

KOHEZYONLU ZEMİNLERİN ŞİŞME POTANSİYELİ İÇİN BİR YAKLAŞIM: AVCILAR-ESENYURT ÖRNEĞİ

AN APPROACH TO SWELLING POTENTIAL OF COHESIVE SOILS: AVCILAR-ESENYURT EXAMPLE

Erkan BOZKURTOĞLU¹, Gökhan ŞANS^{1*}, Rahmi EYÜBOĞLU¹

¹Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Maden Fakültesi, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, Türkiye.
erkan@itu.edu.tr, sansg@itu.edu.tr, eyupoglu@itu.edu.tr

Geliş Tarihi/Received: 23.05.2014, Kabul Tarihi/Accepted: 08.08.2014
* Yazışılan yazar/Corresponding author

doi: 10.5505/pajes.2014.36025
Araştırma Makalesi/Research Article

Öz

Kohezyonlu zeminler, kil oranı ve cinsine bağlı olarak değişik derecelerde gelişen şişme özelliği sergilerler. Literatürde kohezyonlu zeminlerin şişme derecesini belirlemek için pek çok çalışma yapılmıştır. Bu çalışmalar, kil ve kolloid yüzdesi, plastisite indisi, rötre limit, aktivite, likit limit, su içeriği ve emme özellikleri ile ilgili olup bunların bir kısmı çizelgeler ile bir kısmı ise grafikler ile verilmiştir. Bu çalışmada, kohezyonlu zeminlerin şişme potansiyeli likit limit ve doğal su içeriğine bağlı olarak incelenmiştir. Literatürde önerilmiş olan grafiksel ilişki çözümlenmiş ve çözümlenmiş sonucu kohezyonlu zeminlerin doğal su içeriği ve likit limit değerlerinden hareketle olası şişme yüzdesinin tahminine yönelik genel denklem belirlenmiştir. Yapılan incelemede, literatürde önerilmiş olan grafikte gösterildiği gibi kohezyonlu zeminlerin doğal su içeriği, likit limit ve olası şişme yüzdesi arasındaki ilişkinin logaritmik olmadığı, bu ilişkinin "N" gibi değişken bir çarpana bağlı olarak üstel katsayısı $-0.187w$ olan eksponansiyel bir eşitlik olduğu anlaşılmıştır. Çalışma ile önerilen yöntem İstanbul ili Avrupa yakası Avcılar-Esenyurt arasında yüzeyleyen birimler üzerinde uygulanmıştır. Literatürde şişme potansiyeli için önerilen sınıflandırmalarda değerlendirme kriterlerine ait yorumlamalar çok değişkendir ve bu tanımlamalar birbirleri ile tutarsızdır. Oysa killerin su içeriği ile ilişkili olan şişme için önerilen bu yaklaşım ile güvenilir sayısal değerler elde edilmektedir.

Anahtar kelimeler: Kohezyonlu zemin, Doğal su içeriği, Likit limit, Olası şişme yüzdesi

Abstract

Cohesive soil exhibits various degrees of swelling potential due to their clay contents and minerals. Many studies have been conducted to determine the degree of swelling of cohesive soil in the literature. These studies are related with the percentage of clay and colloid, plasticity index, shrinkage limit, activity, liquid limit, the water content and absorption and some of them give tables and others give graphics. In this study, the swelling potential of cohesive soil depending on liquid limit and natural water content were investigated. The graphical relation in literature was solved and a general equation between the water content and liquid limit of cohesive soil was determined for predicting swelling percentage. It is understood that the relation of swelling percentage between water content and liquid limit is not logarithmic as given in the literature, but it is an exponential equation with a $-0.187w$ power constant N. The proposed methodology was applied to cohesive soil between Avcılar and Esenyurt. In literature classifications for swelling potential are variable and these definitions are inconsistent with each other. Whereas reliable numerical values for swelling are obtained by the proposed approach of swelling potential associated with clays water content.

