



Araştırma Makalesi / Research Article

Güdül (Ankara) Yöresi Zeminlerinin Şişme Özelliklerinin Değerlendirilmesi Evaluation of Swelling Properties of Soils in Güdül (Ankara) Area

Rıza SOYPAK¹ , Ali KAYABAŞI² 

¹ Ankara Büyükşehir Belediyesi, İmar ve Şehircilik Dairesi Başkanlığı, 06430 Ankara

² Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, 26480 Eskişehir

Geliş (Received): 02 Kasım (November) 2019 / Düzeltme (Revised): 22 Haziran (June) 2019 / Kabul (Accepted): 20 Temmuz (July) 2020

ÖZ

Bu çalışmada, Ankara'nın ilçesi Güdül'deki 1 ile 3 katlı binalarda oluşan çatlaklar ve sıva dökülmelerinin nedenini belirlemek için Güdül ve çevresinde yüzeyleyen ince taneli zeminlerin şişme özellikleri çalışılmıştır. Derinlikleri 5 m ile 15 m arasında değişen 19 adet sondaj kuyusu açılmıştır. SK-1, SK-5, SK-9 ve SK-16 kuyuları dışında yeraltısuyuna rastlanılmamıştır. Sondajlardan 21 adet SPT örneği ile 30 adet bozulmamış zemin örneği alınmıştır. Bu örnekler üzerinde sınıflama, indeks deneyleri, şişme yüzdesi ve şişme basıncı deneyleri yapılmıştır. SPT deneylerinde N_{60} değerleri 12 ile 49 arasında değişirken, ortalama darbe sayısı 25 olarak belirlenmiştir. Plastisite abasında zemin örneklerinin %59'u düşük plastisiteli kil (CL)-düşük plastisiteli silt (ML) veya düşük plastisiteli organik malzeme (OL), %41'i ise yüksek plastisiteli kil (CH)-yüksek plastisiteli organik malzeme (OH) veya yüksek plastisiteli silt (MH) olarak belirlenmiştir. Ortalama şişme basıncı 45.83 kPa ve en yüksek şişme basıncı 111.29 kPa'dır. Elde edilen deneysel verilere göre Güdül ve çevresi içinde kil zeminlerin aktivite, şişme potansiyeli, şişme basıncı haritaları hazırlanmıştır. Emirler Mahallesi civarında aktivite 0.5 civarında iken yaklaşık 5 km kuzeydeki Yeni Mahalle civarında 1.4 değerindedir. Aynı şekilde şişme potansiyeli ve şişme basıncı değerleri sırasıyla Emirler Mahallesi civarında % 1.5 ve 25 kPa, iken Yeni Mahalle civarında % 6 ve 65 kPa'dır. 17 nolu sondaj kuyusunun bulunduğu lokasyon haricinde şişme yüzdesi ve şişme basıncı değerlerinde güneyden kuzey yönüne doğru belirgin bir artış izlenmektedir. Temel zeminlerinin su ile teması durumunda oluşacak şişme basıncı, 1-3 katlı yapılar için risk oluşturabilecektir.

Anahtar kelimeler: Güdül, Şişme yüzdesi, Şişme Basıncı, Çatlak, Sıva dökülmesi

ABSTRACT

In this study, swelling properties of fine grained soils that surfacing around Güdül and its environments were studied in order to determine causes of cracks and plaster spills on 1 and 3 storey buildings in Güdül district of Ankara. 19 boreholes with a depth of 5 m to 15 m were drilled. Groundwater was not observed except BH-4, BH-9 and BH-16. 21 standard penetration test samples and 30 undisturbed soil samples were taken from these boreholes. Swelling pressure tests, swelling percent tests, soil classification and index tests were carried out with these samples. The SPT N_{60} blow counts from which samples were taken are ranging between 12 and 49 and the mean average N_{60} values are determined as 25 blow counts. %59 of the soil samples are determined as low plastic clay (CL) low plastic silt (ML) or low plastic organic material (OL). %41 of the soil samples are determined as high plastic clay (CH)- High plastic organic material (OH) or high plastic silt (MH). The mean swelling pressure is 45.83 kPa and the highest swelling pressure is 111.29 kPa determined from the swelling pressure tests. Activity, swelling potential, swelling pressure maps of Güdül and its surrounding were prepared. While the activity of soil is 0.5 around the Emirler district, the activity of the soils is 1.4 around Yeni district which locates 5 km north of Emirler district. Likewise, the swelling potential and swelling pressure values are 1.5% and 25 kPa around Emirler district, while

6% and 65 kPa around Yeni district. Except for the location of BH-17, there is a significant increase in swelling percentage and swelling pressure values from south to north direction. If the foundation soils interact with water, swelling pressure may cause risk for 1-3 storey buildings.

Keywords: *Güdül, Swelling percent, Swelling pressure, Cracks, Plaster spills*

GİRİŞ

İnce taneli zeminlerin su ile teması sonrasında hacimlerinin artması yapılar için sorun oluşturmaktadır. Zemin kabarması ve zemin oturması sorunları dünyada kurak ve yarı kurak bölgelerde izlenmektedir (Chen, 1975). Yapı temellerinin yer aldığı zeminlerin oluşturabileceği şişme basıncı (SP) yapının temel zeminine aktardığı basıncı aşarsa, yapıda sorunlar ortaya çıkmaktadır. Bu nedenle yapı temelinin yer alacağı zemin birimlerinin şişme parametrelerinin bilinmesi ve buna göre yapı tasarımının yapılması önemlidir. Dünyada olduğu gibi ülkemizde de şişen zeminlerden kaynaklı sorunlar oluşmaktadır. Ankara ve çevresinde yüzeyleyen killi birimlerin şişme potansiyeli nedeniyle yapılarda sorun oluşturabilmektedir. Ankara ili, Güdül ilçesi yerleşim alanındaki binalarda izlenen çatlak oluşumları, bu çalışmanın yapılmasının en önemli nedeni olmuştur (Şekil 1).

Killerin şişme potansiyeli ve şişme basıncının araştırılması konusunda literatürde pek çok makaleye rastlanılmaktadır (Chen, 1988; Abduljawad, 1993; Abduljawad ve Al-Suleiman, 1997; Li ve Du, 1997; Bonner ve Shakoor, 1998; Al-Rawas, 1999; Du vd., 1999; Basma vd., 1995; Ergüler ve Ulusay, 2003; Pusch ve Yong, 2006; Yılmaz, 2006; Murray, 2007; Toksöz ve Yılmaz, 2019; Türköz, 2019). White (1949)'da yüksek likit limit ve plastisitenin, yüksek şişen zemin anlamına geldiğini ifade etmiştir. Plastisite indeksi (PI), katyon değişim kapasitesi (CEC), su içeriği (w), kil içeriği miktarı, şişme basıncı ve şişme yüzdesini belirleyen faktörlerdir (Gill ve Reaves, 1957; Parker vd., 1977; El-Sohby ve El-Sayed, 1981).

Zeminlerin şişme özellikleri değişik yöntemlerle belirlenebilir. Örneğin likit limit (LL) (Chen, 1975; O'Neil ve Poormaayed, 1980), plastisite indeksi (PI) (Chen, 1975; Holtz ve Gibbs, 1956), Büzülme limiti (SL) (Holtz ve Gibbs, 1956; Seed vd., 1962) değerlerinden yola çıkarak zeminlerin şişme potansiyeli bulunabilir. Van Der Merwe (1964) de kil miktarı ve PI kullanarak hazırladığı bir grafik ile killerin şişme potansiyelinin düşük, orta, yüksek ve çok yüksek olarak sınıflandırmıştır.

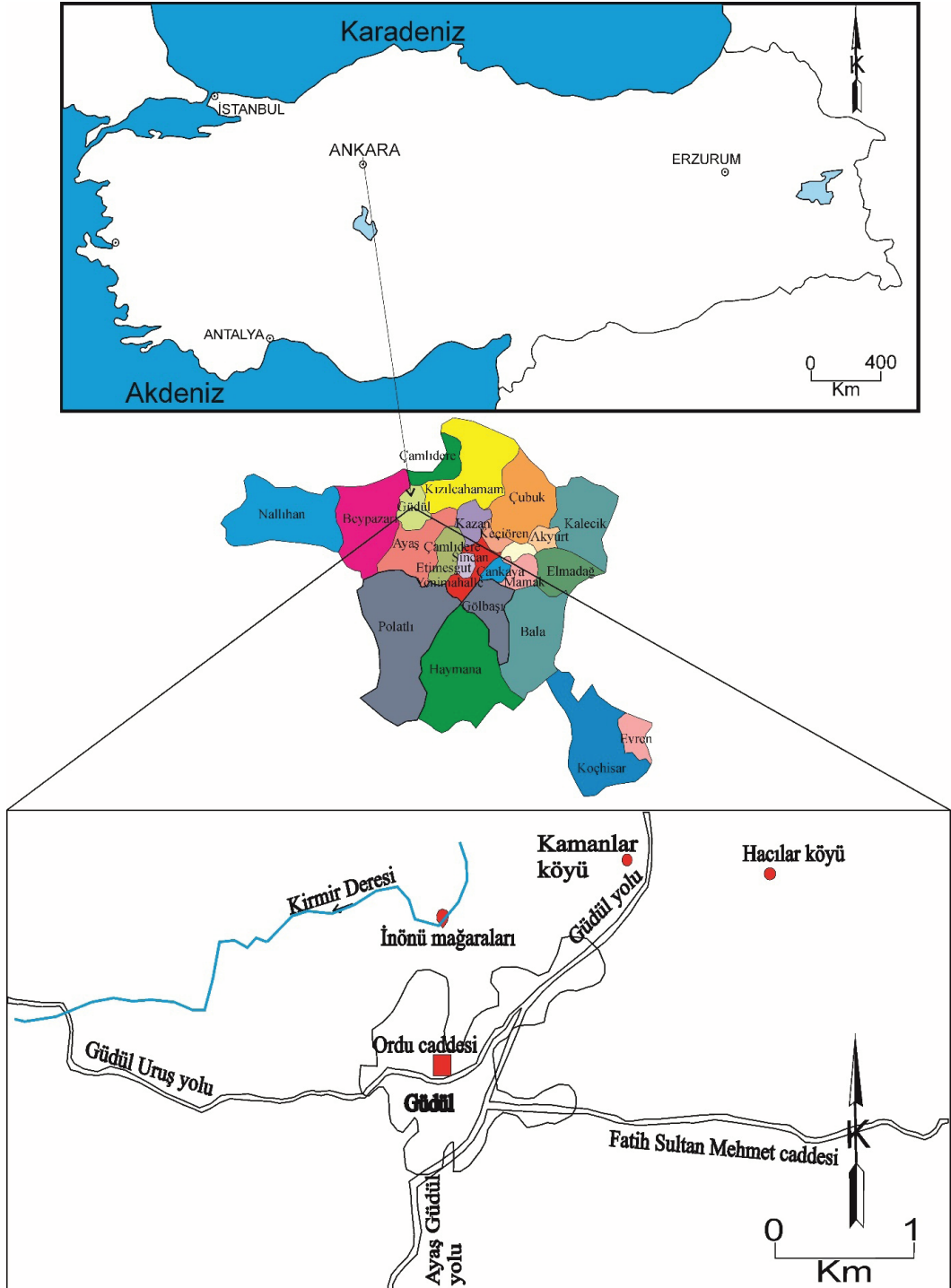
Ankara ve çevresinde yüzeyleyen killerin şişme potansiyeli (%S) pek çok araştırmacı tarafından çalışılmıştır (Birand, 1963; Ordemir vd., 1965; Doruk, 1968; Omay, 1970; Uner, 1977; Kiper, 1983; Kılıç ve Demirtaş, 1989; Furtun, 1989; Kılıç, 1990; Çokca, 1991; Kasapoğlu, 2000; Ergüler ve Ulusay, 2003; Kılıç vd., 2006; Ulaş ve Kılıç, 2012; Kılıç vd., 2015). Bu çalışmaların sonuçlarına göre mineralojik yapısı nedeniyle Ankara ve çevresindeki bazı killerin orta-yüksek şişme potansiyeline sahip olduğu belirlenmiştir.

