

## Lefkoşa surlarıçi zeminlerinin özellikleri

Cavit ATALAR<sup>\*1</sup>, Braja M. DAS<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Yakın Doğu Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Lefkoşa, KKTC

<sup>2</sup>Dean Emeritus, California State University, Sacramento, Henderson, Nevada, U.S.A

### Özet

Kıbrıs zeminlerinin büyük bir bölümünü şişen killeri, alüvyonlar ve evaporitik kayalar oluşturur. Kuzey Kıbrıs Türk Cumhuriyeti hemen hemen tamamıyla killi formasyonlar ve alüvyonlar ile kaplıdır. Kıbrıs killeri Trodos ofiyolitinin ayrışması ve Kretase sonrası pelajik tortul olarak oluşmuşlardır. Kuzey Kıbrıs (Girne) zonundaki kireçtaşı ve dolomitler ile Güney Kıbrıs zonundaki tebeşirlerin killerin oluşumunda kaynak olması ve biojenik oluşum, killi formasyonların yüksek oranda montmorillonit (smektit) ve kalsiyum karbonat içermelerini sağlamıştır. Mesarya zonu ve Değirmenlik grubunda bulunan aşırı konsolide killi zeminlerin kurak yarı-kurak akdeniz iklimine bağlı olarak su içeriğinin artması ile şişmesi ve azalması ile büzülmesi sonucu yapılarda hasarlar oluşmaktadır. Düşük taşıma kapasiteli alüvyonlar çok yaygın olarak Mesarya ovasında, Lefkoşa, GaziMağusa ile doğu ve batı kıyılarda gözlenir. Alüvyonlar üzerine inşa edilen tarihi yapılarda oturmalarından veya göçmelerden büyük hasarlara rastlanmaktadır. Son on yıl içerisinde yapılarda meydana gelen hasarları önlemek ve tarihi binaların restorasyonu için Kuzey ve Güney Lefkoşa'da geoteknik incelemeler yapılmıştır. UD, SPT ve karot sondaj örnekleri alınarak laboratuvarında elek analizleri, doğal su içeriği, birim ağırlık, özgül ağırlık, Atterberg limitleri ve kalsiyum karbonat (CaCO<sub>3</sub>) miktarlarının belirlenmesi için deneyler yapılmıştır. Elektron mikroskop (SEM), yarı kantitatif (XRD) ve yarı kantitatif (EDX) element analizleri de yapılmıştır. Elde edilen değerler ışığında Lefkoşa surlarıçi zeminlerinin dolgu, alüvyon, Lefkoşa killeri, Mermertepe formasyonu ve Değirmenlik grubundan oluştuğu belirlenmiştir. Dolgu ve alüvyon zeminlerin 7.20 m ile 22.00 m arasında olduğu su seviyesinin 4.90 m ile 10.00 m arasında olduğu ve su seviyesinin Lefkoşa killeri üzerinde olduğundan şişme ve büzelme meydana gelmediği tesbit edilmiştir. Lefkoşa surlarıçi zeminlerinin özellikleri sunulmaktadır.

**Anahtar Kelimeler:** Atterberg limitleri, montmorillonit, kalsiyum karbonat, Lefkoşa killeri.

\*Yazışmaların yapılacağı yazar: Cavit ATALAR catalar@neu.edu.tr; Tel: (392) 223 64 64.

Makale metni 04.09.2010 tarihinde dergiye ulaşmış, 04.10.2011 tarihinde basım kararı alınmıştır. Makale ile ilgili tartışmalar 29.02.2012 tarihine kadar dergiye gönderilmelidir.

Bu makaleye "Atalar, C., Das, B.M., (2011) 'Lefkoşa surlarıçi zeminlerinin özellikleri', İTÜ Dergisi/D Mühendislik, 10: 4, 70-80" şeklinde atıf yapabilirsiniz.

## Properties of Nicosia walled city soils

### Extended abstract

Alluvial soils and overconsolidated clays constitute the most soils of Cyprus. The alluviums show relatively high apparent strength in their dry state. However, with saturation their strength decreases. The clayey parts of the alluviums have low to medium swelling potential.

Overconsolidated swelling clays of Cyprus occurred as a result of the alteration of the Troodos ophiolite and the pelagic sedimentary cycles that followed in the post Cretaceous period. The calcium carbonate content of the clays (marls) originated from the limestones and dolomites of the Kyrenia zone. There is widespread damage to the buildings, major roads and highways all over the country which were founded on swelling clays. Clays of Cyprus can be divided into five groups. 1. Clays of Mamonia Complex, 2. Bentonitic Clays, 3. Clays of Kythrea Group, 4. Mesaoria clay zone and 5. Alluvial clays.

Large parts of Nicosia is covered by man made fills, alluvial soils and swelling clays. Swelling clay problems occur continuously every year due to the soil expanding in the winter and shrinking in the summer. Nicosia is almost flat lying at about 110 - 160m above the mean sea level and is located between the Kyrenia and Troodos ranges. Several streams are flowing from south and north.

The soils of Nicosia are; Man made fills, Alluviums, Mesaria Clay Zone, Kalavassos Formation and Kythrea Group. The Kythrea group is widespread in the north of Nicosia. Alternation of sandstone-siltstone-marl-claystone are widespread within the group. The group is only observed in the Turkish Republic of Northern Cyprus and its overconsolidated clays exhibits low to high swelling potential. Mesaria Clay Zone is widespread in the south of Nicosia and consists of gravel-sand-claystones. Overconsolidated Nicosia clays exhibits low to very high swelling potential. Nicosia is covered by extensive alluvial deposits of up to a thickness of 22 m.

