



## Adana yöresindeki kalışlerde iç yapı çökme potansiyelinin tahminine yönelik görgül bir yaklaşım

*An empirical approach to estimate internal structure collapse potential of the caliches at Adana region*

**Kıvanç ZORLU**

Mersin Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, 33342 Çiftlikköy, MERSİN

**K. Erçin KASAPOĞLU**

Hacettepe Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, 06532 Beytepe, ANKARA

### ÖZ

Çökebilir zeminler, kohezyonsuz veya düşük kohezyonlu, yüksek boşluk oranına dolayısıyla düşük doğal birim hacim ağırlığa sahip zeminlerdir. Bu tür zeminlerde sıkça görülen iç yapı çökmesine; yük artışı, ya da ıslanma veya bunların her ikisinin birden etkin rol oynadığı bir mekanizma neden olmaktadır. Bu çalışmada, Adana Organize Sanayi Bölgesi'nden alınmış kalış örnekleri üzerinde yapılan laboratuvar deneylerinden elde edilen parametreler esas alınarak, iç yapı çökme potansiyelinin görgül yaklaşımlarla tahmin edilmesi amaçlanmıştır. Bu amaç doğrultusunda, genellikle kurak ve yarı kurak iklim bölgelerinde gelişen kalış profilinin, siltli-kumlu seviyesinin jeomekanik özellikleri laboratuvar deneyleriyle belirlenmiştir. Bunun yanı sıra, bu seviyenin çökme potansiyelini belirlemeye yönelik olarak tek-odometre çökme deneyleri de gerçekleştirilmiştir. Çökme potansiyelinin tahmin edilmesini amaçlayan modellerin geliştirilmesinde, laboratuvar deneylerinden elde edilen parametreler kullanılarak basit regresyon analizlerinin yanı sıra, birleştirilmiş parametrelerin kullanıldığı regresyon analizleri de yapılmıştır. Basit regresyon analiz sonuçları dikkate alınarak, ince tane yüzdesi ile başlangıçtaki boşluk oranı ve ince tane yüzdesi ile birim hacim ağırlığın özgül ağırlığa oranının bağımsız değişkenler olarak kullanıldığı iki model geliştirilmiştir. Modellerin performanslarının sınanması amacıyla, VAF ve RMSE indisleri de hesaplanmıştır. VAF ve RMSE indisleri birinci model için sırasıyla; %84.4 ve 0.21, ikinci model için ise, %89.5 ve 0.1 olarak belirlenmiş ve her iki modelin de iyi bir tahmin performansına sahip olduğu sonucuna varılmıştır.

**Anahtar kelimeler:** Adana, basit regresyon, çökme potansiyeli, kalış.

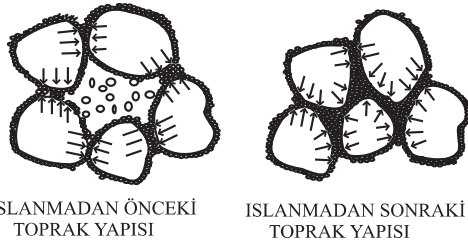
### ABSTRACT

*Collapsible soils are cohesionless or slightly cohesive soils with high void ratios, having low natural unit weight. The internal structure collapse, which occurs frequently in this type of soils, is caused by mechanisms such as load increase and wetting or combination of both. In this study, it is aimed to develop empirical models to estimate the internal structure collapse potential of the caliches collected from Adana Organized Industrial Zone utilizing some simple parameters such as unit weight, specific gravity etc. obtained from laboratory tests. For the purpose, some laboratory tests were performed to determine geomechanical properties of silty-sandy levels of the caliche profiles deposited in arid and semi-arid regions. In addition, single oedometer tests were also carried out to estimate the internal structure collapse potential of these levels. Furthermore, to establish a model, simple regression analyses were carried out using combined parameters obtained from laboratory tests. Two models were developed based on simple regression using fine grained percent, initial void ratio, unit weight and specific gravity as input parameters. VAF (values account for) and RMSE (root mean square error) indices were calculated to check the prediction performance of the models. VAF and RMSE indices were calculated as 84.36% and 0.21 for the first, and 89.53% and 0.1 for the second model, respectively. The calculated indices revealed that both models have good prediction capabilities.*