Bu çalışmada Ankara ili, Güdül ilçesi yerleşim yerlerini oluşturan zemin birimlerinin jeoteknik özellikleri araştırılmıştır (Şekil 2). Bu amaçla derinlikleri 5 m ile 15 m arasında değişen 19 adet sondaj kuyusu açılmıştır. Sondajlardan alınan örselenmiş ve örselenmemiş zemin numuneleri üzerinde indeks özelliklerini ve şişme potansiyelini belirlemek için laboratuvar deneyleri gerçekleştirilmiştir. Belirlenen deney sonuçları, literatürde yaygın olarak karşılaşılan şişme potansiyelinin tespitine yönelik olarak geliştirilmiş olan abak ve eşitlikler yardımıyla değerlendirilmiş ve yerleşim alanındaki zeminlerin şişme potansiyeli incelenmiştir.



Şekil 1. Güdül yerleşim alanındaki binalarda izlenen çatlak oluşumları.
Figure 1. Crack formations observed on buildings in Güdül settlement area.

Soypak, Kayabaşı



Şekil 2. Güdül yerleşim yeri haritası.

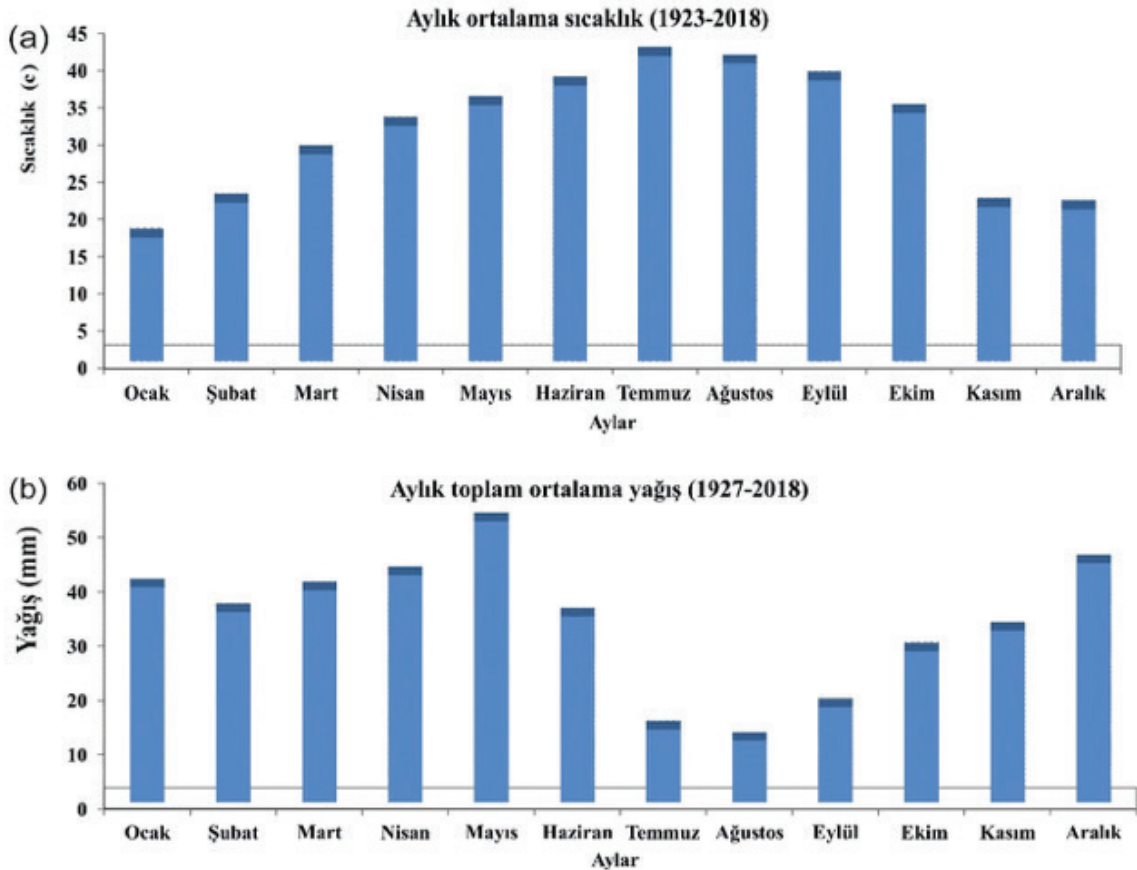
Figure 2. Location map of Güdül settlement area.

ÇALIŞMA ALANI ÖZELLİKLERİ

Güdül, Ankara'nın 93 km kuzey batısında yer alan bir ilçedir. 2018 nüfus sayımına göre Güdül'ün nüfusu 10.074 kişidir. Güdül 40° 12' ile 40° 13' Kuzey enlemleri ile 32° 14' ile 32° 15' doğu boylamları arasında yer alır. Güdül ve çevresi düşük sıcaklıkta, yağışlı ve karlı kışlar geçirirken, yazlar az yağışlı ve kurak geçer. Meteoroloji Genel Müdürlüğü'nün 1923 yılı ile 2018 yılı arasında aldığı kayıtlara göre en yüksek sıcaklık ortalaması Ağustos ayında (40°), en düşük sıcaklık ortalaması Ocak ayında

(16.6°) ölçülmüştür. Ortalama en fazla yağış ise Eylül ayında gerçekleşirken (85.5 mm) en düşük ortalama yağış Ağustos ayında gerçekleşmiştir 29 mm (Şekil 3). Güdül yerleşim alanı düz bir topoğrafik alanda yer almaktadır (Şekil 4a). Yerleşim alanı eğimi 0.00° ile 10.00° arasında değişirken, yerleşim alanının denizden yüksekliği 650 m civarındadır (Şekil 4b).

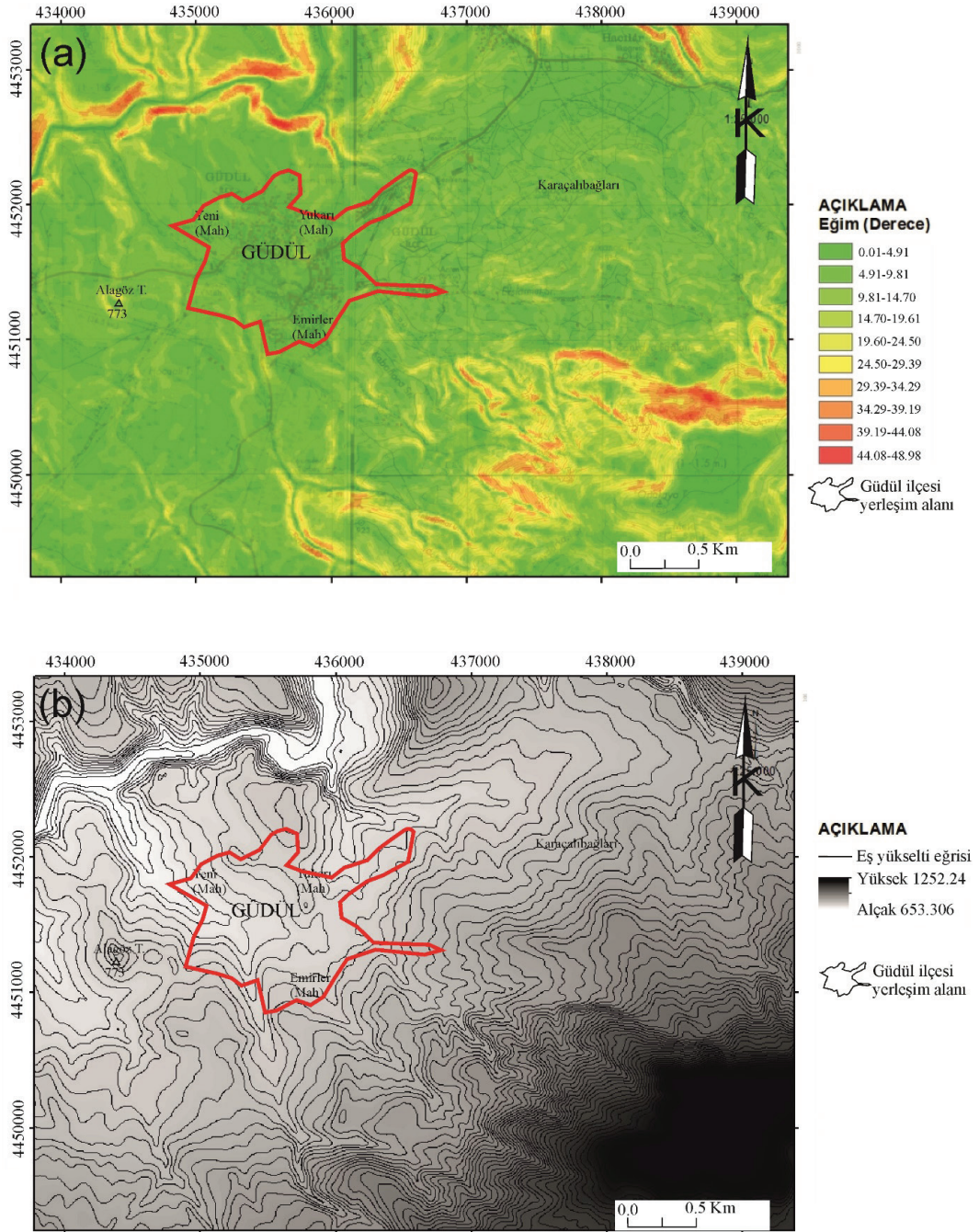
Yerleşim alanı eğimi 0.00° ile 10.00° arasında değişirken yerleşim alanının denizden yüksekliği 650 m civarındadır (Şekil 4b).



Şekil 3. a) 1923-2018 yılları arası Güdül yöresi aylık ortalama sıcaklık grafiği b) 1927-2018 yılları arası Güdül yöresi aylık ortalama yağış grafiği (MGM, 2019).

Figure 3. a) Mean annual temperature graph of Güdül area between 1923 and 2018 b) mean annual precipitation graph of Güdül area between 1927 and 2018 (MGM, 2019).

Soypak, Kayabaşı



Şekil 4. a) Güdül yerleşim alanı ve çevresi eğim haritası b) Güdül yerleşim alanı ve çevresi eş yükselti haritası.

Figure 4. a) Slope gradient map of Güdül settlement area and its vicinity b) Topographic contour map of Güdül settlement area and its vicinity.