SPT, UD, and core samples taken from the boreholes are tested in the laboratory for mechanical (grading) analysis, moisture content, unit weight, specific gravity, Atterberg limits, and  $\text{CaCO}_3$  content. X-ray diffraction (XRD), Scanning Electron

microprobe (SEM) and Energy Dispersive X-Ray (EDX) analysis are also conducted.

The properties of Nicosia walled city soils are determined by boreholes drilled in five different locations between 2001 and 2007. The soils are man made fills, alluviums, Nicosia clays, Kalavassos Formation and Kythrea group. Man made fills and alluviums are present from the surface to between 7.20 m and 22.00 m depth. The water table is between 4.90 m and 10.00 m. There is no swelling and shrinkage within the walled city. The highest liquid limit (LL) values of the analyzed samples are present in yellowish to light grey weathered, oxidized Nicosia clay (marl). Clay and montmorillonite contents are increasing within these samples.  $\text{CaCO}_3$  contents are higher in the light coloured samples. The Liquid limit (LL) values are decreasing with the increasing amount of  $\text{CaCO}_3$ . The lowest SPT N values are present in the fine grained alluvium deposits. The SPT N values of Nicosia clays (marls) are between 33 and 75.

The semi quantitative X-ray diffraction (XRD), Scanning Electron microprobe (SEM) and Energy Dispersive X-Ray (EDX) analyses indicated that the predominant clay mineral is montmorillonite (smectite), illite and chlorite or kaolinite are the other abundant clay minerals. Calcite is the major mineral of the clays (marls), quartz and feldspar are also present at high amounts. Montmorillonite (smectite) with an amount ranging between 10 and 30%. illite and chlorite or kaolinite with an amount ranging between 5 and 10%. Calcite with an amount ranging between 30 and 65% is the major mineral of the alluviums and Nicosia clays (marls). The other minerals are quartz ranging between 2 and 6%, feldspar ranging between 4 and 15 %, and dolomite ranging between 2 and 9%.

EDX analysis for the Nicosia clays indicated that Si, Al, K and Mg peaks are together. Therefore predominant clay minerals are montmorillonite (smectite) and illite. The high amount of  $\text{Fe} \geq 10\%$  it could be the result of the ophiolitic Fe minerals. Despite the overconsolidation character the soils have high porosity.

**Keywords:** Atterberg limits, montmorillonite, calcium carbonate, Nicosia clays.

## **Giriş**

Venedikliler 1567 yılında Lefkoşayı Türklere karşı müdafaa etmek için eski geniş Lüzinyan surlarının yerine, Bedesten'in hemen hemen merkez olduğu ve 3 mil çevresi olan dairesel Lefkoşa surlarını inşa etmişlerdir. Yabancı ülkelerin ve kuruluşların mali desteği ile Kıbrıslı Rumlar 1982 yılından itibaren büyük yerleşim yerlerinin 1:10 000 ve 1:25 000 ölçekli geoteknik haritalarını yapmıştır. Güney Lefkoşa'nın 1:25 000 ölçekli geoteknik haritası 1982 yılında tamamlanmıştır (GSD, 1982). KKTC'de 1974 yılından itibaren Türkiye'nin finanse ettiği baraj ve yol projelerinde geoteknik çalışmalar yapılmıştır.

2000 yılından itibaren Birleşmiş Milletlerin Kıbrıs'ta finanse ettiği iki toplumlu projeler çerçevesinde KKTC'de Deprem ve Şişen Killer projeleri yapılmıştır. 2001-2002 yılları arasında "Şişen Killer: Kıbrıs Yapıları için Sürekli Tehdit" projeleri çalışmaları kapsamında Kıbrıslı Türkler tarafından Kuzey Lefkoşa ve Kıbrıslı Rumlar tarafından Güney Lefkoşa'da geoteknik incelemeler yapılmıştır. Kıbrıs kurak yarı-kurak akdeniz iklimine sahiptir. Yazları sıcak-çok sıcak ve kuru, kışları ılıman ve az yağışlıdır. Konsolide ve aşırı konsolide sert killi zeminler, su içeriği değişimine ve üzerlerine inşa edilen yüklerin küçüklüğüne bağlı olarak bir yıllık devre içerisinde kabarma ve oturmaya neden olmakta ve yapılarda hasarlara neden olmaktadır (Atalar, 2002) (Şekil 1).



*Şekil 1. Lefkoşa'da şişen kil hasarları*

2000-2003 yılları arasında "Lefkoşa için sismik tehlike ve risk değerlendirme" projesi kapsamında Amerikalı uzmanlarla birlikte Kıbrıslı-Türkler tarafından Kuzey Lefkoşa ve Kıbrıslı Rumlar tarafından Güney Lefkoşa'da geoteknik incelemeler yapılmıştır (DeCoster vd., 2004). Son bir kaç yıl içerisinde Birleşmiş Milletler ve Avrupa Birliğininin tarihi binaların restorasyonu için finanse ettiği projeler için yapılan zemin incelemeleri ile de önemli bilgiler elde edilmiştir (Atalar, 2004; Atalar, 2007).

Lefkoşa'nın etrafında bulunan killi zeminler üzerinde meydana gelen hasarlar dolayısıyla yapılaşmadan kaçınılmıştır. Surlar alüvyonların olduğu kısımda inşa edilmiştir. Alüvyonlar üzerine inşa edilen tarihi yapılarda da hasarlara rastlanmaktadır (Şekil 2 ve Şekil 3).



