



## Kuvaterner Yaşlı Kaliçi Çökellerin Fiziko-Mekanik Özellikleri

### *Physico-Mechanical Properties of Quaternary Caliche Deposits*

İsmail DİNÇER<sup>1</sup> ORCID 0000-0001-9734-7040

Altay ACAR<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Nevşehir Hacı Bektaş Veli Üniversitesi, Müh. Mim. Fak., Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Nevşehir

<sup>2</sup>Çukurova Üniversitesi, Müh. Mim. Fak., Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Adana (decease)

Geliş (received): 05.03.2022

Kabul (Accepted): 28.03.2022

### ÖZ

Kaliçilerin en belirgin fiziksel özelliği üst seviyelerinin birkaç metre kalınlıkta sert ve yer yer metrelerce kalınlığa ulaşan alt kısımlarının ise daha yumuşak karakterde olmasıdır. Bu durum kaliçilerin jeomekanik özelliklerinin belirlenmesinde bazı problemleri de beraberinde getirmektedir. Bu çalışmada Adana ili yerleşim alanı ve yakın civarında yüzeyleyen kaliçilerden alınan torba ve blok numuneler üzerinde yapılan bir dizi laboratuvar deneyleri sonucunda fiziksel ve mekanik özellikleri belirlenmiştir. Buna göre kaliçi çökelleri litolojik ve jeomekanik özelliklerine göre taraça, kaliçileşmiş taraça, karbonat kabuk (hardpan) ve kaliçileşmiş zemin (softpan) olmak üzere dört ayrı birim olarak tanımlanmıştır. Taraça, kaliçileşmiş taraça ve sert kaliçi yumuşak kaya özellikleri sunarken, softpan ise zemin özellikleri göstermektedir. Taraça, kaliçileşmiş taraça ve hardpan “çok düşük dayanımlı kaya” sınıfında yer almaktadırlar. Kaliçileşmiş zeminler ağırlıklı olarak silt boyutu tanelerden ve bunun yanında kum ve kil boyutu malzemeler içermektedirler. Birleştirilmiş zemin sınıflamasına CL-ML zemin sınıfında yer almakta olup, düşük plastisiteli kil ve düşük plastisiteli silt olarak tanımlanmıştır. Litolojik değişimler, suya karşı hassasiyet ve fiziko-mekanik özelliklerinin belirlenmesinde yaşanan güçlükler, kaliçileri mühendislik jeolojisi açısından problemli bir malzeme olarak değerlendirilmesine neden olmaktadır.

**Anahtar Kelimeler:** Kaliçi, Taraça, Fiziko-mekanik özellik, Adana

İsmail DİNÇER ([idinicer@nevsehir.edu.tr](mailto:idinicer@nevsehir.edu.tr))

<sup>1</sup>Nevşehir Hacı Bektaş Veli Üniversitesi, Müh. Mim. Fak., Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Nevşehir

## **ABSTRACT**

*The most distinctive physical properties of the caliche deposits are that the hard upper levels are a few meters, high and the soft lower parts reach several meters in thickness. The stratigraphic case causes some problems in determining the geomechanical properties of caliche deposits. In this study, index, physical and mechanical properties were determined as a result of a series of laboratory experiments. For this purpose, disturbed soils and rock block samples are taken from the caliche cropping out in the settlement area of Adana and its vicinity. The caliche deposits were classified four different units as terrace, caliched terrace, carbonate crust (hardpan) and caliched soil (softpan) based on their lithological and geomechanical features. Terrace, calcified terrace and hardpan are classified as “very low strength rock”. Caliched soils mainly contain silt-size grains as well as sand and clay. It is included CL-ML soil class and is defined as low plasticity clay and low plasticity silt based on the unified soil classification system. Caliche deposits are caused by lithological changes, sensitivity to water, and difficulties in determining the physico-mechanical properties of these deposits, which cause them to be considered a problematic material for engineering geology.*

**Keywords:** *Caliche, Terrace, Physico-mechanical properties, Adana*

## **GİRİŞ**

Kaliçiler, genel literatürde “Caliche”, “Calcrete”, “Calcareous Crust” (Croutes Calcaires), “Petrocalcic Horizon” olarak adlandırılan kaliçiler, Hindistan’da ve Avustralya’da “Kankar”, İsrail’de “Nari”, Kıbrıs’ta “Kafkalla “Havara”, Almanya’da “Kulkrustea”, İspanya’da “Costra Caliza” gibi adlar alırken, ülkemizde ise “kaliş” ve “kaliçi” isimleri ile ifade edilmektedir. Genellikle kurak ve yarı-kurak iklime sahip bölgelerde normal jeolojik istiften farklı oluşum gösteren kaliçilerin en belirgin fiziksel özellikleri üst seviyelerinin birkaç metre kalınlıkta sert ve yer yer metrelerce kalınlığa ulaşan alt kısımlarının ise daha yumuşak karakterde olmasıdır. Kaliçiler, Amerika’nın birçok eyaletinde, Güney Afrika’da, Fas’ta, Cezayir’de, Libya’da, Tanzanya’da, Suudi Arabistan’da, Afganistan’da, Barbados’ta, Guatemala’da, Şili’de, Kanada’da, Avustralya’da, Alaska’da, İngiltere’de yaygın olarak bulunmaktadır. Ülkemizde ise daha çok Çukurova, Ege ve İç Anadolu bölgesinde gözlenmektedir. Çukurova bölgesinde Pliyo-Kuvaterner yaşlı olan bu birim, Adana kent merkezinin kuzeyi boyunca Kuvaterner yaşlı taraçalar, Üst Miyosen-Pliyosen yaşlı Handere Formasyonu ayrışma zonlarında ve hızlı bir yapılaşmanın geliştiği binlerce kilometre karelik bir alanda gözlenmektedir (Şekil 1). Kaliçiler için jeoteknik anlamda ilk sınıflama Ruellan (1970) tarafından yapılmış olup, Netterberg

(1971) sınıflaması ile benzerlik sunmaktadır. Ruellan (1970) farklı kaliçi seviyelerinin varlığına işaret etmiş ve bu seviyelerin dizilişinin düşey yönde olabildiği gibi bazı durumlarda yatay yönde gelişebildiğini belirtmiştir. Tavandan tabana ve akış yukarıdan akış aşağıya doğru hardpan, kabuk, tabakasız kaliçi ve dağınık kaliçi şeklinde gelişebildiğini belirtmiştir. Basit ve morfolojik özelliklerine göre Netterberg (1967 ve 1980) tarafından yapılan sınıflandırma, pedojenik kaliçiler ile ilgili olup, jeoteknik araştırmalar için geliştirilmiştir. Netterberg (1967 ve 1980) ve Goudie (1983) temel alınarak hazırlanan bu sınıflamada tanımlanan kaliçi sınıfları kaliçilerin gelişme profilleri ile ilgilidir. Örneğin, kalkerli zemin zamanla nodüler kaliçiye, bal peteği kaliçiye, hardpan kaliçiye ve belki daha sonra koşullar değişirse bloklu kaliçiye dönüşebilmektedir.



Şekil 1 Google Earth görüntüsü üzerinde kaliçi çökellerin genel görünümü ve 2002-2022 yılları için yapılaşmanın gelişimi

*Figure 1 General view of caliche deposits in Google Earth image and urban development for the period of 2002-2022*

Kaliçilerin farklı litolojik seviyelere sahip olması, jeomekanik özelliklerinin belirlenmesinde bazı problemleri de beraberinde getirmektedir. Yılmaz ve Smith (1992), Mersin–Tarsus–Adana–Ceyhan–Osmaniye–İskenderun hattı boyunca yapılmakta olan otoyol projesindeki kaliçinin jeolojik ve jeoteknik özelliklerini araştırmışlardır. Kaliçinin, zemin duyarlılığı açısından önem taşıdığı kadar dolgu malzemesi ve kırma taş üstyapı malzemesi olarak da sorunlar çıkardığını belirtmişlerdir. Ayrıca kaliçinin, yüzeye doğru genellikle sertken ve alt dokanağa doğru yüksek plastisiteli, parlak yüzeyli, dolgulu çatlaklı ve kalker yumrulu killi seviyelerden oluşan yumuşak seviyeler içerdiğini belirtmişlerdir. Türkmen ve Yılmaz

(1998), Tarsus–Adana–Gaziantep otoyol güzergâhındaki kaliçi biriminin neden olduğu büyük çaplı heyelanları ve maliyete olan etkilerini araştırmışlardır. Otoyol çalışmalarında sert kısmın kireçtaşı ile karıştırıldığını ve önemsenmediğini ancak pek çok sorunun yaşandığını belirtmişlerdir. Kaliçiler üzerinde yer alan yapılarda 1998 Adana-Ceyhan depreminde ciddi yapısal hasarlar olduğu birçok araştırmacı tarafından belirtilmiştir (Çetin ve Demirtaş, 1999; Ulusay ve diğ. 2000; Dinçer ve diğ., 2010).