İNCELEME ALANI VE ÇEVRESİNİN JEOLOJİSİ

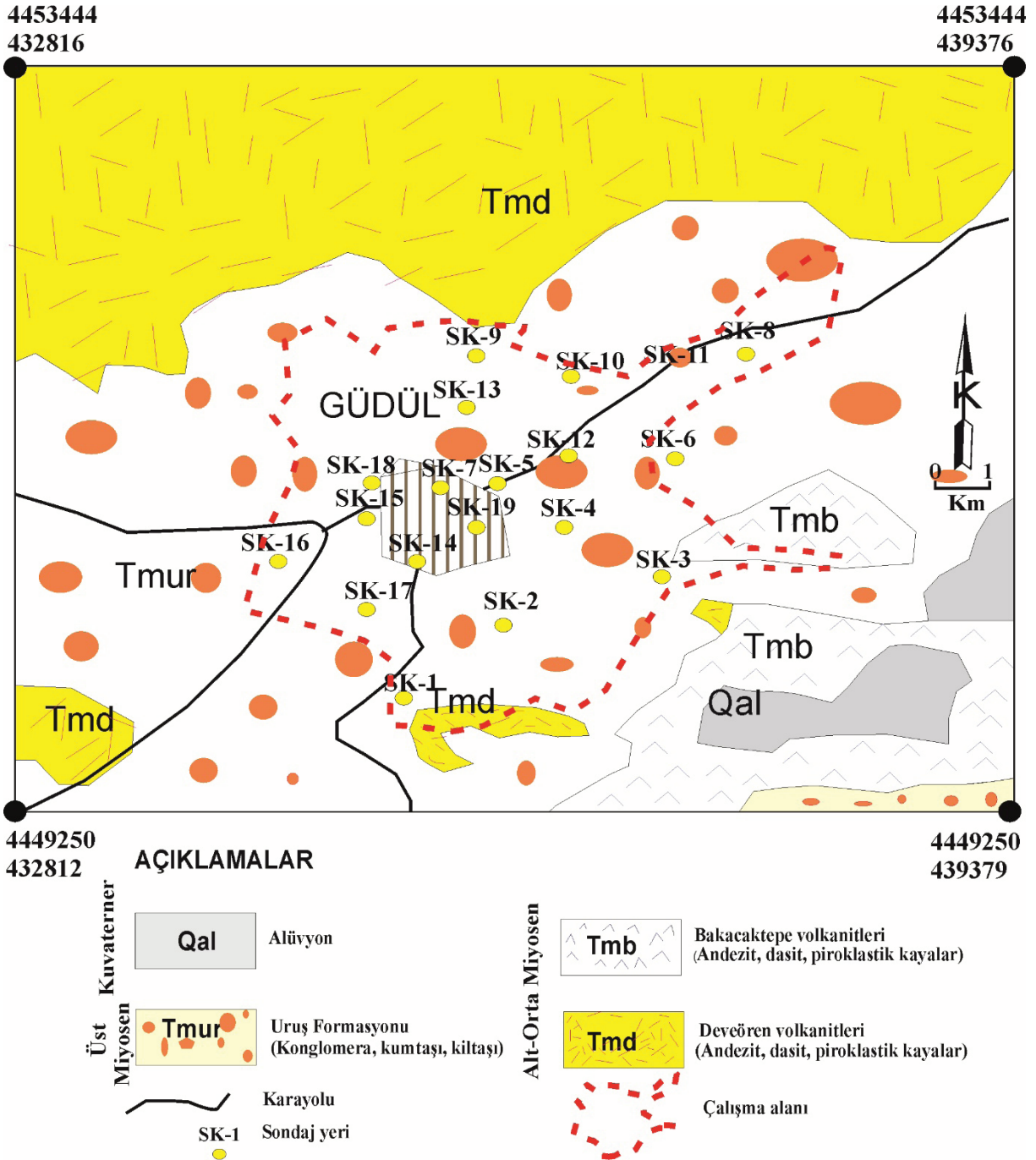
Güdül ve çevresinde en yaşlı birim Deveören volkanitleridir. Deveören volkanitleri dasit ve andezit lavları ile tüf ve aglomeralardan oluşur, Alt-Orta Miyosen yaşlıdır (Türkecan vd., 1991). Deveören volkanitleri üzerinde Bakacaktepe volkanitleri yer alır. Bakacaktepe volkanitleri de Alt-Orta Miyosen yaşlıdır (Türkecan vd., 1991). Bakacaktepe volkanitleri dasit, andezit ve piroklastiklerden oluşur. Güdül ve çevresindeki yerleşim alanlarının çoğunluğu Uruş Formasyonu üzerinde yer alır. Uruş Formasyonu konglomera, kumtaşı, kiltası, kireçtaşı ve jipsten oluşur. Uruş Formasyonu Üst Miyosen yaşlıdır (Türkecan vd.,1991). Güdül ilçesi yerleşim alanı Uruş Formasyonu litolojik birimlerinin ayrışmasından oluşmuş az çakıllı kumlu killi toprak örtüsünden oluşmaktadır. Yöredeki en genç birim olan alüvyon ise akarsu yataklarındaki çakıl, kum ve kil çökelleridir (Şekil 5).

ARAZİ VE LABORATUVAR ÇALIŞMALARI

Bu çalışma kapsamında inceleme alanında toplam uzunluğu 239.0 m olan 19 adet sondaj kuyusu Ankara Büyükşehir Belediyesi tarafından açtırılmıştır (Şekil 6). Sondajlarda sarımsı beyaz, açık kahve, gri beyaz renkli, sıkı, az çakıllı-kumlu kil birimi geçilmiştir. Çakıl tane boyu ortalama 3 cm civarındadır. Çakıllar yarı yuvarlak-yarı köşelidir. Çakıl ve kum taneleri andezit kökenlidir.

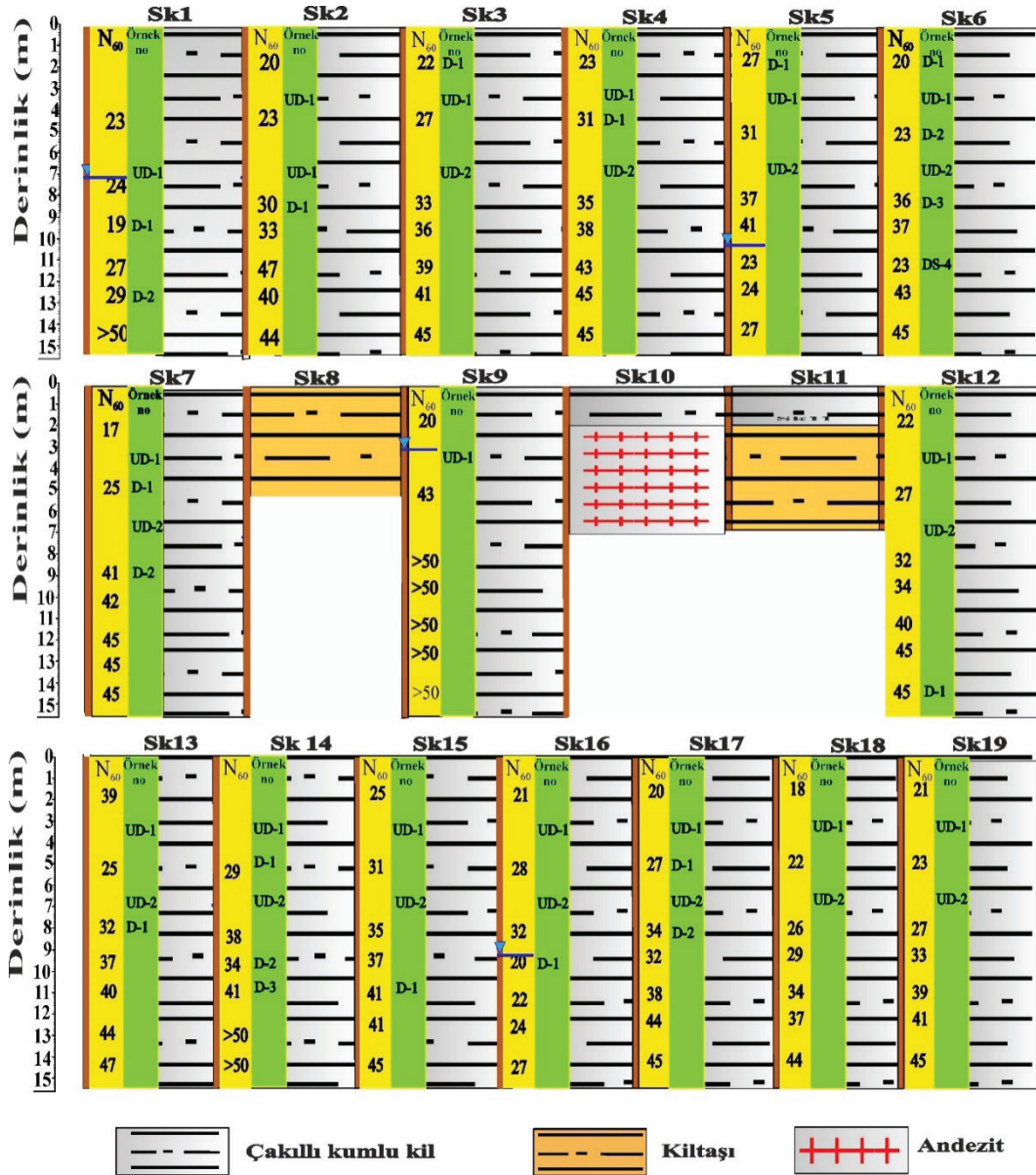
Bu birimler Uruş Formasyonunun ayrışması sonucu oluşmuştur. Ayrışmanın az olduğu SK-8 ve SK-11 nolu kuyularda kiltası birimi kesilmiştir. SK-10 nolu kuyuda ise 2 m derinliğe kadar geçilen az çakıllı-kumlu kil biriminden sonra Deveören volkanitlerinin andezit birimi kesilmiştir. SK-1 nolu kuyuda 7m’de, SK-5 nolu kuyuda 10 m’de, SK-9 nolu kuyuda 3.0 m’de ve SK-16 nolu kuyuda 9.0m’de yeraltısuyu seviyesi belirlenirken diğer kuyularda yeraltısuyu yoktur. Sondaj kuyularında 110 adet SPT deneyi yapılmış, 21 adet SPT örselenmiş zemin örneği (D) ve U_{100} tüpü ile 30 adet örselenmemiş zemin örneği (UD) alınmıştır (Şekil 6).

Örneklerin ıslak analiz ile tane boyu dağılım, doğal birim hacim ağırlığı (γ_n), doğal su içeriği (W_n), likit limit (LL), plastik limit (PL), plastisite indeksi (PI), şişme basıncı (SP) ve şişme yüzdesi (S) belirlenmiştir. Tane boyu dağılım analizleri ASTM 421 (2018) ve ASTM 422 (2018), doğal birim hacim tayini ASTM D 7263 (2018), doğal su içeriği ASTM (2018), Atterberg limitleri tayini ASTM D 4318 (2018), şişme yüzdesi ve şişme basıncı tayini deneyleri ASTM D 4546 (2018) B ve ASTM D 4546 C (2018) standartlarına uygun olarak yapılmıştır. Alınan örneklerin zemin sınıflandırması Birleştirilmiş Zemin Sınıflandırma Sistemi'ne (USCS) göre yapılmıştır (ASTM D2487, 2018). Çizelge 1’de zemin sınıflandırma, indeks özellikleri ve şişme özelliklerini belirlemeye yönelik yapılan deneylerin toplu sonuçları verilmiştir.



Şekil 5. Güdül yöresi jeoloji haritası (Türkecan vd., 1991'den değiştirilerek alınmıştır).

Figure 5. The geologic map of Güdül area (Modified from Türkecan et al., 1991).



Şekil 6. Sondaj kuyularının basitleştirilmiş tanımı.

Figure 6. Simplified description of the boreholes.

Soypak, Kayabaşı

Çizelge 1. Zemin sınıflandırması, indeks ve şişme özellikleri deneyleri sonuçları.
Table 1. Soil classification, test results of index and swelling properties.