*Şekil 2. Bedesten hasarları*



*Şekil 3. Ermeni Kilisesi hasarları*

## Kıbrıs zeminleri

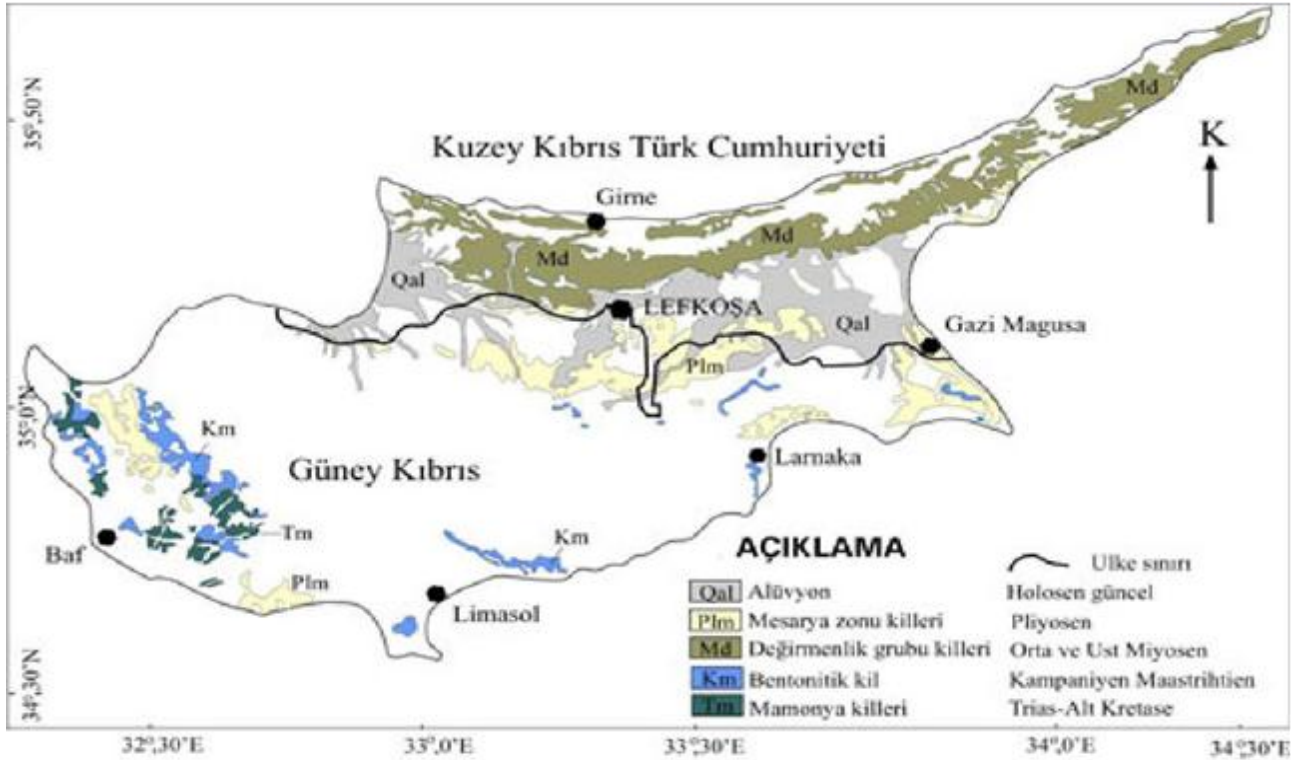
Kıbrıs zeminlerinin büyük bir bölümünü şişen killer, alüvyonlar ve evaporitik kayalar oluşturur. Trodos ofiyoliti Kıbrıs killерinin en önemli kaynağını oluşturur. Trodos ofiyolitinin bazik ve ultra bazik kayaların yastık lavlarının oluşmasından sonra meydana gelen hidrotermal solüsyonun ayrışması neticesinde bentonitler oluşmuştur. Kıbrıs killерinin oluşumu, Trodos ofiyolitinin ayrışması ile başlamış ve Kretase sonrası pelajik tortul olarak devam ederek günümüze kadar gelmiştir. Kuzey Kıbrıs kireçtaşları ve dolomitleri ile Güney Kıbrıs tebeşirlerinin killерin oluşumunda kaynak olması ve biogenik oluşum, kiltaşlarının (marınların) kalsiyum karbonat içermelerini sağlamıştır (Constantinou vd., 2002). Kıbrıs zeminlerini beş ana guruba ayırabiliriz. 1. Bentonitik zeminler, 2. Mamonya Kompleksi zeminleri, 3. Değirmenlik grubu zeminleri, 4. Mesarya zonu zeminleri ve 5. Alüvyon zeminler (Şekil 4). Kıbrıs zeminlerinin liki limit ve şişme potansiyelleri Tablo 1 gösterilmiştir.

Tablo 1. Kıbrıs zeminlerinin şişme potansiyeli

Zeminler	Likit Limit	Şişme Potansiyeli
Alüvyonlar	25 - 115	Düşük - Çok Yüksek
Lefkoşa	38 - 119	Orta - Çok Yüksek
Değirmenlik	25 - 73	Düşük - Yüksek
Bentonitik	55 - 210	Yüksek - Çok Yüksek
Mamonya	33 - 167	Orta - Çok Yüksek

## Bentonitik zeminler

Trodos ofiyoliti içerisindeki yastık lavların ayrışması neticesinde ilk olarak bentonitik killер oluşmuştur. Bafta ve daha az yaygın olarak güneyde Limasol yakınlarında Moni'de ve doğuda Gazi Mağusa'nın güneyinde Paralimni de bulunur. KKTC sınırları içerisinde sadece Güney Kıbrıs sınırına yakın Yiğitler köyünde gözlenir. Bentonitik killер %35 oranından fazla kalsiyum montmorillonit minerali içerir. Yüksek şişme potansiyelli potasyum montmorillonit içermezler. Buna rağmen Bentonitik killер, en yüksek şişme potansiyeli gösteren killерdir (Constantinou vd., 2002).