Keywords: Cohesive soil, Natural water content, Liquid limit, Swelling percentage

1 Kohezyonlu Zeminlerde Şişme Özelliğinin Belirlenmesi

Yüksek plastisiteli killerde su içeriğinin değişimi ile bünyede hacim azalması ya da artması gerçekleşir. Şişme olarak da isimlendirilen hacim artması bazı killerde tek, bazı killerde ise hacimsel olarak gelişir ve yanal şişme basınçları düşey şişme basıncının 2 katına kadar çıkabilir. Hacim değişimi zemin bünyesindeki kil mineralinin türüne, miktarına, özgül yüzeyine, yapısına, boşlukları dolduran suyun fizikokimyasal özelliklerine, değişebilir katyon kapasitesi gibi birçok etmene bağlı olup bu etmenlerin belirlenmesi için ayrıntılı çalışmalar yapılmalıdır. Literatürde kohezyonlu zeminlerin şişmesi; serbest şişme (FS), ayırt edici serbest şişme (DFS), modifiye serbest şişme indeksi (MFSI) olarak tanımlanmış ve zeminin şişme potansiyeli, zeminin 6.9 kN/m^2 basınç altında sıfır yanal deformasyon durumunda doygun hale gelinceye kadar oluşacak düşey şişme miktarının örneğin ilk boyuna oranının yüzdesi olarak belirlenmiştir.

Serbest şişme (FS); Holtz ve Gibbs (1956) tarafından;

$$FS = \frac{V - V_0}{V_0} \times 100 \quad (1)$$

eşitliği ile tanımlanmıştır [1]. Eşitlikte; V_0 : kuru zemin hacmi (10 cm^3), V : Şişme sonrası zemin hacmi'dir. Bu ilişkide 0.425 mm (40 no.lu elek) dane çapından küçük 10 cm^3 kuru zemin örnek, içi saf su dolu 100 cm^3 lük dereceli kabın içine konur. Şişmenin sonlanması bitene kadar beklenip şişme sonrası zemin hacmi ölçülerek FS (1) no.lu eşitlik ile hesaplanır.

Dawson (1956) ve Chen (1975), 10 cm^3 lük hacimde şişme ölçümünün hassas olamayacağını, Sridharan ve diğ. (1985) su hacminin hava hacminden az olması nedeniyle kaolinitik killerde negatif şişme gözlemlendiğini belirterek FS'nin Atterberg limitleri kadar güvenilir olmayacağını vurgulamıştır [2]-[4]. Ayırt edici serbest şişme (DFS), Hindistan standardı IS 2720-Part (XL) ile,

$$DFS = \frac{V_d - V_s}{V_s} \times 100 \quad (2)$$

eşitliği ile tanımlanmıştır [5]. Eşitlikte; V_d : Saf suda bekletilmiş şişme sonrası zemin hacmi (10 g), V_s : Kerosen veya CCl_4 çözeltisinde bekletilmiş şişme sonrası zemin hacmidir. Bu ilişkide 0.425 mm tane çapından küçük 2 adet 10 gr ağırlığındaki kuru zemin örneğinin biri içi saf su dolu 100 cm^3 lük dereceli kabın, diğeri ise içi kerosen veya CCl_4 çözeltisi ile dolu 100 cm^3 lük dereceli kabın içine konularak şişmenin sonlanması bitene kadar beklenip şişme sonrası zemin hacimleri ölçülerek DFS (2) no.lu eşitlik ile hesaplanır.

Sridharan ve diğ. (1985), bu ilişkinin kaolinitin polar çözeltiye göre polar olmayan çözeltide sergilediği hacimce fazla şişme davranışı nedeniyle negatif şişme ile sonuçlandığını belirtmiştir [4]. Polar olmayan çözeltilerin kil mineralleri ile kompleks olması ve hacim değişiminin sabit olmaması (MacEwan, 1948; Mackenzie, 1948; Green ve diğ. 1980) nedeniyle Sivapullaiah ve diğ. (1987) tarafından modifiye serbest şişme indeksi ($MFSI$) aşağıda verilen

$$MFSI = \frac{V - V_s}{V_s} \times 100 \quad (3)$$

eşitliği ile tanımlanmıştır [6-9]. Eşitlikte; V : şişme sonrası zemin hacmi (10 g), V_s : zeminin katı kısmının hacmidir [$V_s = W_s / (G_s \cdot \gamma_s)$]; W_s : zeminin katı kısmının ağırlığı, G_s : Özgül ağırlık, γ_s : Suyun birim hacim ağırlığı]. Bu yöntem, 10 g örnek ile uygulanır. Örnek, saf su dolu 100 cm^3 lük dereceli kabın içine konulur. Gerekli durumlarda saf su yerine çözücü (solvent) kullanılabilir. Zemin, bentonit vb aşırı şişen kil içerirse uygulama 3 veya 5 g örnek ile yapılabilir.