Sondaj kuyusu no	Derinlik (m)	Örnek no	Çakal	Kum	Silt	Kil	Wn (%)	γ_n (kN/m ³)	LL (%)	PI (%)	Ac	Zemin sınıfı	S (%)	SP (kPa)
SK-1	6.00-6.50	UD-1	21.60	20.10	22.60	35.70	17.60	18.14	42.60	29.24	0.82	CL	2.33	28.04
SK-1	9.00-9.45	SPT-3	17.50	38.30	25.20	19.00	14.80	18.14	39.90	11.47	0.60	SC	2.40	28.69
SK-1	12.0-12.45	SPT-5	19.60	42.90	07.82	29.78	19.10	18.14	38.30	17.40	0.58	SC	2.30	27.72
SK-2	3.00-3.50	UD-1	00.00	00.00	60.26	39.64	18.30	18.24	42.60	27.63	0.70	CL-OL	1.42	19.22
SK-2	6.00-6.50	UD-2	00.00	02.40	72.95	24.65	22.20	18.24	44.80	21.00	0.85	CL	3.64	41.01
SK-2	7.50-7.95	SPT-3	01.30	10.30	32.44	55.96	18.60	18.24	45.10	22.20	0.40	CL	1.36	18.63
SK-3	1.50-1.95	SPT-1	09.70	12.90	52.70	24.70	19.20	18.63	38.60	11.64	0.47	ML-OL	1.73	22.11
SK-3	3.50-3.95	UD-1	07.40	12.40	49.63	30.57	17.70	18.63	42.00	27.27	0.89	CL	2.14	26.15
SK-3	6.00-6.50	UD-2	10.20	21.40	38.15	30.25	18.00	18.63	37.70	09.08	0.30	ML-OL	2.20	26.77
SK-4	3.00-3.50	UD-1	00.00	07.90	64.45	27.65	19.00	18.04	46.30	18.80	0.68	ML-OL	2.78	32.46
SK-4	4.50-4.95	SPT-2	00.00	11.40	53.80	34.80	26.30	18.04	45.20	29.34	0.84	ML-OL	2.63	31.06
SK-4	6.00-6.50	UD-2	00.00	09.80	67.00	23.20	24.40	18.04	44.90	16.80	0.72	CL-OL	3.00	34.66
SK-5	3.00-3.50	UD-1	16.40	35.00	14.62	33.98	24.20	17.36	35.10	21.75	0.64	SC	1.51	20.10
SK-5	1.50-1.95	SPT-1	15.20	40.30	04.60	39.90	19.00	18.44	33.80	11.10	0.28	SC	0.77	12.52
SK-5	6.00-6.50	UD-2	02.80	18.60	54.08	24.52	21.60	18.44	46.10	21.10	0.86	CL	3.68	41.43
SK-6	1.50-1.95	SPT-1	00.00	05.30	68.40	26.30	32.10	18.83	56.90	37.96	1.44	CH	6.59	70.37
SK-6	3.00-3.50	UD-1	00.00	10.80	66.59	22.61	26.40	18.83	52.30	22.70	1.00	MH-OH	4.40	48.56
SK-6	4.50-4.95	SPT-2	00.00	12.10	70.85	17.05	31.30	18.83	60.60	28.70	1.68	MH-OH	7.79	82.28
SK-6	6.00-6.95	UD-2	00.00	08.90	72.25	18.15	38.20	18.83	57.70	27.30	1.50	MH	6.90	73.39
SK-6	7.50-7.95	SPT-3	00.00	06.60	72.70	18.40	26.00	18.83	57.50	27.00	1.47	CH	6.71	71.57
SK-6	10.5-10.95	SPT-5	00.00	09.60	80.20	13.20	33.70	18.83	61.30	29.10	1.74	MH-OH	8.06	84.94
SK-7	3.00-3.45	UD-1	00.00	21.40	33.10	45.50	17.50	18.34	40.80	20.23	0.44	CL	1.60	20.59
SK-7	4.50-4.95	SPT-2	54.20	22.40	11.86	35.26	13.30	18.44	33.60	10.30	0.29	GC	1.38	18.56
SK-7	6.00-6.50	UD-2	00.00	09.10	72.40	18.50	26.10	18.44	54.30	24.60	1.19	MH-OH	5.35	58.02
SK-7	9.00-9.45	SPT-4	02.30	15.00	62.70	20.00	24.60	18.44	47.90	15.09	0.75	ML-OL	3.15	36.18
SK-9	3.00-3.50	UD-1	00.00	08.40	68.20	23.40	26.20	18.63	54.30	37.26	1.59	CH	7.34	77.76
SK-12	3.00-3.45	UD-1	01.30	16.10	55.00	27.60	22.20	18.44	55.10	29.00	1.71	CH	7.93	83.60
SK-12	6.00-6.50	UD-2	00.80	08.90	76.80	13.60	23.60	18.44	51.80	14.77	1.09	MH-OH	6.53	69.78
SK-12	13.5-13.95	SPT-3	04.60	12.10	54.40	28.90	24.10	18.44	47.30	33.61	1.16	CL	5.19	56.46
SK-13	3.00-3.50	UD-1	47.60	32.10	00.00	21.20	16.80	18.34	34.70	10.46	0.49	GC	1.84	23.22
SK-13	6.00-6.50	UD-2	12.80	16.80	47.10	23.30	20.40	18.34	45.10	22.10	0.95	CL	4.12	45.80
SK-13	7.50-7.95	SPT-3	04.60	12.10	67.10	16.20	22.60	18.34	44.80	16.57	1.02	ML-OL	4.49	49.51

Çizelge 1. (devamı)

Table 1. (continued)

SK-14	3.00-3.50	UD-1	00.00	00.00	36.19	63.81	24.80	18.83	58.60	21.19	0.33	MH-OH	1.68	21.57
SK-14	4.50-4.95	SPT-2	00.00	09.80	71.97	18.23	23.40	18.63	55.80	27.20	1.49	CH	6.84	72.78
SK-14	6.00-6.50	UD-2	00.00	00.00	81.77	18.23	25.20	18.63	58.30	27.20	1.49	MH-OH	6.84	72.78
SK-14	9.00-9.45	SPT-3	00.00	03.60	69.80	26.60	18.40	18.63	49.60	21.20	0.87	ML-OL	3.72	41.85
SK-14	10.5-10.95	SPT-4	00.00	00.00	75.30	24.70	21.80	18.63	54.10	30.04	1.22	CH	5.46	59.08
SK-15	3.00-3.50	UD-1	00.00	00.00	84.54	15.46	26.00	18.93	57.20	22.69	1.47	MH-OH	9.41	98.30
SK-15	6.00-6.50	UD-2	01.10	10.40	68.20	20.40	23.90	18.93	44.90	15.72	0.77	ML-OL	3.23	36.96
SK-15	10.5-10.95	SPT-5	00.30	06.60	78.90	14.20	25.10	18.93	47.60	13.86	0.98	ML-OL	4.26	47.17
SK-16	3.00-3.50	UD-1	02.40	19.00	50.95	27.65	22.90	18.34	41.80	18.80	0.68	CL	2.78	32.46
SK-16	6.00-6.50	UD-2	05.10	25.70	49.80	19.50	20.60	18.34	43.30	15.96	0.82	ML-OL	3.47	39.35
SK-16	9.00-9.45	SPT-4	26.20	29.20	25.30	19.30	15.20	18.34	37.20	12.57	0.65	SC	2.63	31.06
SK-17	3.00-3.50	UD-1	00.00	04.90	71.50	23.60	24.70	18.63	57.70	31.60	2.25	CH	10.63	110.50
SK-17	4.50-4.95	SPT-2	00.00	00.00	85.58	14.42	25.10	18.63	60.30	25.61	1.78	MH-OH	10.71	111.29
SK-17	6.00-6.50	UD-2	01.30	11.40	63.30	24.00	23.00	18.63	51.80	25.20	1.26	CH	5.67	61.24
SK-17	7.50-7.95	SPT-3	00.50	08.30	62.60	28.60	22.90	18.63	44.90	21.00	0.85	CL	3.64	41.01
SK-18	3.00-3.50	UD-1	02.10	17.80	23.06	57.04	19.10	18.24	46.10	12.04	0.21	ML-OL	1.41	18.63
SK-18	6.00-6.50	UD-2	00.60	07.00	31.16	61.24	24.60	18.24	56.20	14.39	0.24	MH-OH	1.63	21.08
SK-19	3.00-3.50	UD-1	03.20	24.20	22.19	50.41	18.20	18.83	44.30	20.20	0.40	CL	1.38	18.34
SK-19	6.00-6.50	UD-2	00.00	04.20	30.61	65.19	25.90	18.83	57.90	15.65	0.24	MH-OH	1.57	20.69
En düşük			00.00	00.00	00.00	13.20	13.30	17.36	33.60	09.08	0.21		0.77	12.52
En yüksek			54.20	42.90	85.58	65.19	38.20	18.83	61.30	37.96	2.25		10.71	111.29
Ortalama			05.74	13.59	52.60	28.55	22.60	18.49	47.97	21.46	0.92		4.12	45.83

Açıklama: Wn:Doğal su içeriği; L.L.:Likit limiti; PL.:Plastik limit; PI:Plastisite indeksi; Ac:Aktivite; S:Şişme potansiyeli; SP: Şişme basıncı

Sondaj kuyularında yapılan SPT deneyi kumlu, siltli ve killi zeminlerin ve aşırı ayrıışmış kaya kütlelerinin dayanımının belirlenmesi için yapılan yerinde bir deneydir (ASTM D 1586, 2018). Deney standart yarık tip çarık numune alıcının (penetrometre) mm kuyu içindeki zeminde ilerleyebilmesi için 63.5 kg şahmerdanın 76 cm mesafeden sondaj tijleri üzerine düşürülmesi ve darbe sayılarının belirlenmesi işlemidir. Kuyuda ölçülen ham darbe sayıları, üzerinde tij düzeltilmesi, kuyu çapı düzeltilmesi, enerji oranı düzeltilmesi, yaraltısu düzeltilmesi ve kuyu çapı düzeltilmesi gibi düzeltmeler yapılarak, düzeltilmiş SPT değeri (N_{60}) hesaplanır (Skempton, 1986). Çalışma alanında açılan sondaj kuyularında yapılan SPT deneylerinin düzeltilmiş darbe sayısı (N_{60}) dağılımını veren histogram grafiği Şekil 7a'da verilmiştir. N_{60} değerlerinin %80'i 16 ile 32 arasında yoğunlaşmıştır. Terzaghi ve Peck (1967) ve Bowles (1988)'e göre bu zeminlerin kıvamı çok katı olarak tanımlanmıştır. Chen (1988) ise SPT N_{60} değerlerinin 20-30 olması durumunda birimin yüksek şişme potansiyeline sahip olduğunu, 30 dan büyük N darbeleri için ise çok yüksek şişme potansiyeli bulunduğunu ifade etmiştir (Çizelge 2).

Şekil 7b'de görüldüğü gibi Güdül zemin örnekleri N_{60} değerlerinin çoğunluğu orta-yüksek şişme potansiyeline sahiptir.