Şekil 4. Kıbrıs zeminlerinin dağılımı (GSD, 1995 ile Atalar ve Das, 2005)

### Mamonya Kompleksi zeminleri

Adanın güney batısında Baf kasabası yakınında gözlenen, Orta Triyas-Üst Kretase yaşlı killerdir. Orta ile çok yüksek şişme potansiyeli gösteren bu kompleks içerisinde genellikle heyelanlar oluşmaktadır.

### Değirmenlik Grubu zeminleri

Değirmenlik grubu sadece KKTC sınırları içerisinde gözlenir ve Beşparmak sıradağlarının kuzey ve güney yamaçlarını doğudan batıya tamamıyla kaplar. Değirmenlik grubu formasyonları içerisinde bulunan onlarca metreye ulaşan kalsiyum karbonatlı kiltaşları (marn) değişik şişme potansiyeli gösterir (Atalar vd., 2006).

### Mesarya Zonu zeminleri

Adanın ortasında doğudan batıya doğru bir kuşak gibi ve güneybatı ile batısında, yüksek ve çok yüksek şişme potansiyeli gösteren killer Pliyosen-erken Kuvaterner yaşlı Mesarya zonu içerisinde bulunur. Lefkoşa, GaziMağusa, Larnaka ve Poli gibi büyük yerleşim yerlerinde gözlenir. Lefkoşa'nın ve GaziMağusa'nın güney kısımlarını tamamıyla kaplar. Çamlıbel'de devamlı olarak küçük heyelanlara neden olmaktadır (Atalar ve Das, 2004). Mesarya zonu genellikle kalsiyum karbonat miktarı yüksek kiltaş (marn) ve kalkarenitlerden oluşur. İçerisinde çakıl, kireçtaşı ve konglomeralar da bulunur. Marnlar yüksek oranda montmorillonit (smektit) ve daha düşük oranda illit ve kaolin kil mineralleri içerir. Apalos ve Gürpınar formasyonlarının bazı seviyeleri de kil içerir.

### Alüvyon zeminler

Kıbrıs'ın en genç zeminleridir. Çakıl, kum, silt ve killerden oluşan alüvyonlar Mesarya ovasında, genellikle Lefkoşa, GaziMağusa ile doğu ve batı kıyılarda çok yaygındır.

### Diğer Zeminler

Jipsler, doğuda GaziMağusa boğazının kuzeyinden batıda Yılmazköy batısına kadar bir kuşak halinde uzanır. Lefke ve Gemikonağında maden artıkları ile kaplı zeminler vardır (Atalar ve Das, 2005).

### Lefkoşa Zeminleri

Surlar içi ve surların etrafı genellikle dolgu ve alüvyonlarla kaplıdır. Düşük taşıma kapasitesine

sahip alüvyonlar güneydoğu ile güneybatıda Kanlıdere yatağında ve kuzeydoğuda eski Kanlıdere yatağında bulunur. Lefkoşa'nın doğusu ve batısı aşırı konsolide killi zeminlerle kaplıdır. Şehrin güneydoğu ve güneybatısında geniş alanlar çimentolanmamış çakıllarla kaplıdır. Yüksek taşıma kapasiteli kalkarenit, kumtaşı ve kireçtaşı güney ve güneydoğuda yaygındır (Atalar, 2002; GSD, 1982). Lefkoşa zeminleri dolgu, alüvyon zeminleri, Mesarya (Apalos ve Lefkoşa) grubu ve Değirmenlik grubu olarak ayrılır (Tablo 2).

Tablo 2. Lefkoşa zeminlerinin Likid limit ve SPT N değerleri

Zemin Tipi	Likit Limit	SPT N
Dolgu	35 - 44	13 - R
Alüvyon	25 - 115	2 - R
Apalos	52 - 113	68 - R
Atalasa	42 - 108	55 - R
Lefkoşa (Nicosia)	38 - 119	21 - 75
Yazılıtepe (Lapatza)	35 - 73	69 - R
Değirmenlik (Kythrea)	25 - 73	R

### Değirmenlik Grubu

Kalınlığının 3,000 m dolayında olduğu tahmin edilmektedir. Kuzey Lefkoşa'nın tamamıyla kaplar. Genellikle türbiditik karakterde kumtaşı-silttaş-kiltaşlarından oluşan formasyonlar içerir (Şekil 5). Düşük ile yüksek şişme potansiyeli gösterir (Atalar, 2010; Atalar ve Das 2009; Petrides vd., 2004).



Şekil 5. Değirmenlik grubu

### Mesarya Grubu

Genellikle Güney Lefkoşa da yayılım gösterir. 900 m varan bir kalınlığı vardır. Atalassa üyesi çakıl-kum ve kum-kalkarenit (Lefkoşa kumtaşı) (Şekil 6), Kephales üyesi çakıl-kum, Lefkoşa

veya Çamlıbel üyesi kalsiyum karbonatlı kiltası (marn) (Şekil 7) ve taban konglomera üyesi çakıl-kum'dan oluşur. Kuzey Lefkoşa sondajlarında da Lefkoşa kiltasına rastlanmıştır. Mesarya grubunun bütün üyeleri genelde orta ile çok yüksek şişme potansiyeli gösterirler (Atalar, 2011). Bazı kaynaklarda Mesarya grubunu Lefkoşa kiltaları olarak da göstermektedirler. Mesarya grubunun Apalos, Atalasa ve Lefkoşa killlerinde benzer likit limit değerlerine rastlanmıştır.