Konu ile ilgili yapılan çalışmalar kaliçilerin jeoteknik açıdan problemlili bir malzeme olduğu göstermekte olup, fiziko-mekanik özelliklerinin detaylı olarak değerlendirildiği bir çalışmaya rastlanmamıştır. Dinçer (2007) tarafından gerçekleştirilen doktora çalışmasında Adana ili yerleşim alanı ve yakın civarında yüzeyleyen kaliçilerin sert ve yumuşak seviyelerinden alınan torba ve blok numuneler üzerinde yapılan bir dizi laboratuvar deneyleri sonucunda indeks, fiziksel ve mekanik özellikleri belirlenmiştir. Bu çalışmada elde edilen bu veriler ışığında kaliçiler jeoteknik açıdan farklı sınıflara ayrılarak jeomekanik davranışları açıklanmaya çalışılmıştır.

## **MATERYAL ve YÖNTEM**

### **Materyal**

Kaliçiler pek çok araştırmacı tarafından farklı şekillerde tanımlanmalarına rağmen genel olarak kurak ve sıcak bölgelerde, dikey olarak zonlanma gösteren, yatay-yataya yakın konumlarda bulunan, yer yer kalınlığı 25 metreye ulaşan ve kalsiyum karbonatın baskın olduğu karasal bir oluşum olarak tanımlanırlar. Genellikle göl, akarsu ve yelpaze çökelleri içerisinde oluşan kaliçiler Ege, Akdeniz ve Orta Anadolu bölgesinde yaygın bir şekilde gözlenmektedir (Dinçer, 2007).

Kaliçi oluşumu için karbonat varlığı, kurak ve yarı-kurak bir iklim rejimi, yaygın bir kapilarite aktivasyonu ve CO<sub>2</sub> varlığının bulunması gibi bazı çevresel ve jeolojik koşulların sağlanması gerekmektedir. Kaliçi oluşumu, karbonatlaşma sürecinin bir ürünüdür. CO<sub>2</sub> havada ve yağmur suyunda 0.03%-0.45% oranında bulunmaktadır. Suyun ve karbondioksitin reaksiyonu sonucu karbonik asit oluşur ( $CO_2+H_2O \rightarrow H_2CO_3$ ). Bu asit kalsiyum ve magnezyumca zengin kayaları çözerek kalsiyum, magnezyum ve karbonatça zengin çözeltiler oluşturur. Oluşan kalsiyum ve magnezyum bikarbonata doygun sular, gevşek zemin içerisinde aşağıya doğru

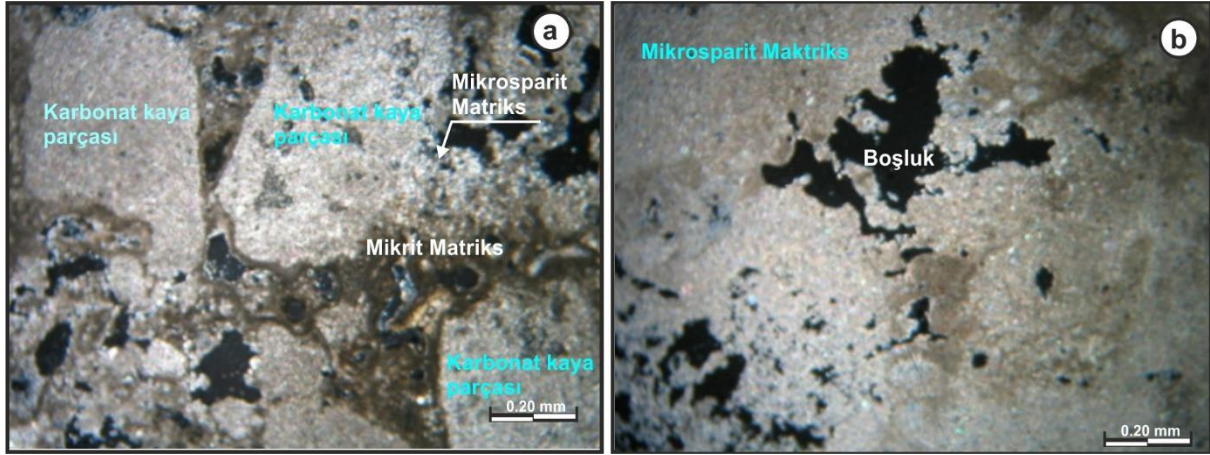
süzülürler. Sonra bu çözeltiler kurak ve yarı kurak iklim dönemlerinde kapilarite ve buharlaşmanın etkisiyle yüzeye doğru yükselirler. Su durgun hale gelirken çözeltilerin içindeki  $\text{CO}_2$  ve  $\text{H}_2\text{O}$  doymun bikarbonat çözeltisinden uzaklaşmış olur. Bu ayrılışı takiben kalsiyum karbonat veya magnezyum karbonat nodülleri yanal veya düşey olarak oluşur (Dinçer, 2007). Ayrıca kaliçi oluşumunu açıklayan süzülme, kapilarite ve kırıntı modeli gibi yaklaşımlar farklı araştırmacılar tarafından öne sürülmüştür (Goudie, 1983). Bu çalışmada Çukurova'nın kuzeyinde topoğrafyanın yükselmeye başladığı bölgede ve Adana kent merkezinin kuzeyinde mostra veren kaliçiler çalışmanın konusunu oluşturmaktadır.

Yumrulu, farklılaşmamış, breşik ve laminalı bir yapı sunan kaliçi örnekleri açık sarı-krem renkte olup, kaya renk tablosuna göre 10YR 8/2, 5YR 5/6, 5YR 8/6, 10YR 7/4, 10YR 8/6 ve 10YR 5/4 skalasında tanımlanmışlardır. Genellikle koyu renkli mikrit ve mikrosparit kalsit çimentoları kaliçilerin ana malzemesini oluşturmaktadır (Şekil 2). İnce kesitlerde farklı tip ve şekillerde boşluklar odacık, basit paketlenme boşlukları, kanallar ve hücreler şeklindedir. Bazı örneklerde boşlukların oranı % 50'ye kadar çıkabilmektedir. Matriks içerisinde yayılmış halde köşeli kuvars, çört, volkanik ve kireçtaşı parçaları gözlenmiştir. Genellikle bunların boyutları  $5\mu\text{m}$ – $1000\mu\text{m}$  arasında değişmekte olup, nadiren daha iri tanelere ( $>1000\mu\text{m}$ ) rastlanmıştır. Karbonat kabuk seviyelerinde hakim mineral tipi kalsit olup, yüzde oranı %88.2 - %98.7 aralığında değişmektedir. Aynı zamanda çok düşük oranda (%1.8-%11.8) kuvars mineralinin varlığı tespit edilmiştir. Bölgeden alınan örneklerin kimyasal içeriği  $\text{CaCO}_3$  %83.43-%96.06,  $\text{SiO}_2$  %0.70-%11.74,  $\text{Al}_2\text{O}_3$  %0.0031-%0.0141 ve  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  ise %0.24-%0.54 arasında değişmektedir (Dinçer, 2007).

## Yöntem

Kaliçiler, litolojik özelliğinden dolayı hem kaya hem de zemin özelliği taşıyan seviyelere sahiptir. Bunlar literatürde yumuşak kısım (softpan) ve sert kısım (hardpan) olarak adlandırılmaktadır. Bundan dolayı hem kaya mekaniği deneyleri hem de zemin mekaniği deneylerine yönelik örselenmiş, örselenmemiş ve blok kaya numuneleri TS (1901)'e göre alınmıştır. Araştırmanın konusu olan taraça, kaliçilerin karbonat kabuk (hardpan) ve kaliçileşmiş zemin (softpan) seviyelerinden ayrı ayrı alınan numunelerin indeks ve jeomekanik parametrelerinin tayini kaya ve zemin mekaniği laboratuvarlarında TS (1500), TS (1900–1 ve 2), ASTM D4318-87 (2005) ve ISRM (2007)'e göre titizlikle gerçekleştirilmiştir.





Şekil 2 Kaliçi örneklerine ait ince kesit görüntüleri

Figure 2 View of caliche thin section

## JEOMEKANİK ÖZELLİKLER

Kuvaterner yaşlı kaliçiler farklı litolojik, fiziksel ve mühendislik özelliklerine sahip mostralar sunmakta olup, Adana kent kuzeyinde yayılım sunan kaliçi birimleri taraça, kaliçileşmiş taraça, karbonat kabuk (hardpan) ve kaliçileşmiş zemin (softpan) olmak üzere dört farklı birim olarak ayırt edilmiştir.