Kohezyonlu zeminlerin şişme potansiyeli Seed ve diğ. (1962) tarafından standart proktor yöntemi ile sıkıştırılan örnekler üzerinde ölçülmüş ve

$$S = (3.6 \times 10^{-5}) A^{2.44} C^{3.44} \quad (4)$$

eşitliği önerilmiştir [12]. Eşitlikte; S : Şişme potansiyeli, A : Aktivite, C : Ağırlıkça kil yüzdesidir. Aynı araştırmacılar kil içeriği yaklaşık olarak %8 ile %65 arasında değişen zeminler için %33 hata ile şişme potansiyeli ve plastisite indisi arasında;

$$S = K \times 60 \times I_p^{2.44} \quad (5)$$

bağıntısını önermişlerdir. Eşitlikte K : Zeminin hidrolik geçirgenliği, I_p : Plastisite indisi değeridir. Yukarıda verilen eşitlikler (eşitlik 1-5) laboratuvar ortamında yapılacak ilgili deneylerle elde edilen verilerin kullanılmasını gerektirir. Literatürde kohezyonlu zeminlerin kıvam limitleri ve içerdiği kolloid miktarının şişme potansiyeli ilişkisine dayalı çeşitli araştırmacılarca yapılan ve çizelgeler ile sunulmuş olan farklı sınıflamalarda vardır. Bunlar, Tablo 1’de bir arada verilmiştir.

Kohezyonlu zeminlerin şişme potansiyeli ASTM D4829-11 (2011) standardında tariflendiği gibi şişme indeksi deney aleti (Şekil 1) kullanılarak da belirlenebilir [14].

Bu standartlara uygun olarak yapılan deneyler sonucu belirlenen şişme indeksi değeri Tablo 2’de verilen aralıklarla değerlendirilir.

Şişen killer ile ilgili ACPA [1] tarafından önerilen değerlendirme Tablo 3’te verilmiştir.

Tablo 1: Zeminlerin şişme potansiyeli sınıflandırmaları.

| Holtz ve Gibbs, 1956 [1]. | | | | |
|----------------------------------|-------------------|-------------|---------------|----------------|
| Kolloid Yüzdesi | Plastisite İndisi | Rötre Limit | Şişme Yüzdesi | Şişme Derecesi |
| >28 | >35 | <11 | >30 | Çok Yüksek |

Tablo 1: Zeminlerin şişme potansiyeli sınıflandırmaları (devamı).

| Holtz ve Gibbs, 1956 [1]. | | | | |
|--|-------------------|----------------------|----------------|-------------------|
| Kolloid Yüzdesi | Plastisite İndisi | Rötre Limit | Şişme Yüzdesi | Şişme Derecesi |
| 20-31 | 25-41 | 7-12 | 20-30 | Yüksek |
| 13-23 | 15-28 | 10-16 | 10-20 | Orta |
| <15 | <18 | >15 | <10 | Düşük |
| Coduto, 2000 [10]. | | | | |
| Kolloid Yüzdesi | Plastisite İndisi | Rötre Limit | Likit Limit | Şişme Potansiyeli |
| <15 | <18 | <15 | <39 | Düşük |
| 13-23 | 15-28 | 10-16 | 39-50 | Orta |
| 20-31 | 25-41 | 7-12 | 50-63 | Yüksek |
| >28 | >35 | >11 | >63 | Çok Yüksek |
| Altmeyer, 1955 [25]. | | | | |
| Lineer Rötre | Rötre Limit | Şişme Yüzdesi | Şişme Derecesi | |
| <5 | >12 | <0.5 | Kritik değil | |
| 5-8 | 10-12 | 0.5-1.5 | Sınır | |
| >.8 | <10 | >1.5 | Kritik | |
| Chen, 1988 [13]. | | | | |
| Plastisite İndisi | Şişme Yüzdesi | Plastisite İndisi | Şişme Derecesi | |
| >35 | >10 | $PI \geq 35$ | Çok Yüksek | |
| 20-55 | 3-10 | $20 \leq PI \leq 55$ | Yüksek | |
| 10-35 | 1-5 | $10 \leq PI \leq 35$ | Orta | |
| <15 | <1 | $PI \leq 15$ | Düşük | |
| Sivapullaiah-Sitharam-Rao, 1987 [9]. | | | | |
| Likit Limit | MFSI | Şişme Potansiyeli | | |
| <200 | <2.5 | Önemsiz | | |
| 200-400 | 2.5-10 | Orta | | |
| 400-550 | 10-20 | Yüksek | | |
| >550 | >20 | Çok Yüksek | | |
| Building Research Establishment, 1981 [11]. | | | | |
| Plastisite İndisi | Şişme Potansiyeli | | | |
| >35 | Çok Yüksek | | | |
| 22-48 | Yüksek | | | |
| 12-32 | Orta | | | |
| <18 | Düşük | | | |

Tablo 2: Zeminlerin şişme indeksi sınıflandırması [14].

