu avantajlı olmaktadır. Bu sebeple karıştırma işlemi kireç stabilizasyonuna göre daha kısa sürede tamamlanmalıdır (Çetin, 2003).

3.1.3. Tuz ile Stabilizasyon

Özellikle kalsiyum klorit ve sodyum klorit şişen zeminlerin iyileştirilmesinde çoğunlukla kullanılmaktadır. Tuzların zemin üzerindeki etkisi zemin özelliğine bağlı olarak değişiklik gösterebilmektedir. Genelleme yapmak gerekirse; özellikle yüksek limit değerlerine sahip olan zeminlerde etkili olmaktadır. Zeminlerin su içeriklerini korunmasını, büzülme limitinin ve kayma dayanımının artmasını sağlarlar. Suyun donma derecesini düşürdüklerinden donmadan kaynaklanan şişme probleminin çözümünde başarılı olarak kullanılmışlardır. Ancak zaman içerisinde zeminden ayrılmaları problem olmaktadır. Bu

nedene stabilizasyonun belirli sürelerde tekrarlanması gerekmektedir. Bu da yöntemin ekonomik olmamasına neden olmaktadır (Çetin, 2003).

3.1.4. Uçucu Kül Stabilizasyonu

Uçucu küller genel olarak puzolonik reaksiyonları arttırmak amacıyla kireç ile birlikte kullanılmaktadır. Uçucu küller çok farklı mekanik ve kimyasal özellikler taşıyabilmektedirler. Bu nedenle doğru tasarım yapılabilmesi için çok sayıda deney yapılmalıdır (Çetin, 2003).

3.1.5. Organik Bileşikler İle Stabilizasyon

Zemin iyileştirilmesinde çok sayıda organik madde denenmiştir. Ancak bu maddeler kireç kadar etkili ve ucuz değildir. Bazı organik maddeler iyileştirme için uygun değerler vermiştir. Ancak bunların arazide kullanımları ile ilgili kuşkuları vardır (Çetin, 2003).

3.2. Temeller ve Döşemeler İnşa Edilmesi

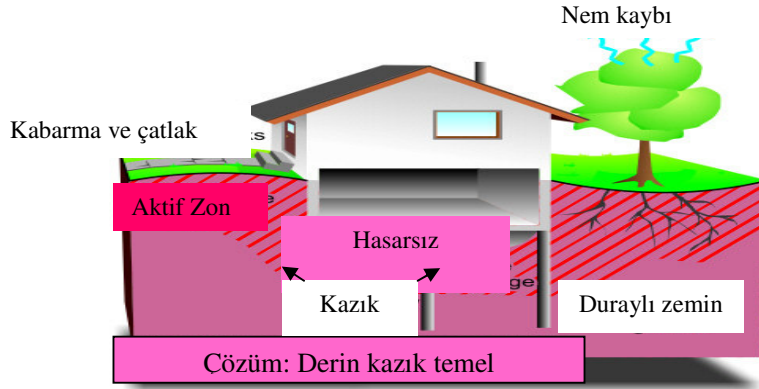
Binalar (özellikle hafif olanlar) şişebilen zeminlerin neden olduğu hasara eğilimlidir. Kabarmanın ve büzülmenin miktarı genellikle binanın bir kenarından, diğer kenarına değişir. Böylece aşırı farklı oturmalar ile ilgili olanlara benzer problemlere neden olur. Bunlar çatlakları, çalışmayan kapılar ve pencereleri vb. kapsar (N. K. Ameta). Yaygın koruyucu önlemler şunlardır:

1. Temelleri daha büyük derinliklere uzatmak (böylece en büyük nem değişim bölgesini geçmek ve binayı daha kararlı zemin üzerine inşa etmek amaçlanmaktadır) (Şekil 4)
2. Temellere ve döşemelere ilave donatı çeliği koymak (Bazı durumlarda önceden gerdirmeli veya sonradan gerdirmeli döşemeler kullanılır)
3. Tesviye üzeri plak döşemelerden kaçınmak
4. Özellikle bina etrafında iyi yüzey drenajı sağlamak ve sürdürmek için dikkatli olmak
5. Binaya yakın sulama yeşil alan yerleştirilmesinden kaçınmak
6. Yapım öncesinde zemini ıslatmak, böylece bina dikilmeden önce şişmeye neden olmak