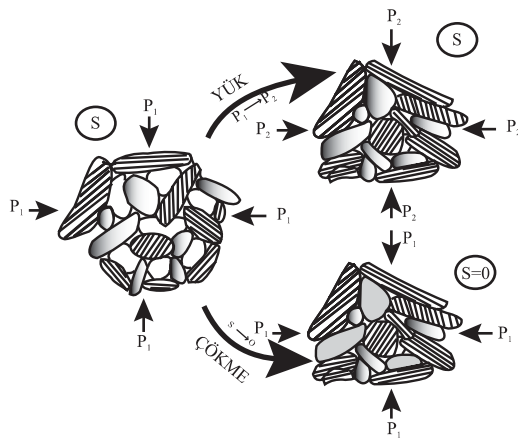
**Keywords:** Adana, simple regression, collapse potential, caliche.

## GİRİŞ

Yeryüzünde alansal yayılımları oldukça fazla olan çökebilir zeminler, özellikle bozunmuş granitik malzemeler, tüfler, alüvyon yelpazeleri, lössler ve karbonatlı kayaçların bulunduğu ortamlarda oluşmaktadır (Rogers, 1995). Bu tür zeminler genellikle çok az miktarda kil içeren, silt ve ince kum tane boyundaki malzemelerdir. Çökebilir zeminler; sabit gerilim altında, doymun duruma geçtiklerinde hacimlerinde önemli düzeyde azalmanın meydana gelmesiyle karakteristiktirler (Şekil 1). Bunun yanı sıra, yük artışı, ya da normal gerilimdeki artış da çökme mekanizmasının gelişmesine neden olabilmektedir (Şekil 2). Bu malzemeler, kuru durumda yüksek bir dayanım sergilemekle birlikte, çok düşük yoğunluğa, gözenekli bir yapıya ve ıslanmaları ha-



Şekil 1. Islanma ile oluşan çökme mekanizması (Rogers, 1995).  
Figure 1. Collapse mechanism triggered by wetting (Rogers, 1995).

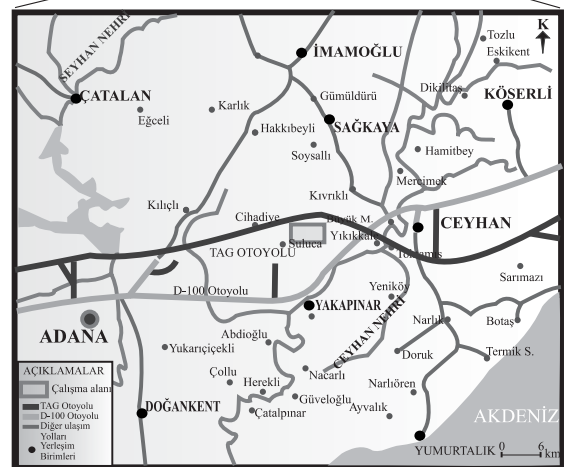


Şekil 2. Yük artışı ile oluşan çökme mekanizmasının mikroyapısal görünümü (Houston vd., 1998).  
Figure 2. Microstructural interpretation of loading and collapse mechanism (Houston vd., 1998).

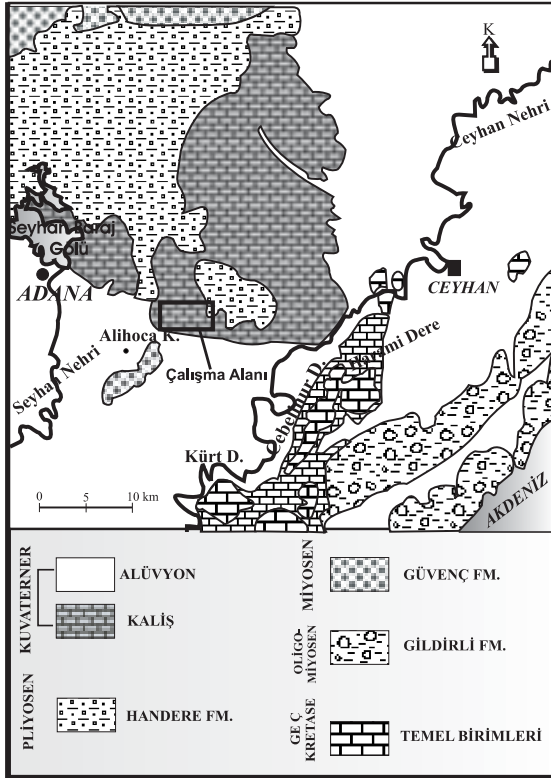
linde dayanımlarını kaybetme özelliğine sahiptir (Houston vd., 1998).