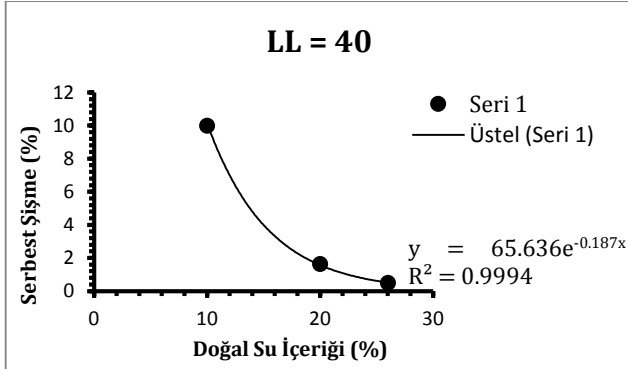
| Şişme İndeksi, EI | Şişme Potansiyeli |
|-------------------|-------------------|
| 0-20 | Çok Düşük |
| 21-50 | Düşük |
| 51-90 | Orta |
| 91-130 | Yüksek |
| > 130 | Çok Yüksek |

Tablo 3: Zeminlerin şişme derecesi sınıflandırması [15].

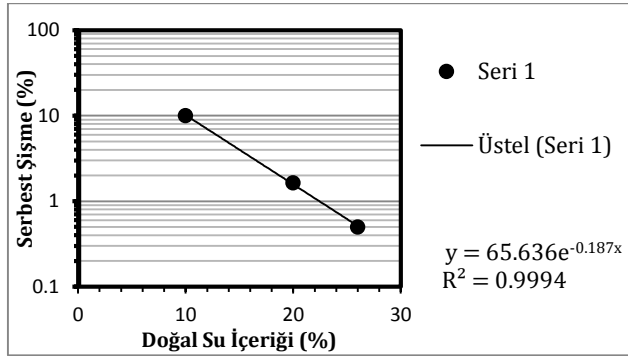
| İndeks Deneylerden Elde Edilen Veri | | | | |
|--|---|--|--------------------------------|----------------|
| Kolloid İçeriği (ASTM D422 ile belirlenir) | Plastisite İndisi (ASTM D4318 ile belirlenir) | Rötre Limit (ASTM D427 ile belirlenir) | Toplam Hacimdeki Şişme Yüzdesi | Şişme Derecesi |
| > 28 | > 35 | > 11 | > 30 | Çok Yüksek |
| 20-31 | 24-41 | 7-12 | 20-30 | Yüksek |
| 13-23 | 15-28 | 10-16 | 10-20 | Orta |
| < 15 | < 8 | < 15 | < 10 | Düşük |

Yukarıda verilen çizelgeler kullanılarak kohezyonlu zeminlerin şişme potansiyeli, şişme yüzdesi ve derecesi hakkında genel bir değerlendirme yapılabilir. Kohezyonlu zeminlerin kil içeriği-aktivite, kil içeriği-plastisite indisi, likit limit-plastisite indisi ve

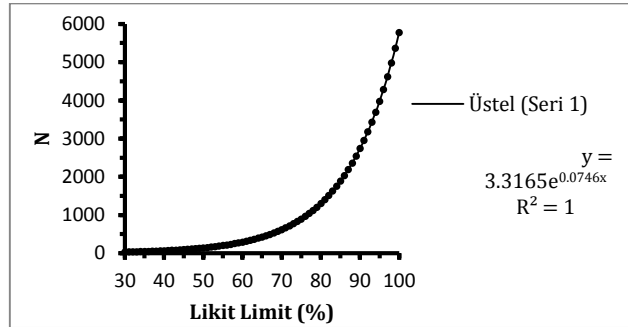
eşitlik ile belirlenen doğal su içeriği (w)-serbest şişme yüzdesi ($SŞY$) arasında (7) no.lu eşitlik ile genel denklemi verilen eşitliklerin N değerleri için likit limit ve N değeri arasında tanımlı ilişki Şekil 7’de gösterilmiştir.



Şekil 5: Likit limit %40 değeri için doğal su içeriği ve şişme potansiyeli arasındaki ilişki.