3.3. Ön İslatma

Bu yöntem; su içeriği yüksek olan zeminlerin daha düşük şişme göstereceği ilkesine dayanır. Eğer zemin yeterince yüksek su içeriğine sahip ise önemli bir hacim değişimi olmayacağı kabul edilebilir. Plastik limit değerinin üzerine kadar ıslatılan zeminlerde şişme potansiyeli önemli ölçüde azalmaktadır. Ancak bu yöntemin kullanımını sınırlandıran önemli sakıncalar mevcuttur. Şişen zeminler

genellikle çok düşük permeabilite değerlerine sahiptirler bu nedenle zemini yeterince ıslatmak çok uzun zaman alabilir. Ayrıca zeminin su içeriği artırıldığında zemin dayanımının ve şev stabilitesinin önemli ölçüde azalabileceği unutulmamalıdır. Su içeriği artırılan kısımdaki su zamanla alt tabakadaki zemini etkileyecektir. Bunun da yapı üzerinde beklenmeyen hasarlara neden olabileceği unutulmamalıdır.



Şekil 4. Şişen zeminlerin iyileştirilmesine örnek.

3.4. Sıkıştırma Kontrolü İle Zemin İyileştirilmesi

3.4.1. Kaldırıp Yeniden Yerleştirme

Şişme özelliği gösteren bir zemini kaldırarak yerine şişmeyen zemin konulması sağlam temel zemini oluşturmak için kullanılan bir yöntemdir. Bu yöntem şişen tabaka düşük bir kalınlığa sahip ise bu tabakanın tamamının kaldırılması, şişen tabakanın çok kalın olması durumunda ise yeterli kalınlığın belirlenip bu noktaya kadar olan kısmın değiştirilmesi ilkesine dayanır. Kaldırılması gereken kısmın kalınlığı, alttaki zeminin şişme potansiyeline bağlı olarak belirlenir. Dolgu malzemesi olarak kullanılacak zeminin, alt tabakaya su iletilmesini sağlamak amacıyla dolgu malzemesi olarak granüler zeminlerin kullanılması önerilmez. Dolgu tabakası yüksek yoğunluklarda sıkıştırılarak, yüksek taşıma gücü elde edilebilir. Bu yöntem özel aletler gerektirmediği ve kısa sürede tamamlanabildiği için ekonomik olabilir. Ancak dolgu malzemesinin yapıya yakın bölgede bulunması gereklidir. Aksi halde malzemenin taşınması fazladan maliyet getirebilir. Bazı durumlarda kaldırılması gereken tabaka pratik olarak uygulanmayacak kadar yüksek olabilir.

3.4.2. Örseleyip Yeniden Sıkıştırma

Şişen zeminlerde şişme potansiyeli kuru yoğunluğu azaltarak düşürülebilir. Optimum su içeriğinin üzerinde en az kuru yoğunluk sağlayacak şekilde hazırlanan zeminler daha düşük şişme potansiyeline sahiptirler. Arazide bulunan zeminin dolgu malzemesi olarak kullanılması, uygulamaların ekonomik olmasını sağlar. Eğer doğru sıkıştırma uygulanırsa, zemin yeterince geçirimsiz olur, bu da alt tabakalara suyun geçmesini engeller. Ancak yoğunluğun düşük olması taşıma gücü problemlerine neden olur.