### Taraça

Bölgede gözlenen taraça birimleri ağırlıklı olarak gri renkli çakıltaşları olup, yer yer kumtaşı, silttaşı bloklu çakıltaşı ve çakıltaşı ardalanması şeklinde gözlenmektedirler. Maksimum tane boyutu 40–50 cm'ye ulaşan birimde oldukça yuvarlak ofiyolit, kireçtaşı, kuvars, radyolarit ve çört çakılları bulunmaktadır. Boylanma ve derecelenme açısından seviyelere göre değişen özellikler sunan taraçalar genellikle kötü boylanmalı olarak tanımlanabilir. Schmidt (1961) tarafından birimin kalınlığının 50 metreye kadar ulaştığı belirtilmiş olup, genel olarak 30 metre kalınlığa sahiptir (Şekil 3).

Taraçaların doğal birim hacim ağırlığı 25.50–26.72 kN/m<sup>3</sup> aralığında olup ortalama ıslak birim hacim ağırlığı 27.23 kN/m<sup>3</sup> olarak belirlenmiştir. Ağırlıkça ve hacimce su emme oranları ise sırasıyla %1.98–3.88, %5.15–10.01 aralığında değişmektedir (Çizelge 1). Suyu doyurma yöntemi ile belirlenen ortalama görünür porozite %7.74 olup, boşluk oranı ise 0.07–0.13 aralığında değişmektedir. Ortalama nokta yükü dayanım indeksi 3.34 MPa olarak belirlenmiş olup, IAEG (1979)'a göre taraçalar orta mukavemetli kaya sınıfında olarak tanımlanmıştır.

Fakat tek eksenli sıkışma dayanımları 12.75–18.54 MPa arasında olan taraçalar, Deere ve Miller (1966)'e göre ise çok düşük dayanımlı kaya sınıfında yer almaktadır. Hoek ve diğ., (2002)'ye göre taraçalar için elde edilen üç eksenli sıkışma dayanımı deney sonuçları Şekil 4'de verilmiştir. Ayrıca Hoek (1990) içsel sürtünme açısı ve kohezyonun (instantaneous) elde edilmesini sağlayan ve klasik mohr zarfını doğrusal eğri olarak kabul eden bir yöntem ortaya koymuştur (Bell, 1994). Buna göre taraçalar için içsel sürtünme açısı ( $\phi$ ) 25°, kohezyon (c) ise 1.078 MPa olarak belirlenmiştir.



Şekil 3 Adana kent merkezinde Taraçaların genel görünümü

*Figure 3 General view of terrace deposits in center of Adana*

### **Kaliçileşmiş Taraça**

Handere formasyonu üzerine gelip güneye doğru Adana Ovası'nın alüvyonları ile örtülü bulunan taraçaların içerisinde ve üzerinde oluşan kaliçi oluşumları “kaliçileşmiş taraça” olarak

adlandırılmıştır. Balcalı, Sofulu ve Yeni Adana olarak adlandırılan bölgelerde yaygın olarak gözlenmektedirler.

Genellikle beyazımsı kahverengi ve gri renkli olan kaliçileşmiş taraçalar kökensele olarak aynı olan ve bölgede yayılım gösteren diğer taraçaların özelliklerini taşımakla beraber çakıtaşı ağırlıklı, yer yer kumtaşı ara katkılı bir birim olarak tanımlanabilirler. Taraçaların alt seviyelerinde kaliçi yumrulu olarak başlayan kaliçileşmeler, genellikle taraçaların üst seviyelerine doğru artmaktadır. Şekil 5’de Sofulu çöplüğü olarak bilinen bölgede malzeme ocaklarına ait yarmada düşey kesit ve kaliçileşmiş taraça mostrasının genel bir görünümü verilmiştir. Buna göre alt seviyeler yine taraça özelliğini sunmakta olup, üst metrelerde birkaç metre kalınlığında gözlenen oluşum kaliçileşmiş taraça olarak değerlendirilmiştir

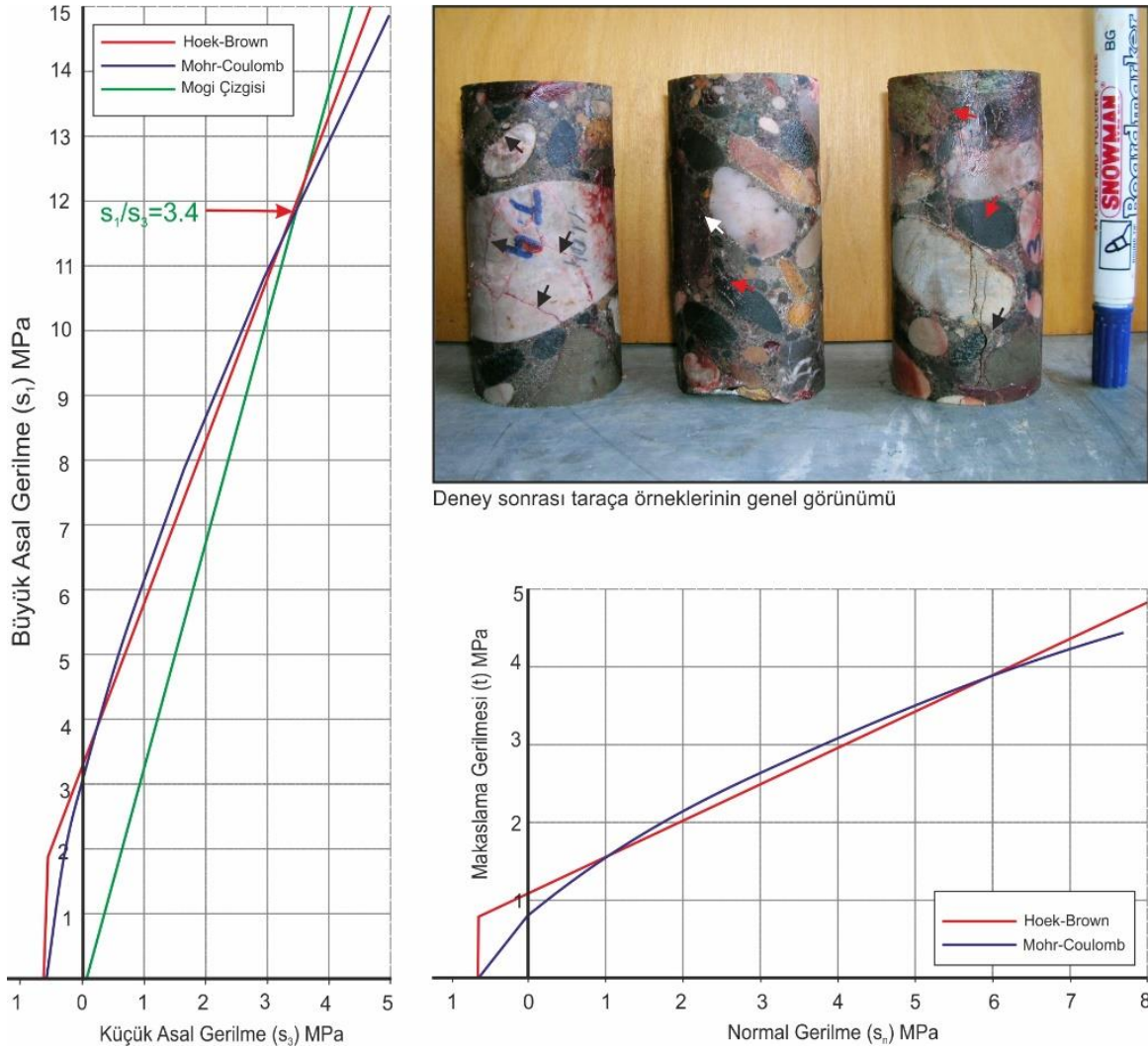
Çizelge 1 Taraçaların belirlenen fiziko-mekanik özellikleri  
*Table 1 Physio-mechanical properties of terrace deposits*

Özellik	Ortalama	Maksimum	Minimum	STD
Birim Hacim Ağırlık (kN/m <sup>3</sup> )	25.93	26.70	25.50	0.67
Islak Birim Hacim Ağırlık (kN/m <sup>3</sup> )	27.23	27.90	26.64	0.63
Boşluk Oranı	0,10	0,13	0,07	0,03
Görünür Porozite (%)	8.89	11.35	6.35	2.50
Hacimce Su Emme (%)	7.74	10.01	5.15	2.45
Ağırlıkça Su Emme (%)	2.95	3.88	1.98	0.95
Schmidt Sertliği (N)	45.00	48.50	42.49	3.13
Nokta Yüğü Dayanımı (MPa)	3.34	3.64	2.85	0.43
Tek Eksenli Sıkışma Dayanımı (MPa)	16.02	18.54	12.24	3.34

*STD: Standart Sapma*

Kaliçileşmiş taraçaların birim hacim ağırlığı 20.20–19.51 kN/m<sup>3</sup> aralığında olup ortalama ıslak birim hacim ağırlığı 22.36 kN/m<sup>3</sup> olarak hesaplanmıştır (Çizelge 2). Kaliçileşmiş taraçalarda bağlayıcı malzemenin tamamen veya kısmen karbonattan oluşması taraçalarda birim hacim ağırlığında bir azalmaya sebep olmuştur. Ortalama ağırlıkça ve hacimce su emme oranları ise sırasıyla %11.69 ve, %23.22 ve suya doyurma yöntemi ile belirlenen ortalama görünür porozite %24.54, ortalama boşluk oranı ise 0.33 olarak hesaplanmış olup, porozite açısından yaygın kaya türleriyle karşılaştırıldığında yüksek değerlere sahiptir (Çizelge 2). Ortalama P-dalga hızı ise 797 m/sn olarak ölçülmüştür.