Şekil 6: Likit limit %40 değeri için doğal su içeriği ve şişme potansiyeli arasındaki yarı logaritmik ilişki.



Şekil 7: Likit limit değerleri için doğal su içeriği ve şişme potansiyeli arasındaki ilişkiye bağlı N değerleri ilişkisi.

Kohezyonlu zeminlerin likit limit değerlerine bağlı olarak doğal su içeriği (w)-serbest şişme yüzdesi ($SŞY$) arasında (7) no.lu eşitlik ile önerilen genel denklemde N katsayısını belirleyen eşitlik;

$$N = 3.3165 \times e^{0.0746LL} \quad (8)$$

olacaktır. Eşitlikte LL : likit limit değeridir. Bu durumda, herhangi bir $P_i(x_i, y_i)$ koordinatında kohezyonlu zeminlerin şişme potansiyelinin % değer olarak hızlı ve güvenilir bir şekilde tanımlanması için kohezyonlu zeminden son derece hassas şekilde iyi korunmuş olarak alınan örneğin laboratuvarında doğal su içeriği ve likit limit değerinin belirlenmesi yeterli olacaktır. Zemin örneğinin likit limit değeri

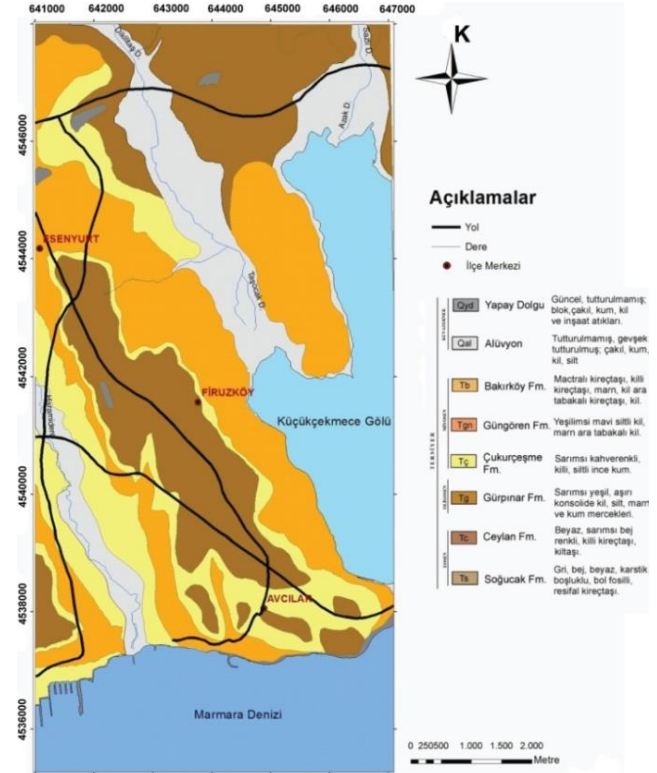
belirlendikten sonra (8) no.lu eşitlik ile N değeri hesaplanmalı ve (7) no.lu eşitlikte kullanılmalıdır. Önerilen bu yaklaşım İstanbul, Avcılar-Esenyurt arasında yüzeylemiş birimlerde 40 no.lu elek çapından geçen ince danelere uygulanmıştır.

3 Avcılar-Esenyurt Arasının Jeolojisi

Çalışma alanı, İstanbul’un batı yakasında Küçükçekmece gölünün batısındadır. Bölgenin temelini doğuda Paleozoik yaşlı kayalar, kuzeyde Eosen yaşlı Çatalca grubu (özellikle resifal kireçtaşlarından oluşan Soğucak formasyonu) kayaları oluşturur [21].

Temel kayaları Orta Üst Oligosen-Alt Miyosen yaşlı Danişment formasyonunun Gürpınar üyesi ile örtülür [22]. Bu birim üzerinde Çukurçeşme formasyonu uyumsuz olarak yer alır. Birim, Çekmece formasyonunun Güngören üyesi ile uyumlu olarak örtülüp üzerine geçişli olarak Çekmece formasyonunun Bakırköy üyesi gelir. Bakırköy kireçtaşları olarak da bilinen bu kayalar güncel birimler tarafından uyumsuz olarak üstlenir [23].