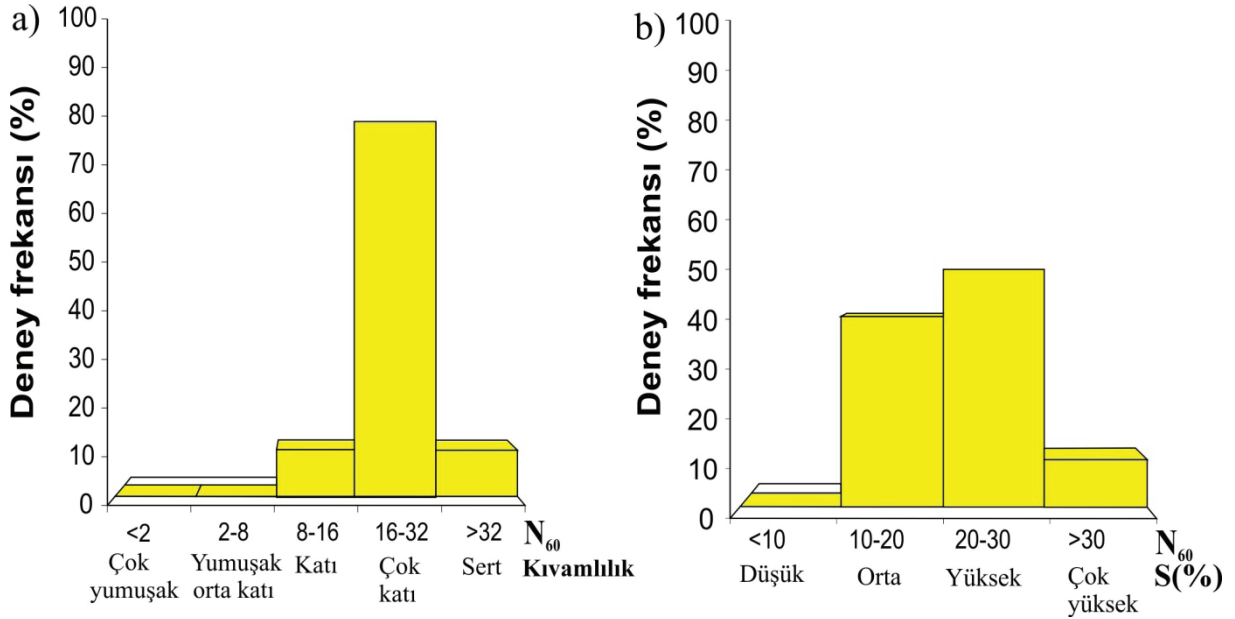
Çizelge 3'te literatürde yapılmış olan şişme sınıflandırmaları verilmiştir. Bu sınıflandırmalarda LL değer aralıkları (Holtz ve Gibbs, 1956; Daksanamurthy ve Raman, 1973; Chen, 1988), PI değer aralıkları (Seed vd., 1962; Mohan ve Goel, 1959; CMC, 2004), kil içeriği (CC) (Holtz ve Gibbs, 1956; Ac (Nelson ve Miller, 1992) ve 200 nolu elekten geçen malzeme yüzdesi (Holtz, 1959) dikkate alınmıştır. Bu çalışma kapsamında zemin örneklerinden belirlenen LL, PI, CC, Ac değerleri ve 200 nolu elekten geçen malzemenin miktarından oluşturulan frekans dağılımlarından Şekil 8'de verilmiştir. Şekil 8a'da Holtz ve Gibbs (1956) 8b'de Daksanamurthy ve Raman (1973) ve 8c'de Chen (1988) tarafından LL değerlerine göre önerilen sınıflandırmalara göre oluşturulmuş frekans dağılımları verilmektedir. Buna göre çalışma alanındaki zeminlerin her üç sınıflandırmaya göre "orta-yüksek" şişme potansiyeline sahip olduğu belirlenmiştir. Şekil 8d'de Seed vd. (1962), Şekil 8e'de Mohan ve Goel (1959) ve Şekil 8f'de GMC (2004) tarafından önerilen PI değerlerine göre çalışma alanındaki zeminlerin frekans dağılımlarını gösterilmektedir. PI değerlerine göre inceleme alanındaki killi zeminlerin her üç sınıflandırmaya göre "orta-yüksek" şişme potansiyeline sahip olduğu ortaya konmuştur.

Çizelge 2. Şişen killerde olası hacim değişikliği tahmini verileri (Chen, 1988).

Table 2. Data for making estimates of probable volume changes for expansive soils (Chen, 1988).

<#200 (%)	LL (%)	N_{60}	Olası S(%)	SP (kPa)	Şişme derecesi
<30	<30	<10	<1	<150	Düşük
30-60	30-40	10-20	1-5	150-250	Orta
60-95	40-60	20-30	5-10	250-1000	Yüksek
>95	>60	>30	>10	>1000	Çok yüksek

<#200: 200 nolu elek altına geçen miktarı, LL: likit limit, N_{60} : düzeltilmiş SPT darbe sayısı, S: şişme potansiyeli, SP: şişme basıncı



Şekil 7.a) N_{60} değerlerinin kıvamlilik sınıflandırmasına (Terzaghi ve Peck 1967; Bowles, 1988) göre histogram dağılımı b) N_{60} değerlerinin şişme potansiyeli sınıflandırmasına (Chen, 1988) göre histogram dağılımı.

Figure 7. a) N_{60} histogram according to consistency classification (Terzaghi and Peck, 1967; Bowles, 1988) b) N_{60} histogram according to swelling potential classification (Chen, 1988).

Çizelge 3. Literatürde şişme potansiyeli sınıflandırmaları.

Table 3. Swelling potential classifications in the literature.

LL (a)	LL (b)	LL (c)	PI (d)	PI (e)	PI (f)	CC (g)	Ac (h)	#200 Geçen (%) (ı)	S (%)
<39	<30	20-35	<10	<12	<15	<13	<0.3	<30	Düşük
39-50	30-40	35-50	10-20	12-23	15-28	13-20	0.3-0.5	30-60	Orta
50-63	40-60	50-70	20-35	23-32	28-40	20-28	>0.5	60-95	Yüksek
>63	>60	>70	>35	>32	>40	>28		>95	Çok yüksek

a) Holtz (1969) b) Daknamurthy ve Raman (1973) c) Chen (1988) d) Seed vd., (1962) e) Mohan ve Goel (1959) f) GMC (2004) g) Holtz ve Gibbs (1956) h) Melson Miller (1992) ı) (Holtz (1959)

Açıklama: LL:Likit limit; PL:Plastik limit; PI:Plastisite indeksi; Ac:Aktivite; S:Şişme potansiyeli

Holtz ve Gibbs (1956) tarafından kil içeriği miktarına göre yapılan sınıflandırmaya göre zemin örneklerinin şişme potansiyelinin “orta-yüksek-çok yüksek” şişme potansiyeli

sınıflandırma aralığına dağıldığı görülmüştür (Şekil 8g).

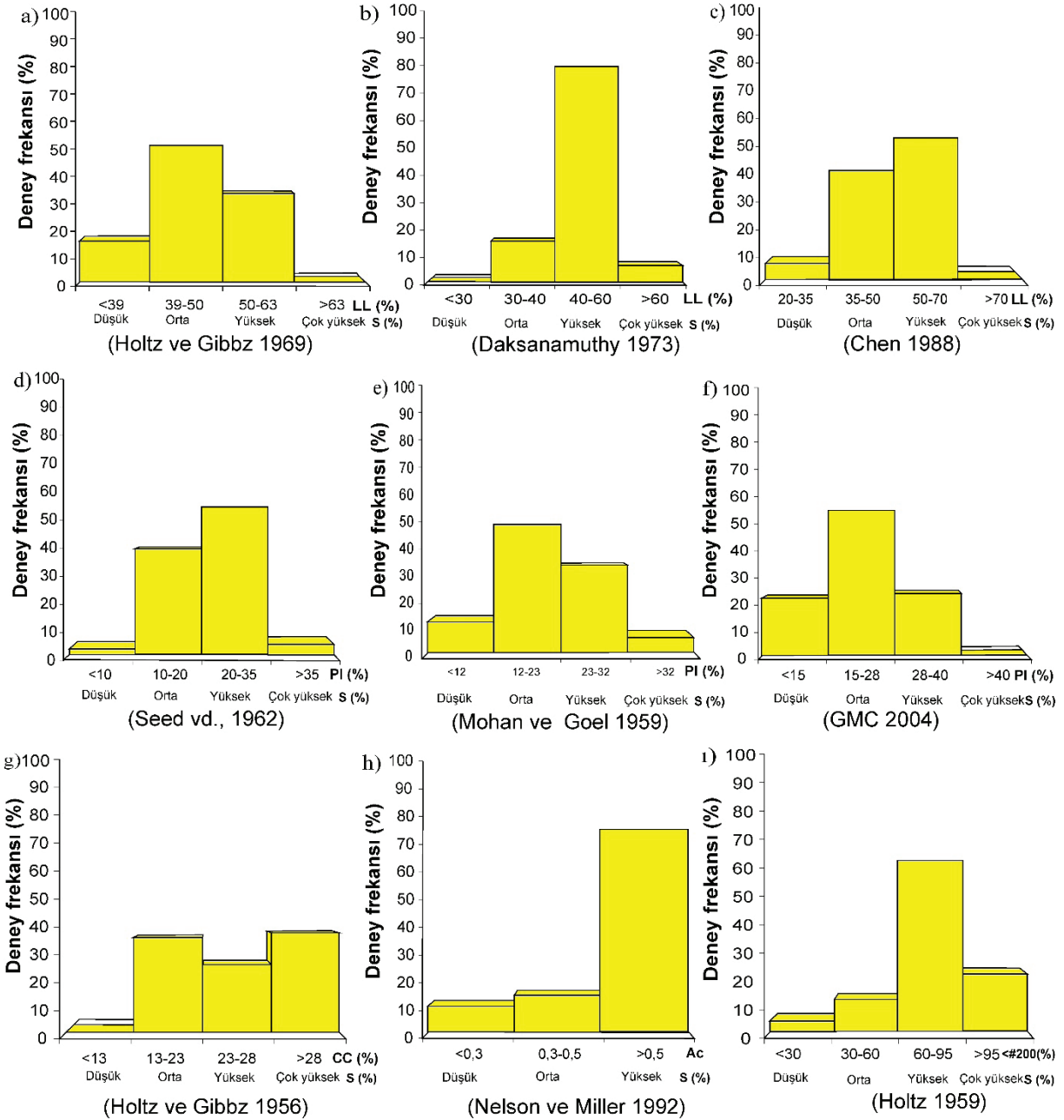
Killi zeminlerin aktivitesi (Ac), zeminin PI değerinin kil içeriğine oranı olarak tanımlanır.

Skempton (1953) killeri aktivitesine göre sınıflandırmıştır. Bu sınıflandırmaya göre aktivitesi 1 ile 7 arasında olanlar sodyum montmorillonittir. Ca montmorillonitin aktivitesi 1'e kadar yükselebilirken, kaolen aktivitesi 0.5 civarında, illit aktivitesi 0.5-1 arasında değişmektedir (Mitchell, 1975). Nelson ve Miller (1992) çalışmalarında killerin şişme potansiyelini aktivite değerine göre sınıflandırmışlardır. Eğer $A_c < 0.3$ ise, şişme potansiyeli düşük, A_c değerinin 0.3-0.5 arasında olması durumunda kil orta derecede şişme potansiyeline sahip, A_c değerinin 0.5'ten büyük olması durumunda şişme potansiyeli yüksek olarak değerlendirilmiştir. Çalışma alanında alınan örneklerden belirlenen aktivite değerlerinin % 76.47'si 0.5'ten büyük olup, yüksek şişme potansiyeline sahip killer olduğu görülmüştür (Şekil 8h).

İnce tane (200 nolu elekten geçen) miktarına göre yapılan sınıflandırmada (Holtz, 1959) ise çalışma alanındaki zeminlerin şişme potansiyeli "yüksek-çok yüksek" olarak belirlenmiştir (Şekil 8i). Dakshanamurthy ve Raman (1973) plastisite tablosunu şişme potansiyelini de gösterecek şekilde modifiye etmişlerdir (Şekil 9). Şekil 9'da görüldüğü gibi Güdül ilçesinin ince taneli zeminleri plastisite abağında orta-yüksek plastisiteli inorganik killer bölgesinde yoğunlaşmış olup çoğunluğunun "orta-yüksek" derecede şişme potansiyeline sahip oldukları görülmektedir.