Şekil 4 Taraçalara ait üç eksenli deney sonuçları

*Figure 4 Three axial test results of terrace*

Kaliçileşmiş taraçaların suda dağılmaya karşı dayanıklılık indeksi ( $I_{d2}$ ) % 98.34–86.20 arasında değişmektedir (Çizelge 2). Buna göre taraçalar suda dağılmaya karşı yüksek dayanıklı olarak tanımlanmıştır (Gamble, 1971). Deney sonrası örneklerin fiziki özellikleri incelendiğinde ise ağırlıkça kayıplarının çok olmamasına karşın fiziksel olarak parçalandıkları görülmüştür. Bunun muhtemel sebebi kaliçileşmiş taraçalarda bağlayıcı malzeme görevini üstlenen karbonatın suda kolaylıkla çözülebildiği ancak taraçaları oluşturan çakılların suda dağılmaya karşı daha dirençli olması gösterilebilir. Suda dağılmaya karşı dayanıklılık

deneyine göre yüksek dayanımlı olan kaliçileşmiş taraçaların bu özelliğinin göz önünde bulundurulması gerekmektedir.

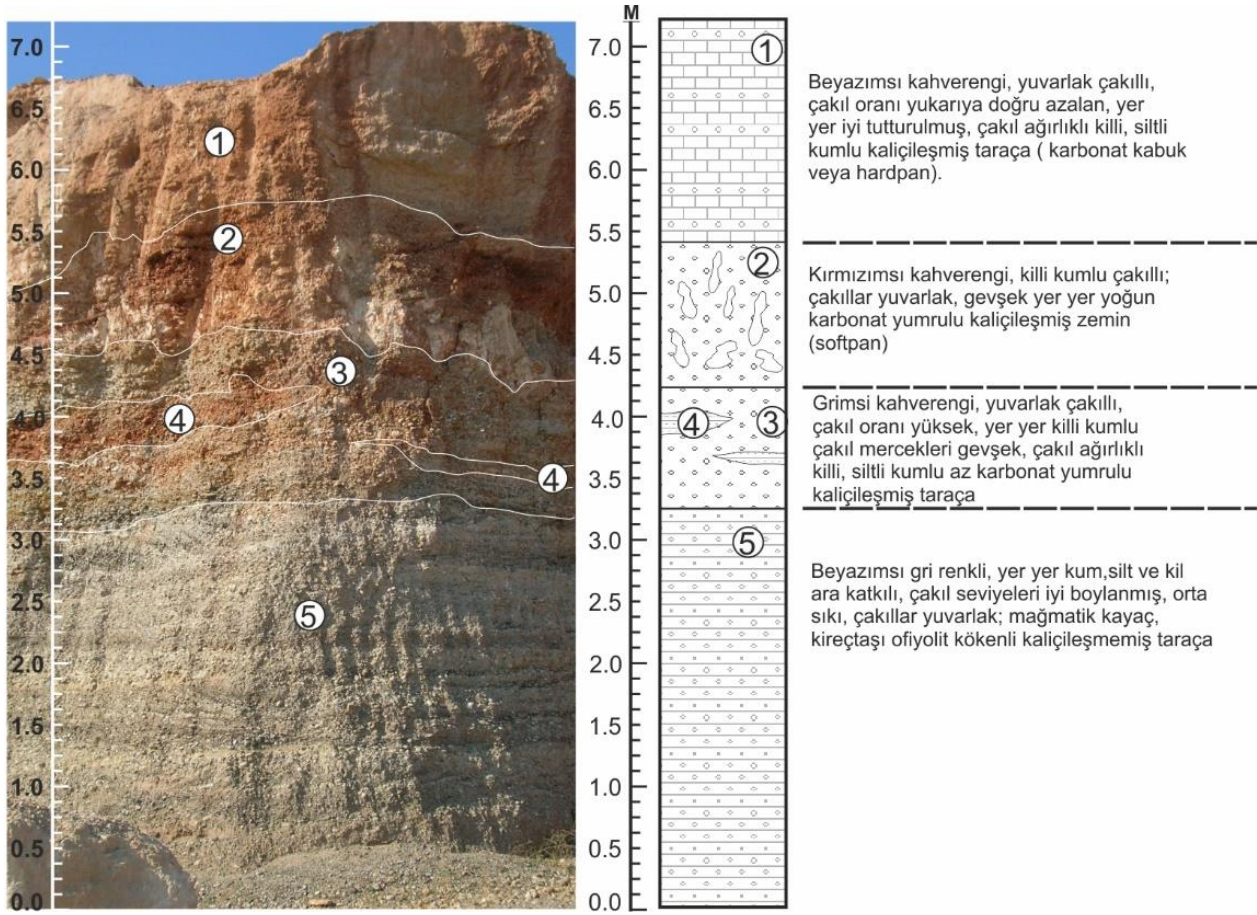


Figure 5 General view of caliched terrace deposits

Ortalama nokta yük dayanım indeksi 1.58–0.97 MPa aralığında değişen ve buna göre orta-yüksek dayanımlı olarak tanımlanan kaliçileşmiş taraçaların tek eksenli sıkışma dayanımı ise 6.56–4.76 MPa aralığında değişmektedir (Çizelge 2). Deere ve Miller (1966)’a göre çok düşük dayanımlı kayaç olarak tanımlanmıştır. Kaliçileşmiş taraçaların deformasyon davranışlarını açıklamak üzere Kaliçileşmiş taraçalar içim gerilme-deformasyon eğrileri çizilmiş ve teğet (tanjant) modülü ( $E_t$ ) 0.69 GPa, kiriş (sekant) modülü ( $E_s$ ) 0.84 GPa ve ortalama elastisite modülü ( $E_{av}$ ) 0.63 GPa olarak hesaplanmıştır (Çizelge 2). Üç eksenli deney sonuçları üzerinde Hoek & Brown ölçütünü uygulayabilmek için kaliçileşmiş taraçaların alabileceği minimum değer olan 70 kullanılmıştır. Buna göre elde edilen üç eksenli deney sonucu Şekil

6'da verilmiştir. Kalıçileşmiş taraçalar için anlık kohezyon ve içsel sürtünme açısı 0.421 MPa ve  $22^0$  olarak hesaplanmıştır.

Çizelge 2 Kalıçileşmiş taraçaların belirlenen fiziko-mekanik özellikleri  
Table 2 *Physio-mechanical properties of caliched terrace deposits*

Özellik	Ortalama	Maksimum	Minimum	STD
Birim Hacim Ağırlık (kN/m <sup>3</sup> )	19.85	20.20	19.51	0.34
Islak Birim Hacim Ağırlık (kN/m <sup>3</sup> )	22.36	23.13	21.59	0.77
Boşluk Oranı	0.33	0.34	0.31	0.02
Görünür Porozite (%)	24.54	25.76	23.75	0.76
Hacimce Su Emme (%)	23.22	23.70	22.62	0.55
Ağırlıkça Su Emme (%)	11.69	11.92	11.36	0.29
Shore Hardness (SH)	14.45	18.87	11.80	3.85
Schmidt Sertliği (N)	32.01	36.94	26.00	5.55
P-dalga hızı (m/sn)	797.83	1131.26	536.03	304.01
Suda dağılmaya karşı dayanıklılık İndeksi (Id2)	92.69	98.34	86.20	6.11
Nokta Yüğü Dayanımı (MPa)	1.19	1.58	0.97	0.34
Tek Eksenli Sıkışma Dayanımı (MPa)	5.41	6.56	4.76	1.00
Tanjant Elastisite Modülü (GPa)	0.69	0.70	0.68	0.01
Kiriş Elastisite Modülü (GPa)	0.84	0.89	0.76	0.08
Ortalama Elastisite Modülü (GPa)	0.63	0.71	0.54	0.09