Şekil 6. Lefkoşa kumtaşı formasyonu



Şekil 7. Lefkoşa(Çamlıbel) kiltası formasyonu

### Apalos Formasyonu

Lefkoşanın güney ve güney batısında yayılım gösterir. Genellikle çakıl, kum, silt ve killerden oluşur. İnce daneli kısımları ayrışma dolayısıyla kırmızı renklidir. Yüksek ile çok yüksek şişme potansiyeli gösterir.

### Alüvyon zeminler

Birkaç derenin birleşme noktası olmasından ve az eğimli olmasından dolayı Lefkoşa'nın büyük kısmı 22 metreye varan kalınlıkta alüvyonlarla kaplıdır. İnce daneli alüvyonlar yüksek oranda smektit içerir. Genelde iri ve ince daneli zeminler birlikte bulunur. Bazı hallerde sadece çakıllı kısımları (Şekil 8) daha sık ise kumlu kısımlar (Şekil 9) olarak bulunur. Koyu renkli alüvyonlar %15 ile %22, açık renkliler ise %27 ile %40 arasında  $\text{CaCO}_3$  içerir (Atalar 2008; Atalar ve Das 2008). En düşük SPT değerleri ince daneli alüvyon zeminlerde bulunmuştur.



Şekil 8. Çakıllı alüvyonlar



Şekil 9. Kumlu alüvyonlar

Tablo 3. Lefkoşa surlariçi zeminlerinin Likit limit ve SPT N değerleri

Zemin Tipi	Likit Limit	SPT N
Dolgu	35 - 44	13 - R
Alüvyon	32 - 48	6 - R
Lefkoşa (Nicosia)	38 - 92	33 - 75
Değirmenlik (Kythrea)	35 - 72	

Tablo 4. Sondaj kazı derinlikleri ve su seviyesi

Bedesten Sondajları	
Derinlik (m)	
0.00 – 2.50	Dolgu
2.50 – 10.00	Alüvyon
10.00 – 16.00	Lefkoşa Formasyonu

Ermeni Kilisesi Sondajları	
Derinlik (m)	
0.00 – 3.00	Dolgu
3.00 – 10.75	Alüvyon
10.75 – 18.00	Lefkoşa Formasyonu

EPW 1	
Derinlik (m)	
0.00 – 4.50	Dolgu
4.50 – 22.00	Alüvyon
22.00- 58.00	Lefkoşa Formasyonu
58.00 – 74.50	Mermertepe Formasyonu
74.50 – 100.00	Değirmenlik Grubu

SHN 10	
Derinlik (m)	
0.00 – 7.00	Dolgu
7.00 – 13.20	Alüvyon
13.20 – 55.00	Lefkoşa Formasyonu
55.00 – 100.50	Değirmenlik Grubu

SHN 11	
Derinlik (m)	
0.00 – 5.00	Dolgu
5.00 – 7.20	Alüvyon
7.20 – 103.00	Lefkoşa Formasyonu

B Sondajı	
Derinlik (m)	
0.00 – 4.00	Dolgu
4.00 – 13.50	Alüvyon
13.50 – 54.00	Lefkoşa Formasyonu
54.00 – 96.00	Mermertepe Formasyonu
96.00 – 107.00	Değirmenlik Grubu

5/65 Sondajı	
Derinlik (m)	
0.00 - 3.50	Dolgu
3.50 - 12.50	Alüvyon
12.50 - 58.00	Lefkoşa Formasyonu
58.00 - 96.00	Mermertepe Formasyonu
96.00 – 105.00	Değirmenlik Grubu

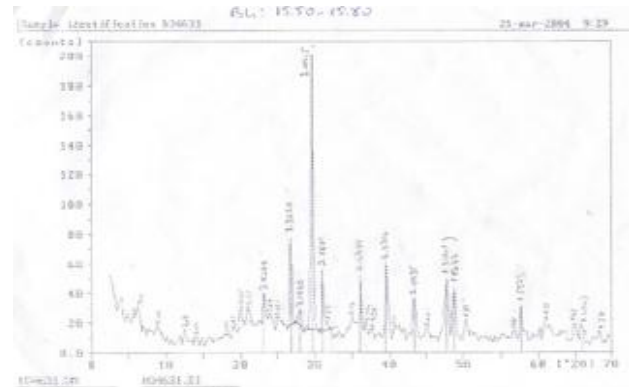
## Laboratuvar analizleri

Kuzey ve Güney Lefkoşa surları içi zeminlerinin özellikleri Tablo 5 ve 6 'de gösterilmiştir. En düşük likit limit (LL) değerleri 32-38 arasında bütün zeminlerde tesbit edilmiştir. En yüksek likit limit (LL) değerleri 87 ve 92 olarak Lefkoşa sarı-gri kiltaşlarında tesbit edilmiştir. Bu iki örnekte aynı zamanda en yüksek su içeriği oranları 32.5 ve 34.1 bulunmuştur. Likit limit (LL) değerlerinin yükselişine bağlı olarak kil, montmorillonit ve su içeriği oranları artmaktadır.

Kalsiyum karbonat ( $\text{CaCO}_3$ ) değerleri açık renkli zeminlerde artmaktadır. Yüksek kalsiyum karbonat ( $\text{CaCO}_3$ ) değerleri bulunan zeminlerde likit limit (LL) değerlerinin daha düşük olduğu görülmüştür. En yüksek kalsiyum karbonat ( $\text{CaCO}_3$ ) değeri 64 olarak tesbit edilen SHN 10 (45.5-45.7) örneği aynı zamanda en yüksek kil değerini de ihtiva ettiği halde likit limit (LL) değerleri 56 olarak belirlenmiştir.