Özellikle kurak ve yarı kurak iklimlerin egemen olduğu bölgelerde gelişen ve kalsiyum karbonatın baskın olduğu karasal bir oluşum olarak tanımlanan kalişler, farklı litolojik özelliklere sahip seviyelerden oluşan bir profil sergilemektedir (Harrison, 1977; Goudie ve Pye, 1983; Scholle vd., 1983). Kaliş profili, en üstte bulunan ve yumuşak kaya niteliğindeki sert kaliş ile bu seviyenin altında yer alan, litolojik ve mineralojik özellikleri bakımından birbirinden ayrılan ve zemin özelliğine sahip yumuşak kaliş seviyelerinden oluşmaktadır.

Bu çalışma; Adana Organize Sanayi Bölgesi'nde (Şekil 3) yüzeylenen ve bu bölgedeki birimler içerisinde en geniş yayılıma sahip olan kalişler üzerinde gerçekleştirilmiştir (Şekil 4). Kurak ve yarı kurak iklim bölgelerinde, buharlaşma sonucu gelişen kalişleri en tipik özellikleri bir profil oluşturmalarıdır. Çalışma bölgesinde gelişen kaliş profili; killi seviye, siltli-kumlu seviye, çakıllı-bloklu seviye (yumuşak kaliş seviyesi) ve sert kaliş seviyelerinden oluşmaktadır.



Şekil 3. Çalışma alanının yer bulduru haritası.  
Figure 3. Location map of the study area.



Şekil 4. Çalışma alanı ve yakın çevresinin jeoloji haritası (Nurlu, 1998'den düzenlenmiştir).

Figure 4. Geological map of study area and close vicinity (arranged from Nurlu, 1998).

İkinci derece deprem bölgesinde yer alan çalışma alanında; kalış profilindeki bu litolojik farklılıklar, özellikle sert kalış ve yumuşak kalış sınırında rezonans farklarına yol açmakta ve deprem sırasında kalış üzerindeki yapıların hasar görmesine neden olmaktadır (Zorlu, 2003). Depremin kalış profili üzerindeki etkileri ayrı bir çalışma konusu olarak düşünülmüş olup, bu çalışma kapsamında, profilinin siltli-kumlu seviyesinde gelişen çökme mekanizmasının yanı sıra, çökme potansiyeli de araştırılmıştır. Bu seviyede, yük ve ıslanma koşullarındaki değişim sonucu oluşan çökme potansiyeli odometre deneyleri ile belirlenmiştir. Bunun yanı sıra, kalışın çökme potansiyelinin kestirimi amacıyla önerilecek görgül eşitliklerde kullanılmak üzere, siltli-kumlu seviyenin jeomekanik özelliklerini belirlemek amacıyla bir dizi laboratuvar deneyi de yapılmıştır. Çalışmanın amacı doğrultusunda, laboratuvar deneylerinden elde edilen parametrelerin bağımsız değişken olarak kullanıldığı regresyon analizleri gerçekleştirilmiş ve çökme potan-

siyelinin ön kestiriminde kullanılmak üzere iki model önerilmiştir.