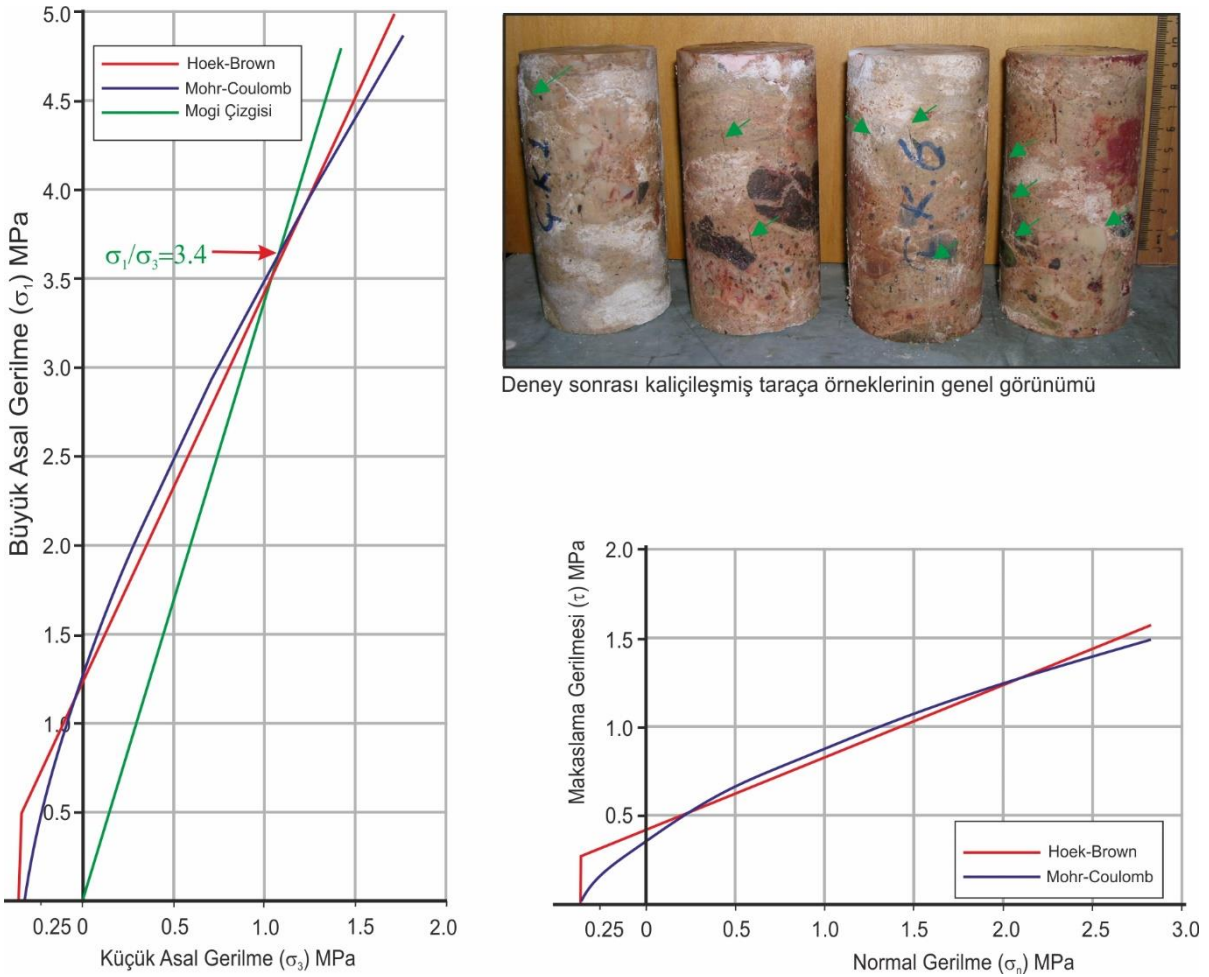
STD: Standart Sapma

Kalıçileşmiş taraçalar düşük gerilme koşullarında gevrek davranış gösterdikleri, fakat kısa süre sonra düşük sayılabilecek gerilme koşullarında sünek davranışa geçiş yapmaktadır. Mogi (1966) tarafından belirtildiği gibi kalıçileşmiş taraçalar diğer kaya tiplerinde olduğu gibi asal gerilme oranının ( $\sigma_1/\sigma_3$ ) 3.4 ulaştığında gerçekleşmiştir (Şekil 6). Bilindiği üzere sünek davranış zeminin herhangi bir deformasyona uğramadan yenilmesi olarak tanımlanabilir. Deney sonrası yenilen numuneler incelendiğinde belirgin bir kırılma görülmemektedir. Ancak yenilme sonrası bir süre daha deneye devam edilerek yenilme düzlemlerinin ortaya çıkması sağlanmıştır (Şekil 6). Bu durum göz önünde bulundurulduğunda kalıçileşmiş taraçalar zeminlerin yenilme şekillerine benzer (varilleşme şeklinde) yenildiği ve yüksek basınç altında plastik bir davranış sergilediği söylenebilir.

### **Karbonat Kabuk (Hardpan)**

Bölgede Handere formasyonu üzerinde gözlenen kalıçiler, en alta Handere formasyonuna ait kil taşları ile başlayıp üste doğru yoğun kalıçi yumrularının gözlendiği ve diğer seviyelere

göre daha gevşek ve yumuşak olan ve softpan olarak adlandırılan seviye ve en üstte masif görünümlü, yüksek CaCO<sub>3</sub> içerikli ve kalınlığı 1–2 metre arasında değişen karbonat kabuk yer almaktadır (Şekil 7). Bu bölümde en üstte yer alan çok düşük dayanımlı kaya özellikleri sunan karbonat kabuğa ait jeomekanik özellikler değerlendirilmiştir. Şekil 7’den görüleceği üzere kaliçileşme kiltaşları içerisinde gözlenmektedir. Bu durum derinleştikçe nadiren gözlenmekte olup, karbonat kabuğa yaklaştıkça daha yoğun bir şekilde gözlenmektedir.



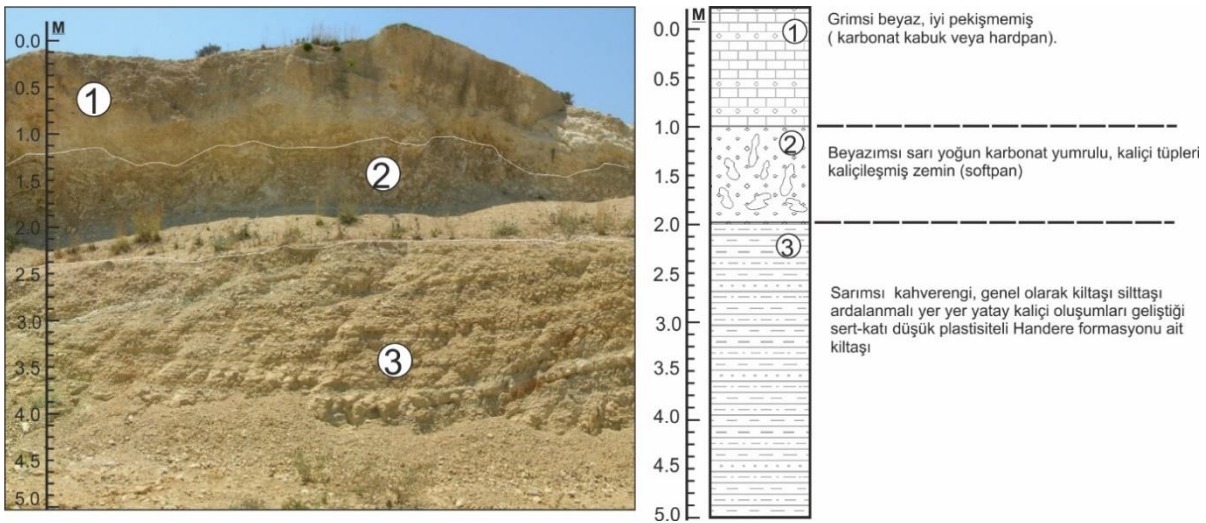
Şekil 6 Kaliçileşmiş taraçaların üç eksenli deney sonuçları