Gürpınar üyesi başlıca gevşek tutturulmuş kumtaşı ve silttaşı arakatlı kiltası-şeyl türü ince kırıntılılardan oluşur. Yer yer ince linyit ve tuf-tüfit ara düzeylerini kapsar. Gürpınar üyesi üzerinde diskordans ile yer alan Çukurçeşme formasyonu gri, grimsi beyaz, kirlili beyaz, omurgalı fosilli kum ve çakıllardan oluşmakta ise de bünyesinde silt ve kil boyutlu malzeme de bulunmaktadır. Çukurçeşme formasyonu üzerinde kum ve silt arakatlı killerden oluşan ve üst seviyelerinde yer yer makrofosil kavkılı ince kireçtaşı katmanları da olan Güngören üyesi bulunur. Güngören üyesi marn ve kil ara seviyeli kireçtaşından oluşan Bakırköy üyesince üzerlenir. Neojen birimler ve güncel dolgular bu istifi uyumsuz olarak örter [24]. Şekil 8 ile sunulan jeoloji haritası saha çalışmaları ve gözlemlerinden faydalanılarak hazırlanmıştır.



Şekil 8: Avcılar-Esenyurt arasındaki coğrafi konumu ve istiflerin yayılımını gösteren jeoloji haritası.

3.1 Avcılar-Esenyurt Arasındaki Birimlerin Şişme Potansiyeli

Yukarıda verilen eşitliklerle İstanbul, Avcılar-Esenyurt arasında yüzeylenen ve dane çapı 40 no.lu elek (0.425 mm)'ten küçük olan kısımları içeren litolojik birimler için hesaplanmıştır. İnce danelere ait şişme potansiyeli değerleri Tablo 4'te verilmiştir.

Avcılar-Esenyurt arasındaki litolojik birimlerin olası şişme yüzdesinin önerilen yöntem ile belirlenmiş serbest şişme yüzdesi (SSY) değerlerinin (Tablo 4) literatürde verilmiş olan tanımlamaları Tablo 5'te sunulmuştur.

Tablo 4: Avcılar-Esenyurt arasında yüzeylenen birimlerin şişme değerleri.

| Litoloji | Sivapulliah-Sitharam-Rao (1987) [9] | Holtz ve Gibbs (1956) [1] | Altmeyer (1955) [25] | Chen (1988) [13] |
|---------------------|-------------------------------------|---------------------------|----------------------|------------------|
| Güngören silt | Önemsiz | Düşük | Kritik | Orta |
| Çukurçeşme silt | Önemsiz | Düşük | Kritik | Orta-Yüksek (!) |
| Gürpınar silt | Önemsiz | Düşük | Sınır | Orta |
| Bakırköy siltli kil | Önemsiz | Düşük | Sınır | Orta |
| Güngören siltli kil | Önemsiz | Düşük | Kritik | Orta-Yüksek (!) |
| Gürpınar siltli kil | Önemsiz | Düşük | Sınır | Düşük |
| Bakırköy kil | Önemsiz | Düşük | Kritik | Orta |
| Güngören kil | Önemsiz | Düşük | Kritik | Orta |
| Çukurçeşme kil | Önemsiz | Düşük | Sınır | Orta |
| Gürpınar kil | Önemsiz | Düşük | Kritik | Orta |
| Güngören kumlu silt | Önemsiz | Düşük | Kritik Değil | Düşük |
| Gürpınar tüftüfit | Önemsiz | Düşük | Kritik | Yüksek |

Tablo 5: Avcılar-Esenyurt arasında yüzeylenen birimlerin şişme değerlerinin tanımı.

| Litoloji | w (%) | LL (%) | N | SSY (%) |
|---------------------|-------|--------|----------|---------|
| Güngören silt | 25 | 53.5 | 179.470 | 1.674 |
| Çukurçeşme silt | 28.5 | 73.9 | 822.090 | 3.984 |
| Gürpınar silt | 28.2 | 55.6 | 209.908 | 1.076 |
| Bakırköy siltli kil | 18.3 | 33.5 | 40.367 | 1.318 |
| Güngören siltli kil | 30.4 | 75.8 | 947.276 | 3.218 |
| Gürpınar siltli kil | 26 | 44.3 | 90.350 | 0.699 |
| Bakırköy kil | 21.6 | 46.5 | 106.464 | 1.875 |
| Güngören kil | 30.5 | 67 | 491.327 | 1.638 |
| Çukurçeşme kil | 23 | 47 | 110.510 | 1.498 |
| Gürpınar kil | 26.6 | 59.6 | 282.893 | 1.956 |
| Güngören kumlu silt | 49.6 | 69 | 570.384 | 0.053 |
| Gürpınar tüftüfit | 29.2 | 80.1 | 1305.537 | 5.551 |