## XRD analizleri

Bedesten incelemelerinde alüvyonların killi kısımlarından iki ve Lefkoşa kiltaşlarından üç olmak üzere toplam beş örneğin XRD analizleri yapılmıştır (Şekil 13). Analizler neticesinde en fazla bulunan mineraller sırasıyla kalsit, kuvars, plajyoklaz, mika, dolomit ile en fazla bulunan kil mineralleri sırasıyla montmorillonit (smektit), klorit veya kaolen grubu ve illittir. Alüvyon ve marnlar, %10 ile %30 arasında montmorillonit (smektit), %5 ile %10 arasında illit ve klorit veya kaolinit kil minerali içerir. %30 ile 65% arasında kalsit, %2 ile 6% arasında kuvars, %4 ile 15 % arasında feldispat, %2 ile %9 arasında dolomit minerali içerir.



Şekil 13. XRD analizi (BD-4, 15.50 – 15.80)

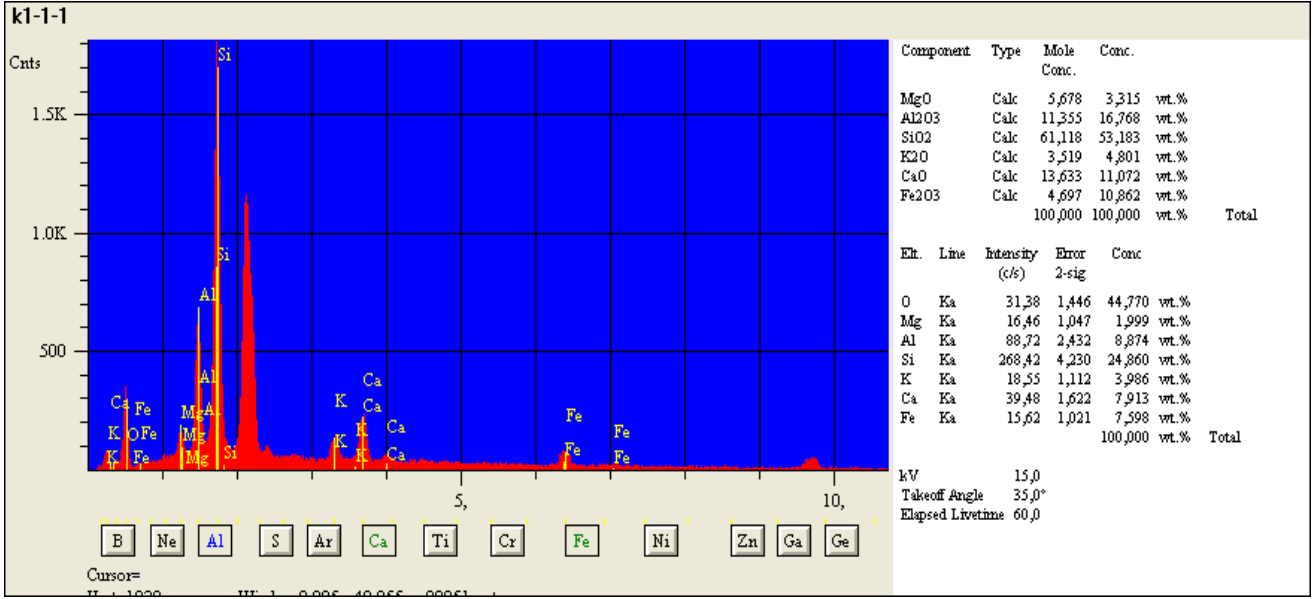
Tablo 5. Kuzey Lefkoşa surlariçi zeminlerinin özellikleri

Sondaj No.	Derinlik (m)	Örnek	W( %)	Elek 75 µm altı	Kil ( %) Montmorillonit (%)	Kıvam Limitleri		CaCO <sub>3</sub>	Zemin sınıfı
			γ (kN/m <sup>3</sup> )			LL	PI		
BD-1	3.7-4.0	Koyu gri kum-silt-kil		83		36	14	15	CL
BD-1	4.3	Açık renkli kum- silt-kil		96		47	19	40	CL
BD-1	7.3-7.5	Gri kum- silt-kil		74		43	18	27	CL
BD-1	10.2-10.4	Beyaz kilaşı (Lefkoşa)		95		58	30	45	CL
BD-1	11.3-11.5	Sarı beyaz kilaşı (Lefkoşa)		97		83	44	46	CH
BD-4	8.8-9.0	Gri kum- silt-kil		72		34	9	19	CL
BD-4	12.4-12.7	Beyaz kilaşı (Lefkoşa)		99	58	59	28	32	CL
BD-4	15.5-15.8	Beyaz kilaşı (Lefkoşa)		99	66	60	35	39	CH
BH-1	14.4-14.5	Gri siltli kilaşı (Lefkoşa)		95	26	73	48		CH
BH-2	10.7-10.8	Gri siltli kilaşı (Lefkoşa)		94	18	64	43		CH
BH-4	4.00-4.50	Gri kum- silt	16.7	73	25	34	15		CL
BH-4	15.4-15.5	Gri siltli kilaşı (Lefkoşa)		98	42	65	36		CH
BH-6	3.0-3.5	Gri kum- silt	17.4	91	25	42	22		CL
BH-6	5.0-5.5	Gri kum- silt	20.0 12.3 19.8	66	21	32	14		CL
BH-6	6.8-7.3	Gri kum- silt	17.4 19.4	82	18	35	17		CL
EPW1	2.5-2.8	Kumlu kil (dolgu)	14.3	74		35	11		CL
EPW1	8.0-8.3	Kahverenkli Kumlu kil	15.8 18.5 20.0	85		47	29		CL
EPW1	24.0-24.3	Sarı killi kum (Lefkoşa)	16.4	57		38	20		CL
EPW1	38	Killi tebeşir (Lefkoşa)	29.2	91		60	37		CH