Figure 6 Three axial test results of caliched terrace

Karbonat kabuk (hardpan) seviyelerinin birim hacim ağırlığı 22.94–14.96 kN/m<sup>3</sup> aralığında olup ortalama ıslak birim hacim ağırlığı 21.82 kN/m<sup>3</sup> olarak belirlenmiştir. Kaliçiler Çizelge 3’de görüldüğü gibi birim hacim ağırlık değeri, diğer kaya tipleri ile karşılaştırıldığında



oldukça geniş bir aralıkta değişmektedir. Kaliçilerin bazıları aşırı boşluklu olup, yeterince pekişmemiştir. Bu yüzden bazı hardpan seviyelerinde çok düşük değerler elde edilmiştir. Yüksek birim hacim ağırlığına sahip örnekler ise görece iyi pekişmiş, kısmen veya tamamen kalsitleşmiş ve sıkı bir yapıdadır. Kaliçilerin boşluk oranı değerleri 0.60–0.19 ve görünür porozite ise %37.43–16.23 arasında değişmektedir (Çizelge 3). Elde yüksek porozite değerleri kaliçilerin çok değişken yapılarını işaret eden diğer bir veri olarak karşımıza çıkarken, tüm kaliçiler orta-yüksek poroziteli kayaç olarak tanımlanmıştır (IAEG,1979)



Şekil 7 Tipik bir kaliçi kesitinde karbonat kabuğun genel görünümü

*Figure 7 General view of hardpan in typical caliche section*

Hardpan seviyelerinin suda dağılmaya karşı dayanıklılık indeksi ( $I_{d2}$ ) % 98.10–65.36 arasında değişmektedir. Buna göre kaliçiler suda dağılmaya karşı düşük-aşırı yüksek dayanıklı olarak tanımlanmıştır (Gamble, 1971). Deney sonrası örneklerin fiziki özellikleri incelendiğinde bazı örneklerin oldukça dağıldığı gözlenirken bazı örnekler ise çok fazla parçalanmaya maruz kalmamıştır. Bu örneklerin makro ve mikro düzeyde incelendiğinde aralarındaki en büyük farkın kalsitleşme derecesi olduğu gözlenmektedir. Kalsitleşmenin yoğun olarak gözleendiği kaliçiler suda dağılmaya karşı daha dirençli olduğu gözlenirken, tamamen kalsitleşmemiş örneklerin ise daha kolay parçalandıkları gözlenmiştir.

Nokta yükü dayanım indeksi 2.08–0.53 MPa arsında değişen hardpan seviyeleri, Bieniawski (1984)' e göre düşük-çok düşük dayanımlı kaya olarak tanımlanmıştır. Tek eksenli sıkışma



dayanımı ise 10.41–2.03 MPa arasında değişmekte olup, Dere ve Miller (1966)’a göre çok düşük dayanımlı kaya olarak tanımlanmıştır. Hadrpan seviyelerinin ortalama teğet (tanjant) modülü (Et) 0.76 GPa, kiriş (sekant) modülü (Es) 0.60 GPa ve ortalama elastisite modülü (Eav) 0.55 GPa olarak hesaplanmıştır (Çizelge 3). Hoek (1990) göre anlık sürtünme açısı 22–500, anlık kohezyon 0.058–0.723 MPa arasında değişmektedir. Hardpan örnekleri düşük gerilme koşullarında gevrekten sünek davranışa doğru bir geçiş yaparken, bazı örneklerde ise bu geçiş düşük gerilme koşullarında gerçekleşmemektedir (Şekil 8). Genel olarak bakıldığında kendi içinde düşük dayanımlı kayalar (< 5.0 MPa) gevrekten sünek davranışa geçiş düşük gerilme koşullarında ve asal gerilme oranının ( $\sigma_1/\sigma_2$ ) 3.4 ulaştığında gerçekleşmektedir (Şekil 8b).

Çizelge 3 Karbonat kabuğun (hardpan) belirlenen fiziko-mekanik özellikleri  
*Table 3 Physio-mechanical properties of hardpan*

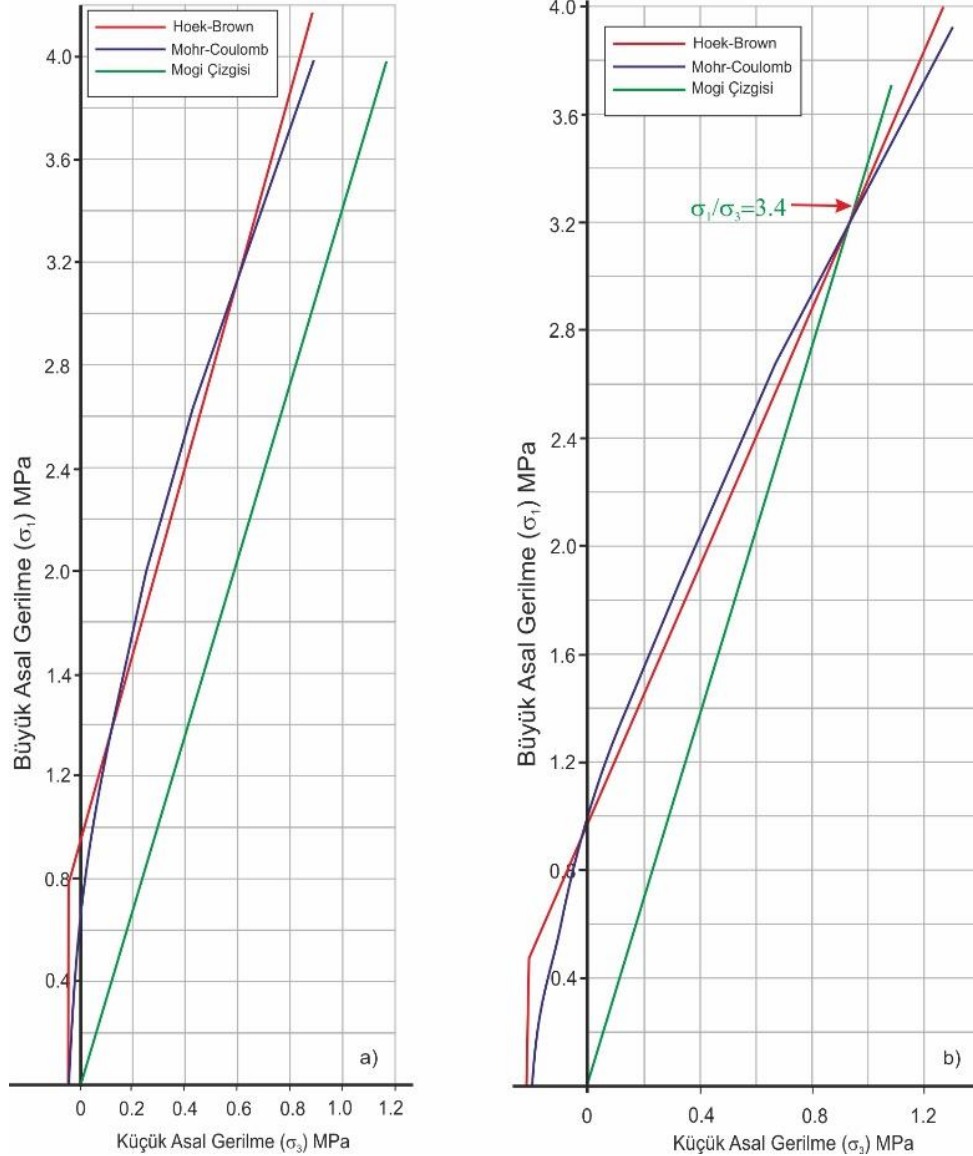
Özellik	Ortalama	Maksimum	Minimum	STD
Birim Hacim Ağırlık (kN/m <sup>3</sup> )	18.90	22.94	14.96	2.23
Islak Birim Hacim Ağırlık (kN/m <sup>3</sup> )	21.82	25.17	18.38	1.68
Boşluk Oranı	0.38	0.60	0.19	0.11
Görünür Porozite (%)	27.05	37.43	16.23	5.98
Hacimce Su Emme (%)	26.10	36.52	15.34	6.00
Ağırlıkça Su Emme (%)	14.16	22.95	7.01	4.71
Shore Sertliği (SH)	12.58	24.56	4.20	5.28
Schmidt Sertliği (N)	26.99	43.44	14.50	7.56
P-dalga hızı (m/sn)	747.32	1575.40	374.78	382.55
Suda dağılmaya karşı dayanıklılık İndeksi (Id <sub>2</sub> )	89.73	98.10	65.36	9.01
Nokta Yüğü Dayanımı (MPa)	1.12	2.08	0.53	0.45
Tek Eksenli Sıkışma Dayanımı (MPa)	5.10	10.41	2.03	2.63
Suya Doygun Tek Eksenli Sıkışma Dayanımı (MPa)	4.36	8.48	2.03	2.60
Tanjant Elastisite Modülü (GPa)	0.76	1.79	0.03	0.56
Kiriş Elastisite Modülü (GPa)	0.60	1.46	0.03	0.43
Ortalama Elastisite Modülü (GPa)	0.55	1.41	0.16	0.40