4 Bulgular ve Tartışma

Literatürde kohezyonlu zeminlerin şişme potansiyeli ile ilgili yapılmış çalışmalar bulunmaktadır. Bu çalışmalar, zeminlerin farklı özelliklerinden yararlanarak şişme potansiyeli hakkında doğru ve güvenilir yaklaşımlar yapmayı hedeflemektedir. Çizelgeler veya grafikler ile verilmiş olan mevcut çalışmalarla ortam analizi yapılabilmekte ancak önerilen yöntemlerde değer aralıkları iç içe verildiği için bazen yorumlamada sıkıntı olabilmektedir. Herhangi bir $P_i(x_i, y_i)$ koordinatında kohezyonlu zeminlerin şişme potansiyelinin olası % değeri ise Vijayvergiya ve Ghazzaly (1973) tarafından önerilen ve zeminin doğal su içeriği ile likit limit değerine bağlı olarak tanımlanan grafiksel bir ilişkiden yararlanarak belirlenebilmektedir [20]. Bu grafik ile litolojik birimlerde beklenecek hacmen olası şişme değeri, w-LL ilişkisine bağlı olarak elle belirleneceğinden kesin değer olmayıp yaklaşık bir değer olacaktır. Oysa önerilen yaklaşım ile belirlenecek değerler tek olup zeminin olası şişme yüzdesi için güvenilir bir değerlendirme ölçütü olacaktır. Elde edilecek değerlerin literatürde önerilen sınıflamalar arasından Altmeyer (1955) sınıflaması ile değerlendirilmesi tarafımızca uygun görülmüştür [25].

5 Sonuç ve Öneriler

Mühendislik jeolojisi uygulamalarında ortam özelliklerinin bilinmesi uygulama projelerinin güvenliği, sorunsuz ve uzun ömürlü olması için gereklidir. İnce danelerin su ile reaksiyonu sonucu oluşacak şişmeler, mühendislik projelerinin önemli bir boyutlandırma parametresidir. Bu amaçla yapılan pek çok araştırma ve deney sonuçları literatürde verilen çeşitli çizelge, grafik ve formüsel ilişkiler ile değerlendirilip sözel ve sayısal yorumlara gidilir. Ayrık kırıntılı kayaçlardan kohezyonlu zeminlerin şişme potansiyeli için deney düzeneği uygulamada sorunlu olabilmektedir. Serbest şişme yüzdesi değerinin, zemin mekaniği laboratuvarlarında kolayca yapılan likit limit ve su içeriği deneyine dayalı formüsel bir ilişki ile herhangi bir $P_i(x_i, y_i)$ koordinatında güvenilir şekilde belirlenmesi, bu değere dayalı çeşitli ön hesaplamaların güvenilir yapılabilmesi açısından da önemlidir. Herhangi bir $P_i(x_i, y_i)$ koordinatında önerilen yöntem ile hesaplanan olası serbest şişme yüzdesi değerleri ayrık kırıntılı kayaçların yaygın olduğu ortamların temel olabilmeye açısından değerlendirilmesinde ve yamaç-şev duraysızlıklarının irdelenmesinde güvenle kullanılabilir.

Bu çalışma ile olası şişme potansiyeli değerleri, Çekmece formasyonu Güngören üyesinin kumlu siltleri dışında Küçükçekmece gölüne bakan yamaçlarda ve Marmara denizi kıyılarında yüzeylemiş ayrık kırıntılı kayaçların bulunduğu alanların şişme açısından sınır ve kritik değerde olduğunu göstermiştir. Önerilen yöntem, herhangi bir sahada olası şişme yüzdesi için değerlerin belirlenmesi, aktif ve pasif kütle hareketlerinin irdelenmesi ve etkisiz hale getirilmesi amaçlı ön değerlendirme ve karar mekanizmaları için yararlı olacaktır.

6 Kaynaklar

- [1] Holtz WG, Gibbs HJ. "Engineering Properties of Expansive Clays". *Transactions of the American Society of Civil Engineers*, 121(1), 641-663, 1956.
- [2] Dawson RF. "Discussion on 'Engineering Properties of Expansive Clays' by Holtz and Gibbs". *Transactions of the American Society of Civil Engineers*, 121(1), 664-677, 1956.
- [3] Chen FH. *Foundations on Expansive Soils*. Amsterdam, the Netherlands, Elsevier Scientific Publishing Company, 1975.