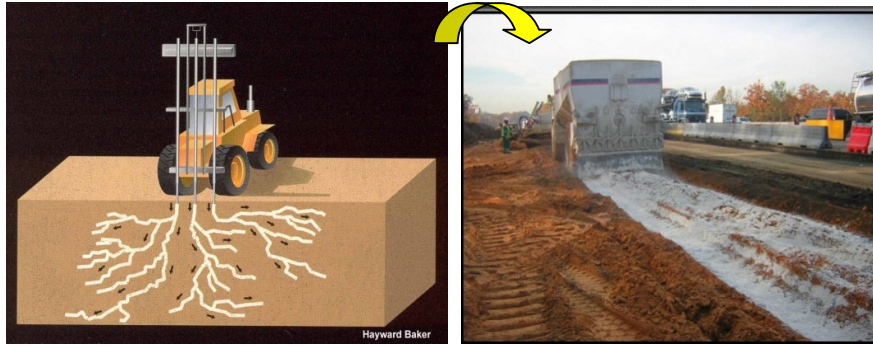
3.5. Sürsaj Yüklemesi İle Zeminin İyileştirilmesi

Şişen killerde şişme basıncı değerine yakın değerlerde bir sürsaj yüklemesi yapılarak şişme engellenebilir. Bu yöntem ancak düşük-orta derecede şişme potansiyeline sahip zeminlerde pratik olarak kullanılabilir. Şişme değerleri ile şişme basıncı arasındaki ilişkinin doğrusal olmaması, şişme basıncının artması yöntemin uygulanmasını güçleştirmektedir.

3.6. Yol Kaplamaları

Karayolu kaplamaları da şişebilen zeminlerden kaynaklanan hasara meyillidir. Yaygın koruyucu önlemler aşağıdakileri kapsar:

1. Alt temel zeminlerden suyu uzaklaştırmak amacıyla kapsamlı yüzey ve yer altı drenajı sağlamak
2. Şişmeyen alt temel malzemesi kullanmak
3. Şişme özelliklerini azaltmak için alt temel zeminlerini kireç veya bazı diğer malzemeler ile ıslah etmek (Şekil 5)
4. Daha fazla çelik donatısı sağlamak



Şekil 5. Şişen zeminlerin kireçle iyileştirilmesi

4.Sonuçlar

Şişme problemleri çoğunlukla montmorillonit kil minerali içeren zeminlerde görülmekte olup, gerekli önlemler alınmadığında maddi kayıplara neden

3.7. Su İçeriğinin Korunması İle Zemin İyileştirilmesi

Zemindeki şişme problemleri su içeriğindeki değişimlerden kaynaklanmaktadır. Eğer zemin içerisindeki su içeriğinin değişimi uygun yöntemle engellenebilirse şişme problemleri büyük ölçüde çözümlenebilir. Su tutucu bariyerleri zeminlerde su içeriğinin değişimini engellemek için kullanılabilir. Burada amaç yapıya yakın bölgelere geçirimsiz tabaka oluşturarak yapının altında kalan zeminlerde oluşabilecek su içeriği değişimlerini en aza indirmektedir. Yapımdan önce olduğu gibi koruma amaçlı olarak da uygulanabilir. Düşey ve yatay su tutma bariyerleri olarak iki farklı şekilde üretilebilirler.

yapılarda ciddi hasarlar oluşturulabilmektedir. Şişen zeminlerin yaygın olarak görüldüğü bazı ülkelerde bu maddi kayıplar, diğer doğal afetlerin neden olduğu maddi kayıplardan çok daha ileri düzeylere ulaşabilmektedir.

Kaynaklar

- Amer A. Al-Rawas., 1998. The factors controlling the expansive nature of the soils and rocks of northern Oman. *Engineering Geology* 53 (1999) 327–350.
- Ammann L., 2003. Cation exchange and adsorption on clays and clay minerals. Submitted for the degree Dr. rer. nat.of the faculty of mathematics and natural sciences Christian-Albrechts-Universität Kiel, Germany.
- Akawwi, E., ve Al-Kharabsheh, A., 2001. “Consolidation Coefficient and Swelling Potential for the Expansive Soils in Jordan”, *Electronic Journal of Geotechnical Engineering*, (EJGE), Volume 6.
- Anonim, 1999. 430-VI. [Online] Available: <http://soils.usda.gov/technical/handbook/> .Vanapalli, S.K., Fredlund, D.G., and Pufahl, D.E.
- Anonymous, 1993. Soil survey manual, USDA-SCS Agric. Handb. 18. U.S. Gov. Print. Office, Washington, DC.
- Anonymous, 2005. National Soil Survey Handbook, title430-VI / .
- Avsar, E., Ulusay, R., Sonmez, H., 2009. “Assessments of swelling anisotropy of Ankara clay”, *Engineering Geology*, 105: 24–31.
- Birand, A.A., 1963. Study of the characteristics of Ankara Clays showing swelling properties. MSc Thesis, Department of Civil Engineering, Middle East Technical University, Ankara, Turkey.
- Cokca, E., 1991. Swelling potential of expansive soils with a critical appraisal of the identification of swelling of Ankara soils by methylene blue tests. PhD Thesis, Department of Civil Engineering, Middle East Technical University, Ankara, Turkey.
- Coduto, D.P., 2001. *Foundation Design-Principles and Practices*. Second Ed., pp. 655 – 694, Prentice-Hall, New Jersey, USA.