STD: Standart Sapma

### **Kaliçileşmiş Zemin (Softpan)**

Küçük yumrulu, karbonat dolgu kırıklı, iğnemsî kalsit kristalleri içeren karbonat yamaları ve küçük karbonat birikintili, çok zayıf çimentolanmış veya çimentolanmamış zemin ve literatürde “calcareous soil” olarak isimlendirilen oluşumlar “kaliçileşmiş zemin” olarak adlandırılmıştır. Bölgede kaliçileşmiş zemin bazen karbonat kabuk olarak adlandırılan

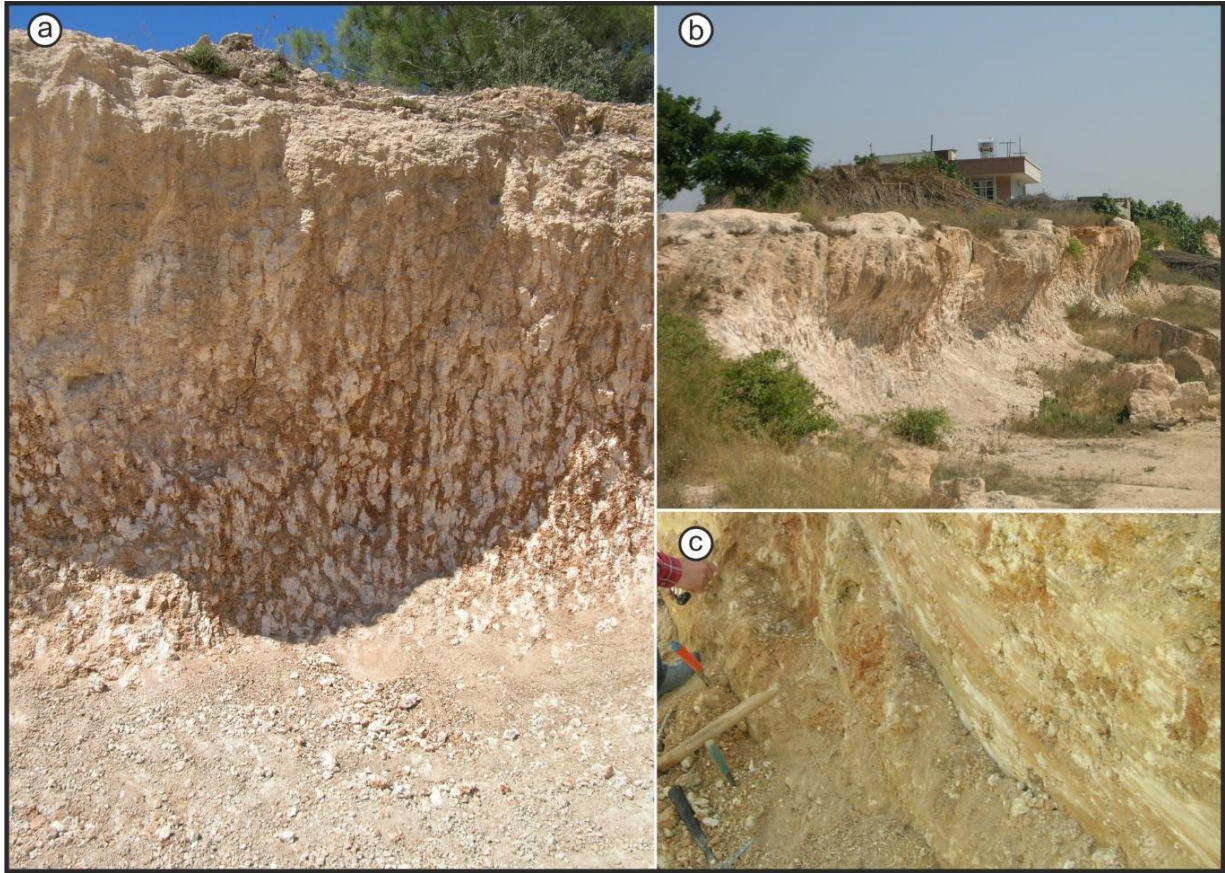
seviyenin altında, bazense güncel zeminler içerisinde gözlenmektedir. Kaliçileşmiş zeminler bölgede çok geniş mostralar vermemesine rağmen üste yer alan karbonat kabuğun hemen altında bulunmasından dolayı çalışma alanında temel zemini olma açısından büyük bir potansiyel taşımaktadırlar. Güneye doğru inildikçe güncel alüvyon zeminlerin üst seviyelerinde de gözlenen kaliçi oluşumları, açık kırmızımsı kahverengi-beyaz renkli, katısert, killi kumlu siltli bir zemin olarak karşımıza çıkmaktadır (Şekil 9).



Şekil 8 Karbonat kabuk (hardpan) seviyelere ait üç eksenli deney sonuçları a) UCS > 5.0 MPa, b) UCS < 5.0 MPa

Figure 8 Three axial test results of hardpan a) UCS > 5.0 MPa, b) UCS < 5.0 MPa

Kaliçileşmiş zeminler silt boyutunda tanelerin yanı sıra kum ve kil boyutu malzemelerden oluşmakta ve iyi-orta derecelenmiş kumlu-killi SİLT olarak tanımlanmıştır. Ağırlıkça yüzde kil oranı % 2.00–34.00, silt oranı %34.2–84.5 kum oranı %5.64–34.2 ve çakıl oranı %0.66–25.3 arasında değişmektedir (Dinçer, 2007). Likit limit 12.50–41.90 arasında, plastik limit 10.39–36.33 arasında, plastisite indeksi 1.53–15.73 arasında, büzülme limiti 11.00-36.00 arasında ve aktivite değerleri 0.22-3.49 arasında değişmektedir. Kaliçileşmiş zeminler birleştirilmiş zemin sınıflamasında CL-ML zemin sınıflarında yer almakta olup, düşük plastisiteli kil ve düşük plastisiteli silt olarak tanımlanmışlardır.

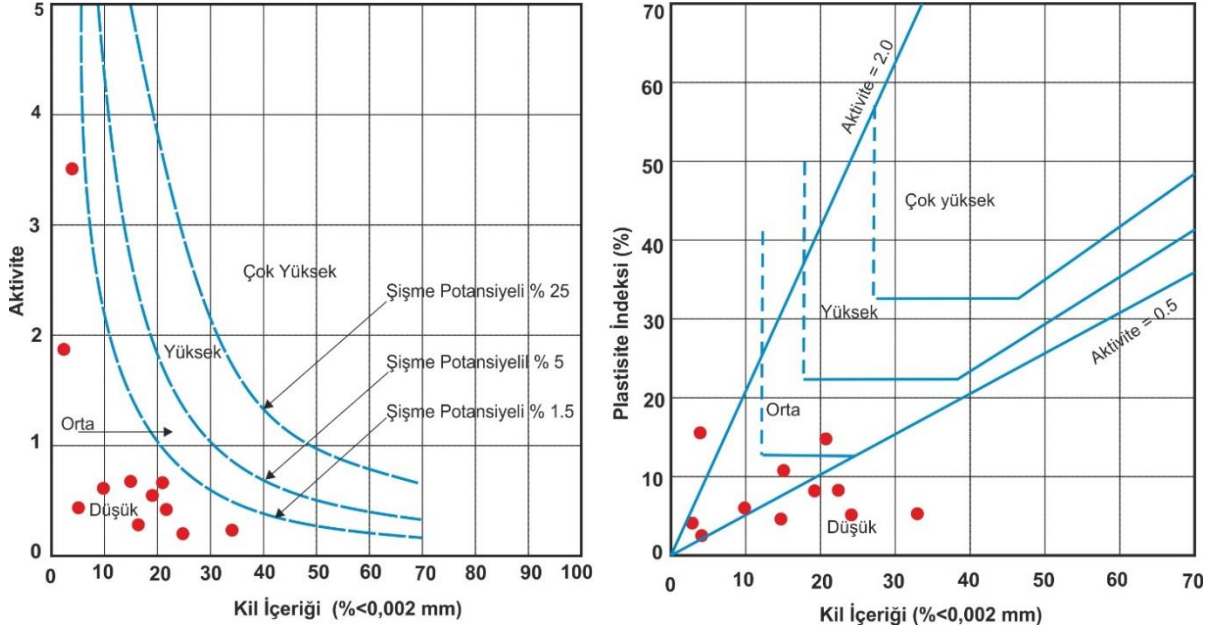


Şekil 9 Kaliçileşmiş zeminlerin (softpan) genel görünüşleri

*Figure 8 General view of different caliched soils*

Killi siltli kaliçileşmiş zemin örneklerinin Van Der Merwe (1964) tarafından geliştirilen ve daha sonra Williams ve Donaldson (1980) tarafından değiştirilerek önerilen abak ve Seed ve

diğ. (1962) tarafından önerilen şişme potansiyeli abağı üzerindeki dağılımları Şekil 10'de verilmiştir. Buna göre şişme ve aktivite açısından değerlendirildiğinde düşük şişme potansiyeline sahip aktif olmayan killere sınıfta yer almaktadırlar.