Tablo 6. Güney Lefkoşa surlariçi zeminlerinin özellikleri

Sondaj No.	Derinlik (m)	Örnek	W( %)		Elekt 75 µm altı	Kil ( %)		Atterberg Limitleri		CaCO <sub>3</sub>	Zemin sınıfı
			γ (kN/m <sup>3</sup> )			Montmorillonit (%)		LL	PI		
SHN-10	5.0-5.2	Gri kum- silt-kil (dolgu)	23 21.4		85	14 13		41	17	26	CL
SHN-10	13.8-14.1	Gri silt-kil (Lefkoşa)	28 19.8		99	50 13		68	39	44	CH
SHN-10	17.5-17.8	Gri silt-kil (Lefkoşa)	30 19.5		99	50 13		66	38	48	CH
SHN-10	27.0-27.3	Gri-açık gri silt-kil (Lefkoşa)			98	48 12		59	36	46	CH
SHN-10	45.5-45.7	Gri-açık gri silt-kil (Lefkoşa)			97	64 11		56	30	64	CH
SHN-10	59.2-59.5	Gri yeşil kıltaşı (Değirmenlik)			97	56 16		70	42	46	CH
SHN-10	66.1-66.4	Gri yeşil silt-kil (Değirmenlik)			99	42 14		56	30	28	CH
SHN-10	81.6-81.8	Gri yeşil silt-kil (Değirmenlik)			99	45 19		72	42	26	CH
SHN-10	82.2-82.4	Gri silt (Değirmenlik)			98	33		35	4		ML
SHN-11	4.2-4.4	Beyaz-haki kum-kil (dolgu)	22.2 21.2		42	11		44	16		SF
SHN-11	7.9-8.2	Sarı ayrıışmış kil (Lefkoşa)	32.5 19.1		98	40 20		87	48	25	CH
SHN-11	11.2-11.4	Sarı-gri ayrıışmış kil (Lefkoşa)	34.1		99	56		92	54		CH
SHN-11	14.6-14.9	Gri kıltaşı (Lefkoşa)	27.9 19.9		99	47 16		82	47	35	CH
SHN-11	19.4-19.7	Gri-koyu gri siltli kil (Lefkoşa)			96	46 19		68	34	23	CH-MH
SHN-11	27.0-27.2	Gri kum-kil (Lefkoşa)			85	30 19		65	34	31	CH
SHN-11	41.0-41.3	Gri kıltaşı ve silt (Lefkoşa)			96	36 16		65	36	25	CH
SHN-11	52.4-52.7	Gri-açık gri kıltaşı ve silt (Lefkoşa)			94	19 15		64	33	63	CH-MH
SHN-11	64.8-65.0	Koyu gri kıltaşı (Lefkoşa)			99	52 20		81	50	23	CH
SHN-11	93.7-94.0	Gri-açık gri siltli kil (Lefkoşa)			99	35 25		66	33	24	CH-MH



Şekil 14. Yarı kantitatif (EDX) element analizleri

## EDX ve Elektron mikroskop (SEM) Analizleri

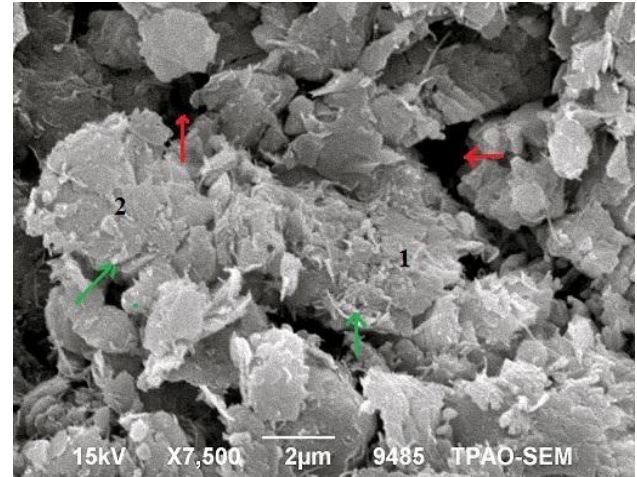
Lefkoşa killlerinde kalsiyum karbonat oranı yüksek olup, kil minerallerinin şerit yapıları oluşturduğu yumaksı yapılar ok 1(alt) illit türü kil mineralini işaretlemektedir. EDX analizinde Si, Al, K piklerinin birlikteliği de illit oluşumunu desteklemektedir (Şekil 14). Mg piklerinin de yer yer belirginleştiği için bu killer karışık tabakalı illit-smektit türündendirler. Fe oranındaki artış  $\geq$  %10 doğrudan kil alanının yakınında bulunan Fe'li minerallerin (ofiyolit kökenli olabilir) yansımaları olabilir.

Kayaç içerisinde kil mineralleri boşluk alanlarını tam olarak doldurmamıştır. Kayaçta porosite korunmuştur (üst oklar). Ok 2 (alt) bir numaralı tanenin kimyasal bileşimine benzer özelliktedir. Bununla birlikte şeritsel - lifsi yapı özelliği yerine daha masiv-levhamsı bir yapı sergiler. Aynı zamanda bu iki tanenin kimyasal bileşiminde  $\geq$ 10% Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>'ünde bulunması örneğin kil mineralojisine yer yer klorit-smektit türünün de eşlik ettiğini işaretlemektedir (Şekil 15).