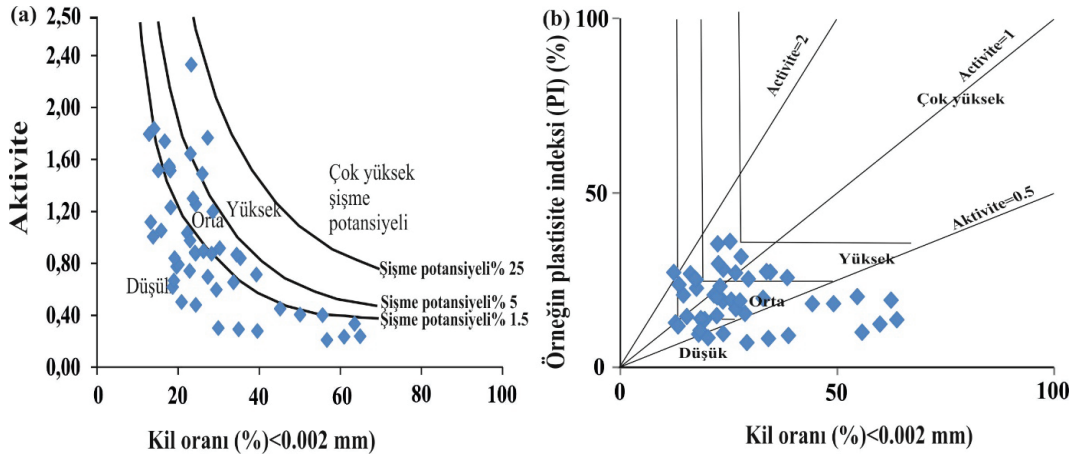
Seed vd. (1962) tarafından yapılan çalışmada kil boyutlu taneler ile aktivite arasındaki grafiği şişme potansiyeli açısından bölgelendirmişlerdir (Şekil 10). Şekil 10'da görüldüğü gibi kil boyu tane miktarının artması, şişme potansiyelinin artacağı anlamına gelmemektedir. Kil boyu tanelerin aktivitesi zeminin şişme potansiyelinde belirleyici olmaktadır. Şekil 10a'da Güdül zeminlerinden alınan örneklerin aktivite değerleri ve karşılık gelen kil miktarının grafiğe yerleştirilmesi sonucunda, örneklerin "düşük-orta" şişme potansiyeline sahip olduğu belirlenmiştir. Şişme potansiyelinin sınıflandırıldığı bir diğer yöntem ise örnek içerisindeki kil ile plastisite indeksi arasında yapılan karşılaştırmadır. Güdül zemin örneklerinin düşük şişme potansiyelinde örnekler olmasına rağmen Şekil 10b'de örneklerin büyük çoğunluğunun "düşük-orta" şişme potansiyeline sahip olduğu görülmektedir.

Wayne vd. (1994) Sudan'daki killi zeminler üzerinde yaptıkları çalışmalarda S(%) ve SP (kPa) değerlerine göre frekans grup aralıkları belirlemiştir. Güdül zemin örneklerinin S(%) ve SP (kPa) frekans histogram grafiklerinde % 50.98'i %1.5-%5 aralığında, %33.33'ü ise %5-%25 hacim artışı göstermektedir (Şekil 11). Örneklerin %35.29'i 0-50 kPa aralığında şişme basıncı oluştururken, % 64.71'i 50.00-111.29 kPa aralığında şişme basıncına sahiptir.



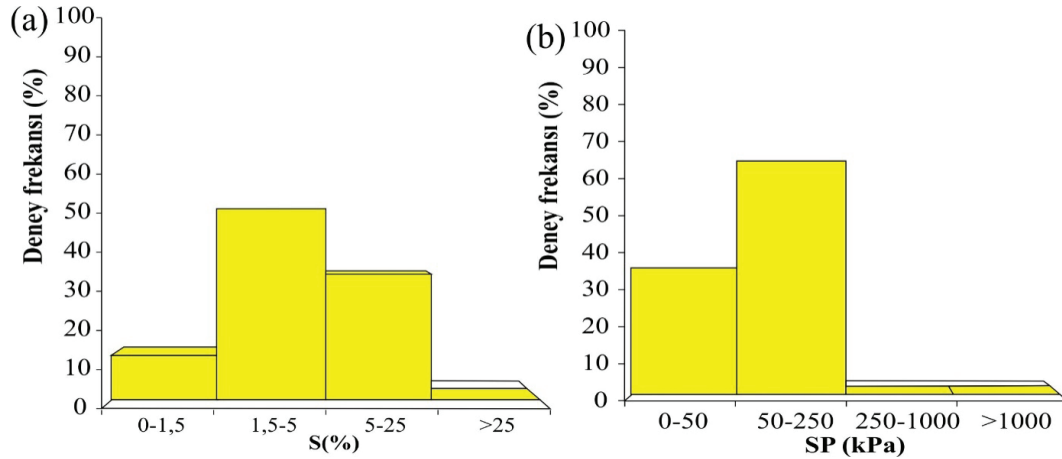
Şekil 8. Şişme potansiyeli sınıflandırmalarına göre Güdül yöresi zeminlerinin likit limit (LL), plastisite indeksi (PI), kil içeriği (CC), aktivite (Ac) ve #200 nolu elekten geçen yüzde miktarına göre histogram dağılımları.

Figure 8. According to swelling potential classifications of Güdül area soils according to liquid limit (LL), plasticity index (PI), clay content (CC), activity (Ac) and percent passing #200 sieve histogram graphs.



Şekil 10. Şişen killerin sınıflandırılması grafikleri: a) Aktivite-kil oranı grafiği (Seed vd., 1962'den değiştirilerek alınmıştır) b) Plastisite indeksi-kil oranı grafiği (Van Der Merwe, 1964' den değiştirilerek alınmıştır).

Figure 10. Swelling clays classification charts: a) activity-clay ratio graph (modified from Seed et al., 1962) b) Plasticity index-clay ratio graph (modified from Van Der Merwe, 1964).



Şekil 11. Güdül zemin örneklerinin a) hacimsel değişim histogramı b) şişme basıncı (kPa) histogramı (Wayne vd., 1994).

Figure 11. a) Volume change and b) swelling pressure (kPa) histograms of Güdül samples (Wayne vd., 1994).

Çizelge 4. Şişen zeminlerde hacim değişikliği, şişme basıncı ve oluşabilecek hasar ilişkisi (Wayne vd., 1994).

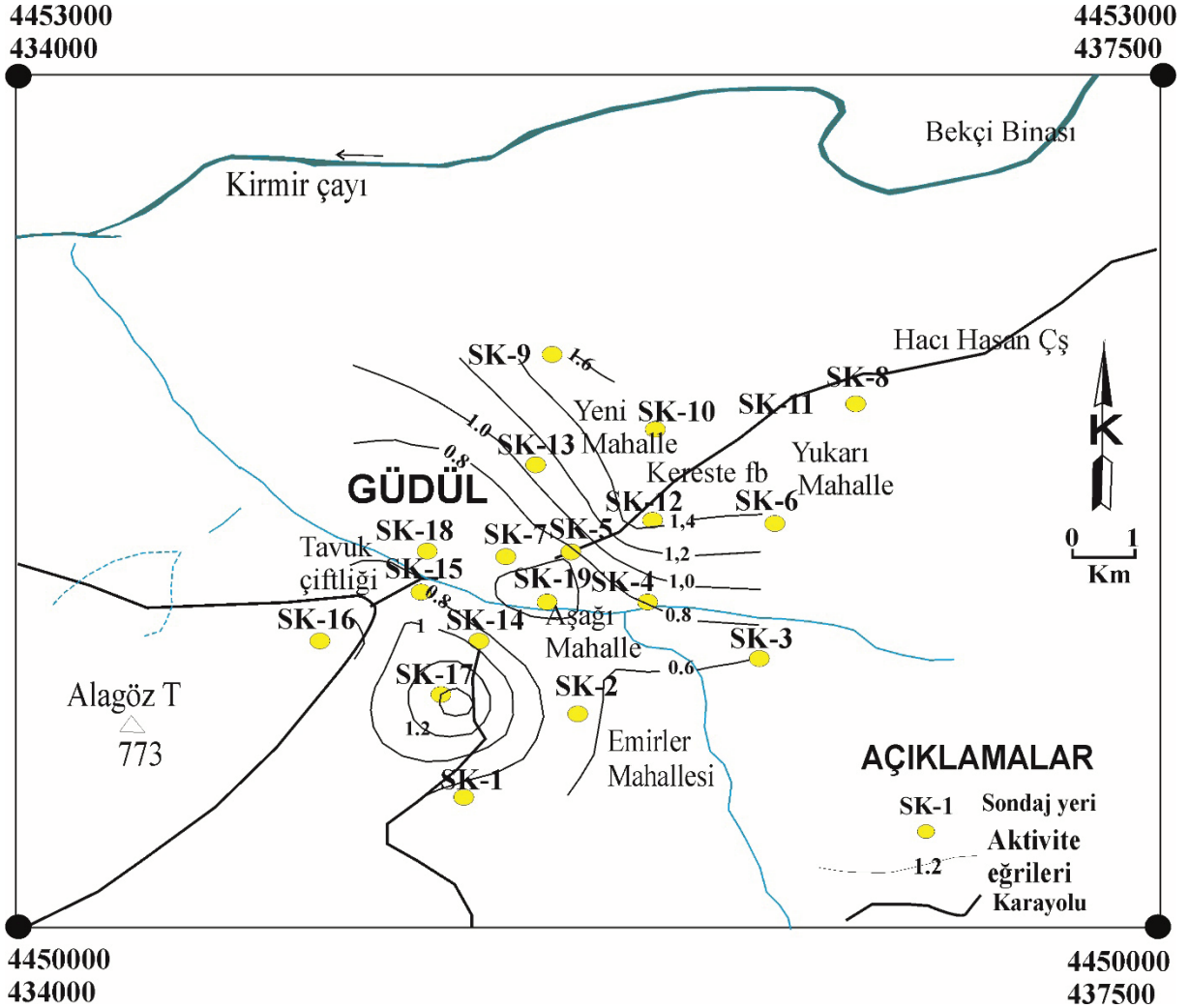
Table 4. Relationship of volume change, swelling pressure (kPa) and possible damage in swelling soils (Wayne et al., 1994).

Hacim değişikliği (%)	Şişme basıncı (kPa)	Oluşabilecek hasar
0-1.5	0-50	Düşük
1.5-5	50-250	Orta
5-25	250-1000	Yüksek
>25	>1000	Çok yüksek

Soypak, Kayabaşı

Her bir sondaj kuyusu için belirlenen ortalama Ac değeri kullanılarak, çalışma alanı için aktivite (Ac) haritası hazırlanmıştır. Şekil 12'de görüldüğü gibi Emirler Mahallesinden Yeni Mahalle ve Yukarı Mahallesi yönünde ve

SK-17 yönünde aktivite değerleri artmaktadır. Aktivitenin 1 değerinden fazla olduğu alanlardaki özellikle az katlı yapılarda, zemin şişmesi kaynaklı sorunlar daha fazla olabilecektir (Nelson ve Miller 1992).