Şekil 10 Kaliçileşmiş zemin örneklerinin şişme potansiyeli değerlendirme abaklarındaki dağılımı

Figure 10 Distribution of caliche soils in swelling potential chart

## TARTIŞMA SONUÇLAR

Bölgede yayılım sunan kaliçi birimleri farklı litolojik ve jeoteknik özelliklere sahip olup, jeomekanik özellikleri göz önünde bulundurulduğunda; taraça, kaliçileşmiş taraça, karbonat kabuk (hardpan) ve kaliçileşmiş zemin (softpan) olmak üzere dört ayrı birim olarak tanımlanmıştır. Taraça, kaliçileşmiş taraça ve sert kaliçi yumuşak kaya özellikleri sunarken, softpan ise zemin özellikleri göstermektedir. Taraça, kaliçileşmiş taraça ve hardpan “çok düşük dayanımlı kaya” sınıfında yer almaktadırlar. Kaliçileşmiş zeminler ağırlıklı olarak silt boyutu tanelerden ve bunun yanında kum ve kil boyutu malzemeler içermektedirler. Birleştirilmiş zemin sınıflamasına CL-ML zemin sınıfında yer almakta olup, düşük plastisiteli kil ve düşük plastisiteli silt olarak tanımlanmıştır. Taraça, kaliçileşmiş taraça ve hardpan örnekleri genel olarak düşük gerilme koşullarında gevrekten sünek davranışa doğru bir geçiş yaparken, bazı örneklerde ise bu geçiş düşük gerilme koşullarında gerçekleşmemektedir.

Genel olarak bakıldığında kendi içinde düşük dayanımlı kayalar (< 5.0 MPa) gevrekten sünek davranışa geçiş düşük gerilme koşullarında gerçekleşmektedir.

Kalıçilerin fiziko-mekanik özelliklerindeki değişkenlik, kalıçilerin stratigrafik ilişkileri ve yayılımında da gözlenmektedir. Bu durum, kalıçilerin suya karşı hassasiyeti ve fiziko-mekanik özelliklerinin belirlenmesinde yaşanan güçlükler, kalıçilerin mühendislik jeolojisi açısından problemlili bir malzeme olmasında önemli rol oynamaktadır. Ayrıca söz konusu birim üzerinde hızla gelişmekte olan yapılaşma, ileride kalıçilerin temel zemini olarak da bir takım problemlerin kaynağı olması tetikleyecektir. Bundan dolayı kalıçilerin temel zemini olma açısından oturma ve taşıma gücü özelliklerinin de detaylı bir şekilde araştırılması önerilir.

### **KATKI BELİRTME**

Bu çalışma Çukurova Üniversitesi, Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi (BAP) tarafından MMF 2004D-19 numaralı ve TUBITAK (104Y189) numaralı projeler kapsamında desteklenmiştir.

### **KAYNAKLAR**

- ASTM D4318-87., 2005. Standard test methods for liquid limit, plastic limit, and plasticity index of soils. ASTM D4318-87, ASTM International, West Conshohocken, PA, USA
- Bell, F.G., 1994. A Survey of the Engineering Properties of Some Anhydrite and Gypsum from the North and Midlands of England, *Engineering Geology*, 38: 1-23.
- Bieniawski, Z.T., 1984. *Rock Mechanics Design In Mining And Tunneling*. AA Balkema, Rotterdam.
- Çetin, H., Demirtaş, R., 1999. Jeolojik ve Topoğrafik Faktörlerin 27 Haziran 1998 Adana Depremi hasar dağılımı üzerindeki etkisi. *Kentleşme ve Jeoloji Sempozyumu, Avcılar Belediye Başkanlığı*, 141-150.
- Deere, D.U., Miller, R.P., 1966. *Engineering Classification and Index Properties of the Intact Rock*. Air Force Lab. Tech. Rep. AFNLTR, 65-116, Albuquerque, NM.
- Dinçer, İ., 2007. Çukurova Bölgesi Kalıçı, Kalıçı-Taraça Birimlerinin Jeomekanik ve Dinamik Davranışlarının Değerlendirilmesi. Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Doktora Tezi, s, 207.



- Dinçer, İ., Acar, A., Kocaoğlu, A., 2010. Engineering properties and dynamic behavior of caliche deposits in a seismically active region in southern Turkey. *Engineering geology*, 111(1-4), 73-89.
- Gamble, J.C., 1971. *Durability-Plasticity Classification For Shales And Other Argillaceous Rocks*. Doktora Tezi, University of Illinois, Illinois, USA.
- Goudie, P. A., 1983. Calcrete. In Goudie A. S. & Pye K. (eds). *Chemical Sediments and Geomorphology: Precipitates and Residua in the Near-Surface Environment*, 93–132. Academic Press, London.
- Hoek, E., 1990. Estimating Mohr-Coulomb Friction and Cohesion Values from the Hoek-Brown Failure Criterion, *Int. J. Rock. Mech. Min. Sci. Geomech. Abst.*, 27, 227-229.
- Hoek, E., Carranza-Torres, C.T., Corkum, B., 2002. Hoek-Brown failure Criterion: 2002 edition. *Proceedings of the North American Rock Mechanics Society Meeting*, Toronto, Canada, 1–6.
- IAEG., 1979. Report of the Commission on Engineering Geological Mapping. *Bull IAEG* 19: 364–371.
- ISRM., 2007. *The Complete ISRM Suggested Methods for Rock Characterization, Testing and Monitoring: 1974-2007: Suggested Methods prepared by the Commission on Testing Methods*, R. Ulusay, and J.A. Hudson, J.A. (Editors), International Society for Rock Mechanics. ISRM Turkish National Group, Kozan Ofset, Ankara, 628 p.
- Mogi, K., 1966. Pressure Dependence on Rock Strength and Transition from Brittle Fracture to Ductile Flow. *Bull. Earthquake Res.Inst., Tokyo Univ.*, 44: 215- 232.
- Netterberg, F., 1967. Some road making properties of South African Calcretes, *Proc. 4th Reg. Conf. African Soil Mech. Fndn. Eng.*, Cape Town, 1, 77-81.
- Netterberg, F., 1971. Calcrete in road construction. *B.N.I.R.R., Pretoria, C.S.I.R. Res. Report*, 286, 73 pp.
- Netterberg, F., 1980. *Geology of Southern African Calcretes. I. Terminology, description, macrofeatures and classification*. *Trans. Geol. Soc. S.Afr.*, 83, 255-283.
- Ruellan, A., 1970. “*Quelques Réflexions sur la Paléopédologie*,” *Bzill. Ass. FU. Et. Quat.*, 23, 24: 179-180.
- Seed, H. B., Woodward Jr, R. J., & Lundgren, R. (1962). Prediction of swelling potential for compacted clays. *Journal of the soil mechanics and foundations division*, 88(3), 53-87.

- TS 1500., 2000. İnşaat Mühendisliğinde Zeminlerin Sınıflandırılması. TSE Yayını, 12sy, ANKARA.
- TS 1900., 1987. İnşaat Mühendisliğinde Zemin Laboratuvar Deneyleleri. TSE Yayını, 153sy, ANKARA.
- TS 1901, 1975. İnşaat Mühendisliğinde Sondaj Yolları ile Örselenmiş ve Örselenmemiş Numune Alma Yöntemleri. TSE Yayını, 74sy, ANKARA.
- Türkmen, S.,Yılmazer, Ö., 1988. Engeenering Geology of a Caliche Unt Which Caused Noticable Slope Failures Along the TAG Motorway, Turkey, Enviromental & Engineering Geoscience,4: 519-523.
- Ulusay, R., Aydan, Ö., Kumsar, H., Sönmez, H., 2000. Engineering Geological Characteristics of the 1998 Adana-Ceyhan Earthquake, with Particular Emphasis on Liquefaction Phenomena and the Role of Soil Behaviour, Bulletin of Engineering Geology and the Environment, 59, 2, 99-118.
- Van Der Merwe, D.H., 1964. The Prediction Of Heave From The Plasticity Index And The Percentage Clay Fraction Of Soils, The Civil Engineer's Afr Inst Civ Engrs, 6, 103-131.
- Williams, A.A.B., Donaldson, G., 1980. Building on Expansive Soils in South Africa, Proc 4th Int Conf Expansive Soils, Denver. 2, 834–838.
- Yılmazer, İ., Smith, I., 1992. Yumuşakken ve Sertken Seviyelerinden Oluşan Kalışın Jeolojik ve Jeoteknik Özellikleri. Türkiye Jeoloji Kurultayı Bülteni, 7,5, 145–152.