## Sonuçlar

Lefkoşa surları zeminlerinin özellikleri beş ayrı yerde yapılan sondaj çalışmaları ile tesbit edilmiştir.

- Zeminler, dolgu, alüvyon, Lefkoşa killeri, Mermertepe formasyonu ve Değirmenlik grubu olarak belirlenmiştir.
- Dolgu ve alüvyon zeminlerin 7.20 m ile 22.00 m arasında kalınlığında olduğu su seviyesinin 4.90 m ile 10.00 m arasında olduğu ve su seviyesinin Lefkoşa killeri üzerinde olduğundan şişme ve büzelme meydana gelmediği tesbit edilmiştir.



Şekil 15. Elektron mikroskop görüntüsü (BD-4, 15.50 – 15.80m)

- En yüksek Likit limit (LL) değerleri Lefkoşa sarı-gri kiltaşlarında tesbit edilmiştir.

- Likit limit (LL) değerlerinin yükselişine bağlı olarak kil, montmorillonit ve su içeriği oranları artmaktadır.
- Kalsiyum karbonat (CaCO<sub>3</sub>) değerleri açık renkli zeminlerde artmaktadır.
- Yüksek Kalsiyum karbonat (CaCO<sub>3</sub>) değerleri bulunan zeminlerde likit limit (LL) değerlerinin daha düşük olduğu görülmüştür.
- En düşük SPT değerleri ince taneli alüvyon zeminlerde ve en yüksek SPT değerleri iri taneli dolgu ve alüvyon zeminlerde tesbit edilmiştir. SPT değerlerinin alüvyon zeminlerde yüksek olmasının nedeni çakıllardan kaynaklanmaktadır. Lefkoşa killlerinde (marnlarında) 33 – 75 aralığında SPT değerleri bulunmuştur.
- XRD analizleri neticesinde en fazla bulunan mineraller sırasıyla kalsit, kuvars, plajyoklaz, mika, dolomit ile en fazla bulunan kil mineralleri sırasıyla montmorillonit (smektit), klorit veya kaolen grubu ve illittir. EDX analizinde Lefkoşa killlerinde kalsiyum karbonat oranı yüksek olup, kil minerallerinin illit türü olduğu ve yer yer klorit-smektit türünün de eşlik ettiğini işaretlemektedir.

## Kaynaklar

- Atalar, C., (2002). Swelling Clays: A Continuous Threat to the Built Environment of Cyprus. Report of Turkish Cypriot Chamber of MMG Engineers, (contributed by Tandoğdu, Y., Acar, A., Bilsel, H. & Necdet, M.), Lefkoşa, TRNC.
- Atalar, C., (2004). Laboratory Tests of Samples Supplied From Bedestan, part of UNOPS project, Near East University, Lefkoşa, TRNC (unpublished).
- Atalar, C. ve Das, B.M., (2004). Çamlıbel Heyelan Alanı Zeminlerinin Plastisite Özellikleri. ZMTM Onuncu Ulusal Kongresi, 557-566, İstanbul.

- Atalar, C. ve Das, B.M., (2005). Problematic Soils of Cyprus, *Proceedings, Int. Con. on Problematic Soils*, **3**, 1331-1338, Famagusta.
- Atalar, C., Durgunoğlu, H.T., Das, B.M., ve Hacıoğlu, E. (2006), Kuzey Kıbrıs Killeri Şişme Potansiyeli, ZMTM Onbirinci Ulusal Kongresi, 490-499, Trabzon.
- Atalar, C. (2007). Preliminary Geotechnical Report of Armenian Church and Monastery, Near East University Geotechnical Report, for UNOPS project, Lefkoşa, TRNC, (unpublished).
- Atalar, C. (2008) Lefkoşa Bedesten restorasyonunda zemin incelemelerinin önemi, ZMTM Onikinci Ulusal Kongresi, 779-788, Konya.
- Atalar, C., ve Das, B.M. (2009). "Geotechnical properties of Nicosia soils, Cyprus." *Proceedings, 2th Int. Con. New Developments in SMG Eng.*, 360-367, Nicosia.
- Atalar, C. ve Das, B. M. (2010) Lefkoşa zemin özelliklerinin heyelan ve sel hasar ilişkileri, ZMTM Onüçüncü Ulusal Kongresi, 821-832, İstanbul.
- Atalar, C. (2011). A review of the origin and properties of the soils of Nicosia, Cyprus, *International Journal of Geotechnical Engineering*, **5**, 1, 79-86.
- Constantinou, G., Petrides, G., Kyrou, K., ve Chrysostomou, C., (2002). Swelling Clays: Continuous Threat to the Built Environment of Cyprus. Report of ETEK, Nicosia.
- DeCoster M., Zomeni Z., Panayides I., Petrides G., ve Berksoy O. eds. (2004). Seismic hazard and risk assessment of Greater Nicosia Area. UNOPS Report, 330, Nicosia.
- Geological Survey Department (GSD), (1982). Geotechnical map of Nicosia. Scale 1:25 000. Edited by G. Constantinou (Director) Nicosia, Cyprus.
- Geological Survey Department (GSD), (1995), "Swelling Clay Occurrences in Cyprus", Scale 1:250 000. Edited by G. Constantinou (Director) Nicosia, Cyprus.
- Petrides, G., Efthymiou, M., Necdet, M. Berksoy O. ve Oznesil, H. (2004). Drilling and Engineering Geology. In DeCoster M., Zomeni Z., Panayides I., Petrides G., Berksoy O. (eds.), Seismic Hazard and Risk Assessment of Greater Nicosia Area UNOPS Report, 35, Nicosia.