- [4] Sridharan A, Sudhakar MR, Murthy NS. "Free Swell Index of Soils: A Need for Redefinition". *Indian Geotechnical Journal*, 15(2), 94-99, 1985.
- [5] Bureau of Indian Standards (BIS). "Methods of Test for Soils. Part XL, Determination of Free Swell Index of Soils (3rd ed. August 1997)". Civil Engineering, Soil and Foundation Engineering (CED 43), New Delhi, India, IS 2720, 1977.
- [6] MacEwan DMC. "Complex Formation between Montmorillonite and Halloysite and Certain Organic Compounds". *Transactions of the Faraday Society*, 44, 349-367, 1948.
- [7] Mackenzie RC. "Complexes of Clays with Organic Compounds". *Transactions of the Faraday Society*. 44, 368-375, 1948.
- [8] Green WJ, Lee GF, Jones RA. "Impact of Organic Solvents on the Integrity of Clay Liners for Industrial Waste Disposal Pits: Implication for Groundwater Contamination". Report to US. EPA Robert S. Kerr Environmental Laboratory, Ada, Oklahoma, USA, 1980.
- [9] Sivapullaiah PV, Sitharam TG, Rao KSS. "Modified Free Swell Index for Clays". *Geotechnical Testing Journal*, 10(2), 80-85, 1987.
- [10] Coduto DP. *Foundation Design Principles and Practice*. 2nd ed. New Jersey, USA, Prentice-Hall Inc., 2000.
- [11] Building Research Establishment. "Assessment of Damage in Low-Rise Buildings, with Particular Reference to Progressive Foundation Movement". Digest 251, Building Research Establishment, Her Majesty's Stationery Office, London, UK, 1981.
- [12] Seed HB, Woodward RJ, Lundren R. "Prediction of Swelling Potential for Compacted Clays". *Journal of Soil Mechanics and Foundation Division, ASCE*, 88(4), 207-209 1962.
- [13] Chen FH. *Foundations on Expansive Soils*. Amsterdam, the Netherlands, Elsevier Scientific Publishing Company, 1988.
- [14] Annual Book of ASTM Standards. "Standard Test Method for Expansion Index of Soils". ASTM D4829-11, 04.08, 1-5, 2011.
- [15] ACPA. "Expansive Soils. Concrete Pavement Technology Series". Skokie, US, TS204.2P, 2008.
- [16] ASTM International. "Standard Test Method for Particle-Size Analysis of Soils". ASTM International, US, ASTM D422, 2007.
- [17] ASTM International. "Standard Test Methods for Liquid Limit, Plastic Limit, and Plasticity Index of Soils". ASTM International, US, ASTM D4318, 2010.
- [18] Das MB. *Principles of Foundation Engineering*. 4th ed. USA, PWS Pub., 1999.
- [19] Basma AA. "Prediction of Expansion Degree for Natural Compacted Clays". *Geotechnical Testing Journal*, 16(4), 542-549, 1993.
- [20] Vijayvergiya VN, Ghazzaly OI. "Prediction of Swelling Potential of Natural Clays." *Proceedings of the 3rd International Research and Engineering Conference on Expansive Clays*, Haifa, Israel, 30 July - 1 August 1973.
- [21] Keskin C. "Kuzey Ergene Havzasının Stratigrafisi". *Türkiye 2. Petrol Kongresi Tebliğleri*, Ankara, Türkiye, 1974.
- [22] Sayar C. "İstanbul Yeni İskan Yörelere Geoteknik ve Sismik Etüdü, Cilt I, Büyükçekmece-Küçükçekmece Gölleri Arası Yöre". Boğaziçi Üniversitesi, İstanbul, Türkiye, B.Ü. Deprem Mühendisliği Araştırma Enstitüsü Raporu (yayımlanmamış), 1977.
- [23] Arıç C. Haliç-Küçükçekmece Gölü Bölgesi'nin Jeolojisi. Doktora Tezi (yayımlanmamış), İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, Türkiye, 1955.
- [24] Tezcan SS, Durgunoğlu HT. "İstanbul Yeni İskan Yörelere Geoteknik ve Sismik Etüdü". Deprem Mühendisliği Araştırma Enstitüsü, Boğaziçi Üniversitesi, İstanbul, Türkiye, 78-14T, 1977.
- [25] Altmeyer WT. "Discussion of Engineering Properties of Expansive Clays". *Journal of the Soil Mechanics and Foundation Division, American Society of Testing and Materials*, 81(2), 17-19, 1955.