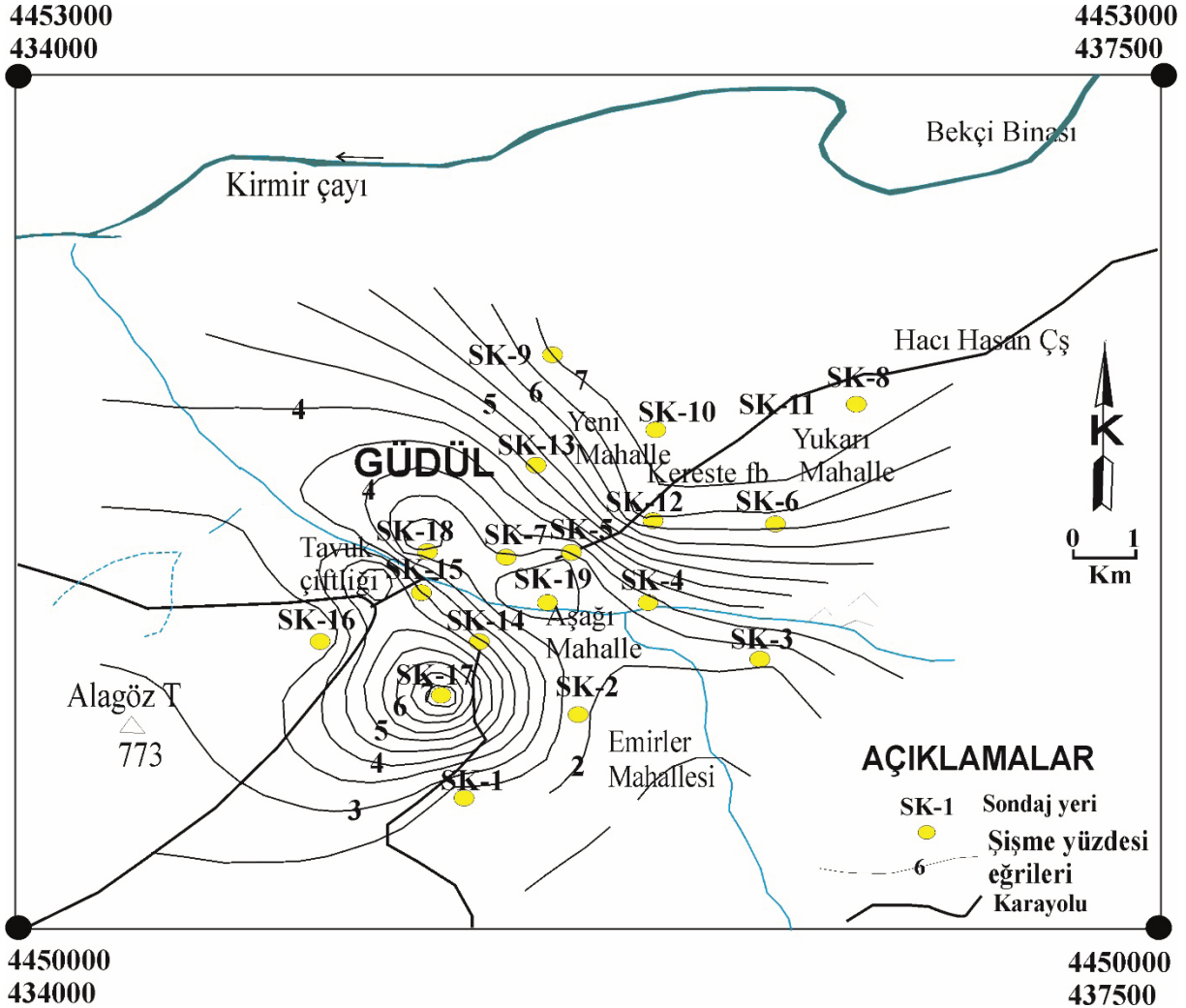


Şekil 12. Güdül ve çevresi zeminleri aktivite haritası.

Figure 12. Soil activity map of Güdül and its vicinity.

Güdül ve çevresi için hazırlanmış olan, şişme potansiyeli ve şişme basıncı haritaları Şekil 13 ve 14'te gösterilmektedir. Buna göre, Yeni Mahalle ve Yukarı Mahalle civarında şişme potansiyeli ve

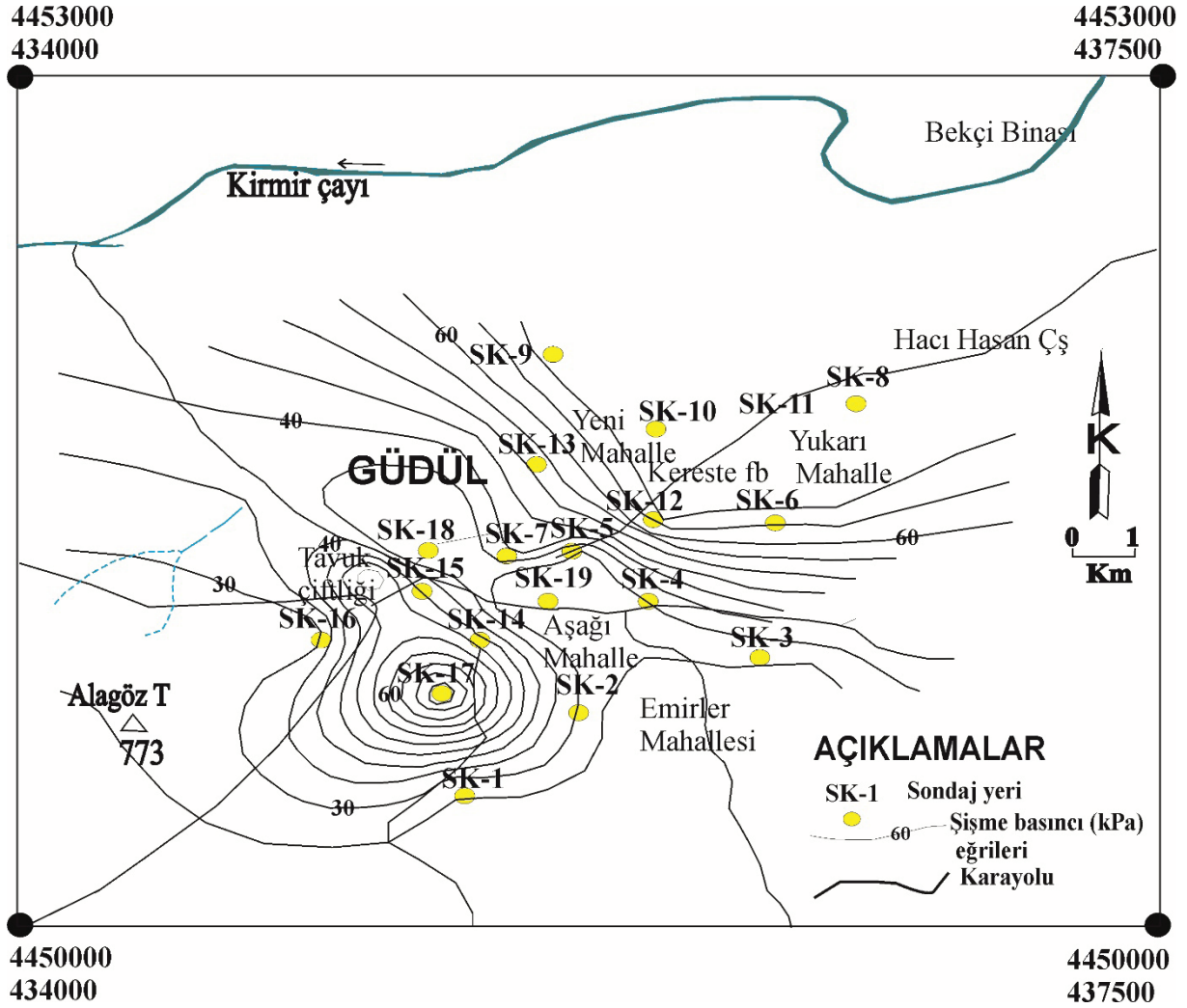
şişme basıncı değerleri artış göstermektedir. Öte yandan, Emirler Mahallesi civarlarında şişme potansiyeli ve şişme basıncı düşük değerlere ulaşmaktadır (Şekil 13 ve 14).



Şekil 13. Güdül ve çevresi şişme yüzdesi haritası.

Figure 13. Swelling potential map of Güdül and its vicinity.

Soypak, Kayabaşı



Şekil 14. Güdül ve çevresi şişme basıncı haritası.

Figure 14. Swelling pressure map of Güdül and its vicinity.

SONUÇ VE DEĞERLENDİRMELER

Ankara ili, Güdül ilçesi yerleşim alanındaki yapılarda çatlakların oluşması üzerine bu çalışma yapılmıştır. Güdül ve çevresindeki ince taneli zeminlerde 19 adet araştırma amaçlı sondaj kuyusu açılmıştır. 21 adet SPT örneği ile 30 adet bozulmamış örnek üzerinde indeks deneyleri ve şişme deneyleri yapılmıştır.

Plastisite abağında zemin örneklerinin %59'u düşük plastisiteli kil (CL)- düşük plastisiteli silt (ML) veya düşük plastisiteli organik malzeme (OL) olduğu görülmektedir. Zemin örneklerinin % 41'i ise yüksek plastisiteli kil (CH)-yüksek plastisiteli organik malzeme (OH) veya yüksek plastisiteli silt (MH) olarak belirlenmiştir.

Likit limit, plastisite indeksi, kil içeriği, aktivite ve 200 nolu elekten geçen ince taneli miktarına göre yapılan şişme potansiyeli sınıflandırmalarına göre Güdül ve çevresine ait zemin örneklerinin şişme potansiyeli “orta-yüksek-çok yüksek” olarak belirlenmiştir. Ortalama likit limit değeri (% 47.97), ortalama ince tane oranı (% 80,55) ve ortalama SPT darbe sayısı (N_{60}) (34) değerlerine göre aynı zeminlerin şişme derecesi “yüksek” olarak tanımlanmıştır.

Güdül zemin örneklerinin % 33.33’ü su ile temas durumunda, %5-%25 aralığında hacim artışı göstermekte ve örneklerin % 64.71’i, 50-111.29 kPa (≈ 1.14 kgf/cm²) aralığında şişme basıncı oluşturmaktadır.

Yapılan deney sonuçlarının aritmetik ortalamaları değerleri esas alınarak, Güdül ve çevresinin aktivite, şişme potansiyeli ve şişme basıncı haritaları oluşturulmuştur. Aktivite haritasına göre Emirler Mahallesi civarında 0.5 civarında olan aktivitenin, Emirler Mahallesinden 5 km kuzeydeki Yeni Mahalle’de 1.4 değerlerine ulaştığı görülmektedir. Aynı şekilde Emirler Mahallesi civarında şişme basıncı yüzdesi % 1.5 iken Yeni Mahalle civarında % 6’ya yükselmektedir. Benzer şekilde, şişme basıncı ise Emirler Mahallesi civarında 25 kPa iken Yeni Mahalle civarında 65 kPa’a kadar yükselmektedir. 17 nolu sondaj kuyusunun bulunduğu lokasyon civarında da şişme yüzdesi ve şişme basıncı değerlerinde yükseliş görülmektedir. Aktivite, şişme yüzdesi ve şişme basıncı değerlerinin yüksekliği, Güdül ve çevresi killi zeminlerinin su ile teması durumunda 1-3 katlı yapılar için yapısal deformasyon riski ihtimalini işaret etmektedir.

Şişme basıncının oluşturacağı sorunları önleme amacıyla çok katlı yapı önerilmesi farklı sorunlara yol açabilecektir (deprem hasar artırma, oturma vb). Bu nedenle az katlı

yapı tercih edilmesi gerekirken diğer taraftan, şişme basıncı etkisinin önlenmesi için yapıların temeline, yakın çevrede bulunan andezit kaya kütesinden alınacak parçalardan oluşturulacak granüler malzeme yerleştirilerek yapı temelinde ağırlık oluşturulması şişme kaynaklı riskleri önleyecektir.

Yapı temellerinin oluşturacağı hasar riskini azaltmak için, temeli oluşturan zemin içerisindeki su oranını azaltmak da uygulanır yöntemlerden birisidir. Temel zeminini sönmemiş kireçle veya çimento ile harmanlanması sonucu temel zeminin şişmesinden kaynaklı riskin önüne geçilebilmektedir. Bu amaçla temeli oluşturan ince taneli birimlerin içine kireç katılması suretiyle şişme potansiyeli deneyleri yapılır. Bu deneyler şişme potansiyeli riskinin olmadığı karışımı tespit edinceye kadar tekrarlanmalıdır. Bu karışım oranı, temelin duraylılığının artırılmasında kullanılmalıdır. Genellikle ağırlığı %3-%8 oranında kireç karışımı temel altındaki 10-50 cm lik seviyenin şişme riski ortadan kaldırılabilmektedir (Demir ve Kılıç, 2010).

Bu çalışma bölgesel ölçekte yapılmıştır. Parsel bazında temel araştırmaları için şişme yüzdesi ve şişme basıncı riskini belirlemeye yönelik ayrıntılı araştırmalar yapılmalıdır.