Şişen Zeminlerin Tanımlanması ve Zemin İyileştirme Yöntemleri

- Çetin, M., 2003. Değişik çevresel koşullar altında, şişen zeminlerin özelliklerinin belirlenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Dumlupınar Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü, 58 s.
- Doruk, M., 1968. Swelling properties of clays on the METU Campus. MSc Thesis, Department of Civil Engineering, Middle East Technical University, Ankara, Turkey.
- Erguler, Z. A., Ulusay, R., 2003a. A simple test and predictive models for assessing swell potential of Ankara (Turkey) Clay. *Engineering Geology*, 67: 331–352.
- Erguler, Z. A., Ulusay, R., 2003b. “Engineering characteristics and environmental impacts of the expansive Ankara Clay, and swelling maps for SW and central parts of the Ankara (Turkey) metropolitan area”, *Environmental Geology*, 44: 979–992.
- Furtun, U., 1989. An investigation on Ankara soils with regard to swelling. MSc Thesis, Department of Civil Engineering, Middle East Technical University, Ankara, Turkey.
- Grim, R.E., 1962. *Applied Clay Mineralogy*. McGraw Hill Book Co. New York, 422p.
- Holtz, W. G., Gibbs, H.J., 1956. Engineering Properties of Expansive Clays, *ASCE Transactions*, 121, 641-663.
- Mollamahmutoğlu, M. ve Taşkıran, T., 2000. Diyarbakır İli, Kayapınar – Yeniköy - Bağcılar Yöresi Kilinin şişme Potansiyelinin İrdelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği. Ankara, 52 s.
- Omay, B., 1970. Swelling clays on METU Campus. MSc Thesis, Department of Civil Engineering, Middle East Technical University, Ankara, Turkey.
- Ordemir, I., Alyanak, I., Birand, A.A., (1965), Report on Ankara Clay. METU Publication No. 12, Ankara, Turkey.
- Sridharan, A. Gurtug, Y., 2004. Swelling behaviour of compacted fine-grained soils. *Engineering Geology*, 72: 9–18.
- Tovey, N. K., 1986. Microfabric, chemical and mineralogical studies of soils: techniques, *Geotechnical Engineering*, 17 (2), 131-166.
- U.S. Department of Agriculture, Natural Resources Conservation Service, 2005.
- Uner, A.K., 1977. A comparison of engineering properties of two soil types in the Ankara region. MSc Thesis, Department of Civil Engineering, Middle East Technical University, Ankara, Turkey.
- Van der Merwe, D.H., 1964. “The prediction of heave from the plasticity index and the percentage clay fraction”, *The Civil Engineer in South Africa (South African Institution of Civil Engineer)* 6, 103–107 (Day, 2001’den).
- Xeidakis, G., Koudoumakis, P., Tsirambides, A., 2004. “Road construction on swelling soils: the case of Strymi Soils, Rhodope, Thrace, Northern Greece”, *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*, 63: 93–101.
- Wayne, AC, Osman, MA, Elfatih, M.A., 1984. Construction on expansive soils in Sudan, *Journal of Construction Engineering and Management*, ASCE, Vol. 110, No.3, pp.359-379.
- Yıldırım, H. ve Acar, C., 1994. ‘Killi Zeminlerin şişme Davranışına Ön Yüklemin Etkisi’, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü, İstanbul, 60 s.