KATKI BELİRTME

Bu çalışmada, Ankara Büyükşehir Belediyesi Yerbilimleri şefliği jeoloji mühendisleri Selma Gökçelik, Osman Yücel Şahin, Esengül Demir Aydın’a arazi çalışmalarındaki katkılarından dolayı teşekkür ederiz. Yazarlar ayrıca sondaj ve laboratuvar deneylerini yapan 4M Jeoloji Harita İnşaat Ltd Şti’ ve makalenin Türkçe yazım hatalarının düzeltilmesini yapan Jeoloji Mühendisi Dündar Çağlan’a teşekkür eder.

KAYNAKLAR

- Abduljawad, S.N., 1993. Study on the performance of calcareous expansive clay. *Bulletin of the Association of Engineering Geologists*, 30 (4), 481–498.
- Abduljawad, S.N., Al-Suleimani, G.J., 1997. Determination of swell potential of Al-Qalif clay. *Geotechnical Testing Journal of ASTM*, 16 (4), 469–484.
- Al-Rawas, A.A., 1999. The factors controlling the expansive nature of the soils and rocks of northern Oman. *Engineering Geology*, 53, 327–350.
- ASTM D2487, 2018. Standard practice for classification of soils for engineering purposes (unified soil classification system). ASTM International, West Conshohocken, PA. www.astm.org.
- ASTM D2488, 2018. Standard practice for description and classification of soils (visual-manual procedure). ASTM International, West Conshohocken, www.astm.org.
- ASTM D7263, 2018. Standard test methods for laboratory determination of density (unit weight) of soil specimens. ASTM International, West Conshohocken, PA. www.astm.org.
- ASTM D2216, 2008. Standard test methods for laboratory determination of water (moisture) content of soil and rock by mass. ASTM International, West Conshohocken, PA. www.astm.org.
- ASTM D1586, 2018. Standard test method for standard penetration test (SPT) and split-barrel sampling of soils. ASTM International, West Conshohocken, PA. www.astm.org.
- ASTM D4546, 2008. Standard test method for one-dimensional swell or settlement percent of cohesive soils. *Annual Book of ASTM Standards*. www.astm.org.
- ASTM D421, 2008. Standard test method for particle size analysis of soils. *Annual Book of ASTM Standards*. ASTM International, West Conshohocken, PA. www.astm.org.
- ASTM D422, 2008. Standard test method for particle size analysis of soils. *Annual Book of ASTM Standards*. ASTM International, West Conshohocken, PA. www.astm.org.
- ASTM D4318, 2018. Standard test method for liquid limit, plastic limit and plasticity index of soils, *Annual Book of ASTM Standards*. West Conshohocken, PA. www.astm.org.
- Basma, A.A., Al-Hamoud, A.S., Husein, A., 1995. Laboratory assessment of swelling pressure of expansive soils. *Applied Clay Science*, 9, 355–368.
- Birand, A.A., 1963. Study of the characteristics of Ankara Claysshowing swelling properties. MSc Thesis, Department of Civil Engineering, Middle East Technical University, Ankara, Turkey.
- Bonner, C., Shakoor, A., 1998. Predicting the swelling potential of a bentonitic clay from initial water content and dry density values. *Proceedings of the 8th International IAEG Congress, Vancouver, Canada, vol. I, pp. 925–935*.
- Bowles, J.E., 1988. *Foundation Analysis and Design*. 4th Edition. Mc. Graw-Hill International Editions.
- Chen, F.H., 1975. *Foundations on Expansive Soils*, Elsevier, Amsterdam, The Netherlands.
- Chen, F.H., 1988. *Foundation Expansive Soils*, 2nd ed. New York, Elsevier Scientific Pub. Co., 280p.
- CMC (China Ministry of Construction), 2004. *Specifications for the Design of Highway Subgrades*. JTG D 30, Beijing, Renmin Communication Press.
- Çokça, 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, p. 246.
- Dakshanamurthy, V., Raman, V., 1973. A simple method of identifying an expansive soil. *Soils and foundations*. Japanese Society of Soil Mechanics and Foundation Engineering, 13 (1), 97–104.

- Demir, S., Kılıç, M., 2010. Şişen zeminlerin tanımlanması ve iyileştirme yöntemleri. GOÜ. Ziraat Fakültesi Dergisi, 27(1), 95-104.
- Doruk, M., 1968. Swelling properties of clays on the METU Campus. MSc Thesis, Department of Civil Engineering, Middle East Technical University, Ankara, Turkey.
- Du, Y., Li, S., Hayashi, S., 1999. Swelling–shrinkage properties and soil improvement of compacted expansive soil, Ning-Liang Highway, China. *Engineering Geology*, 53, 351–358.
- El-Sohby, M.A., El-Sayed, A.R., 1981. Some factors affecting swelling of clayey soils. *Geotechnical Engineering*, 12, 19–39.
- Ergüler, Z.A., Ulusay, R., 2003. A simple test and predictive models for assessing swelling potential of Ankara (Turkey). *Engineering Geology*, 76, 331–352.
- Furtun, U., 1989. An investigation on Ankara soils with regard to swelling. MSc Thesis, Department of Civil Engineering, Middle East Technical University, Ankara, Turkey.
- Gill, W.R., Reaves, C.A., 1957. Relationships of Atterberg limits and cation-exchange capacity to some physical properties of soil. *Soil Science Society American Proceedings*, 21, 491–494.
- Holtz, W.G., 1959. Expansive clays-properties and problems. *Quarterly of the Colorado School of Mines*, 54 (4), 89-125.
- Holtz, W.G., 1969. Volume Change in Expansive Clay Soils and Control by Lime Treatment. *Proceedings of the Second International Research and Engineering Conference on Expansive Soils*, Texas A & M Press.
- Holtz, W.G., Gibbs, H. J., 1956. Engineering properties of expansive clays. *ASCE Transactions*, 121, 641-663.
- Kasapoğlu, K.E., 2000. Ankara Kenti Zeminlerinin Jeoteknik Özellikleri ve Depremselliği. TMMOB Jeoloji Mühendisleri Odası Yayını, Ankara, 180s.
- Kılıç, R., Küçükali, Ö., Ulaşım, K., 2015. Stabilization of high plasticity clay with lime and gypsum (Ankara, Turkey). *Bulletin of Engineering Geology Environment*, 75, 735–744, doi 10.1007/s10064-015-0757-2.
- Kılıç, R., Ulaşım, K., Atalar, C., 2006. Engineering geology assesment of the Quaternary alluvium and Pliocene deposits at Northern Ankara (Kazan-Ankara, TURKEY), *Engineering Geology for tomorrow cities. The 10th IAEG Congress, Nottingham, United Kingdom. In Engineering Geology Special Publication. The Geological Society of London.*
- Kılıç, R., Demirtaş E., 1989. Sincan (Ankara) Kepir gölü civarı Üst Pliyosen çökellerinin jeoteknik özellikleri. *H.Ü. Yerbilimleri Bülteni*, 15, 123-128.
- Kılıç, R., 1990. Zemin bileşimi ile kayma dayanımı arasındaki ilişki: Üst Pliyosen çökelleri (Ankara). *Jeoloji Mühendisliği*, 36, 47-54.
- Kiper O.B., 1983. Geoengineering properties and consolidation characteristics of Upper Pliocene deposits around Etimesgut-Batıkent, PhD Thesis, Hacettepe University, Ankara, 160p.
- Li, S., Du, Y., 1997. On the swelling – shrinkage properties and mechanisms of compacted expansive soil. *Proceeding of the 30th International Geological Congress, China*, 23, 253–259.
- MGM., 2019. Meteoroloji Genel Müdürlüğü: <https://mgm.gov.tr/eng/forecast-Cities.aspx>.
- Mitchell, J.K., 1975. *Fundamentals of Soil Behaviour*. Wiley, Newyork, p 422.
- Mohan, D.,Goel, R.K., 1959. Swelling pressures and volume expansions on Indian black cotton soils. *Journal of the Institute of Engineers (India)*, Vol. XL, No. 2, pt 1, 58–62.
- Murray, H.H., 2007. *Applied Clay Mineralogy*. Netherlands: Elsevier.
- Nelson, J.D., Miller, D.J., 1992. *Expansive soils problems and practice in foundation and pavement engineering*. John Wiley & Sons, Inc. New York.
- Parker, J.C., Amos, D.F., Kaster, D.L., 1977. An evaluation of several methods of estimating soil volume change. *Soil Science Society of America Journal*, 41, 1059–1064.

- Pusch, R., Yong, R.N., 2006. Microstructure of Smectite Clays and Engineering Performance. Taylor & Francis.
- Skempton, A.W., 1953. The colloidal activity of clays. In: 3rd International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering, Switzerland 1: 57.
- Skempton, A.W., 1986. Standard penetration test procedures and the effects in sands of overburden pressure, relative density, particle size, aging and over consolidation. *Geotechnique*, 36(3), 425–447.
- Seed, H.B., Woodward, R.J., Lungreen, R., 1962. Predicting of swelling potential of compacted clay. *Journal of Soil Mechanics and Foundation Division ASCE*, 88 (3), 53-87.
- Terzaghi, K., Peck, R.B., 1967. *Soil Mechanics in Engineering Practice*, John Wiley&Sons, NewYork, pp 729.
- Toksöz, D., Yılmaz, I., 2019. A fuzzy prediction approach for swell potential of soils. *Arabian Journal of Geosciences*, 12, 728.
- Türkecan, A., Dinçe, A., Akbaş, B., Saraç, G., Ünay, E., Akay, E., İskender, Pi., Özgür, B., Sevin, M., Hepşen, N., Karataş, S., Bedi, Yİ., 1991. Seben - Gerede (Bolu) - Güdül - Beypazarı (Ankara) ve Çerkeş - Orta - Kurşunlu (Çankırı) Yörelerinin (K öroğlu Dağları) Jeolojisi ve Volkanik Kayaçların Petrolojisi. MTA Rapor No: 9193, Ankara.
- Türköz, M., 2019. Computer-controlled equipment for the direct measurement of the swell potential of expansive soils. *Arabian Journal of Geosciences*, 12:743 <https://doi.org/10.1007/s12517-019-4987-7>.
- Omay, B., 1970. Swelling clays on METU Campus. MSc Thesis, Department of Civil Engineering, Middle East Technical University, Ankara, Turkey.
- O'neill, M.W., Poormoayed, N., 1980. Methodology for foundations on expansive clays. *Journal of the Geotechnical Engineering Division, American Society of Civil Engineers*, Vol. 106, No. GT12, pp. 1345 –1367.
- Ordemir. I., Alyanak, I., Birand, A.A., 1965. Report on Ankara clay: METU Publication No. 12, Ankara, Turkey, 30 p.
- Ulamış, K., Kılıç, R., 2012. Liquefaction potential of the Quaternary alluvium Western Ankara (Turkey). *Environmental Earth Sciences*, 67, 945-958.
- Uner, A.K., 1977. A comparison of engineering properties of two soil types in the Ankara region: M.Sc. Thesis, Department of Civil Engineering, Middle East Technical University, Ankara, Turkey, 112 p.
- Van Der Merwe, D. H., 1964. The prediction of heave from the plasticity index and the percentage clay fraction. *The Civil Engineer (South African Institution Civil Engineers)*, 6, 103-107.
- Wayne, A.C, Osman, M.A, Elfatih, M.A.,1984. Construction on expansive soils in Sudan, *Journal of Construction Engineering and Management, ASCE*, 110 (3), 359-379.
- White, W.A., 1949. Atterberg plastic limits of clay minerals. *American Mineralogist*, 34, 508-512.
- Yılmaz, I., 2006. Indirect estimation of the swelling percent and a new classification of soils depending on liquid limit and cation exchange capacity. *Engineering Geology*, 85, 295–301.