### ÇÖKME POTANSİYELİNİN BELİRLENMESİNDE KULLANILAN DENEYSEL VE GÖRGÜL YAKLAŞIMLAR

Zeminlerin çökme potansiyelinin ( $C_p$ ) belirlenmesinde iki tür laboratuvar deneyinden yararlanılmaktadır. Bunlardan ilki çift-odometre, diğeri ise tek-odometre çökme deneyidir (Lutenegger ve Saber, 1988). Çift-odometre deneyinde, artarak değişen normal gerilim ( $\sigma_n$ ) aşamaları için, doğal nem içeriğine sahip ve tamamen doymuş örnekler arasındaki deformasyon farkı belirlenmektedir (Şekil 5a). Deneyin amacı, doğal nem içeriğindeki örneğin sabit bir normal gerilim altında ıslatıldığı andaki hacimsel değişimin belirlenmesidir. Özdeş iki örneğin hazırlanmasında karşılaşılan güçlükler nedeniyle, tek bir örnek üzerinde gerçekleştirilen tek-odometre deneyi, uygulama açısından daha uygun bir yöntem olarak öngörülmektedir. Tek-odometre deneyinde çökme potansiyeli, doğal nem içeriğindeki örselenmemiş örnek üzerinde yapılan konsolidasyon deneyi ile belirlenmektedir. Deneyde aşamalı olarak, 200 kPa normal gerilim değerine kadar yükleme yapılmakta ve örnek bu basınç aşamasında 24 saat doyurulmaktadır (Şekil 5b). Doyurulmuş örneğin yük altında boşluk oranındaki değişim belirlenerek çökme potansiyeli,  $C_p$ , aşağıdaki eşitlikten hesaplanmaktadır (ASTM, 1992).

$$C_p = \frac{e_1 - e_2}{1 + e_0} \quad (1)$$

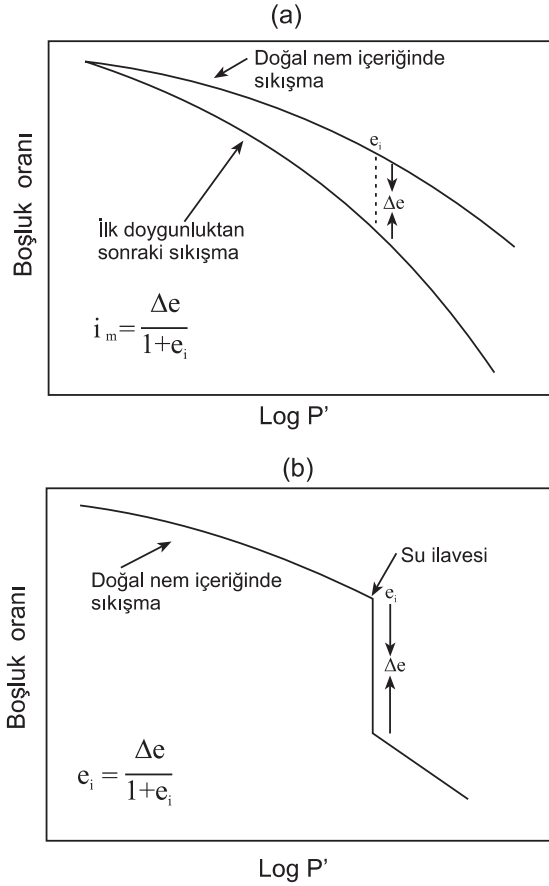
Burada;

$e_0$  : doğal boşluk oranı

$e_1$  : örneğin doyurulmadan önceki boşluk oranı

$e_2$  : örneğin doyurulduktan sonraki boşluk oranıdır.

Zeminin çökme potansiyelini belirlemek için gerçekleştirilen odometre deneyleri için gerekli olan örselenmemiş örneklerin alınması ve örneklerin deneye hazırlanması, özellikle siltli-kumlu zeminlerde oldukça güç olmakta ve sınırlı sayıda örnek üzerinde gerçekleştirilen deneylerle sonuçta gidilmektedir. Bu sınırlamaların aşılabilmesi amacıyla, çökme potansiyelinin laboratuvar deneylerine oranla daha pratik olan görgül ilişkiler yardımıyla tahminine yönelik amaçlarla geliştirilmiş ilişkiler de mevcuttur (Basma ve Tuncer,



Şekil 5 (a) Çift ve (b) tek odometre deneyleri.  
Figure 5. (a) Double and (b) single oedometer tests.

1992; Dipova, 2002). Basma ve Tuncer (1992)'nin çalışmasında; üniformluk katsayısı ( $C_u$ ), başlangıçtaki nem içeriği ( $w_i$ ), suyun yoğunluğu ( $\rho_w$ ) ve sıkıştırılmış örneğin kuru birim hacim ağırlığı ( $\gamma_d$ ) kullanılarak çökme potansiyelinin kestirimine yönelik görgül bir ilişki geliştirilmiştir. Bu görgül ilişki 0.94 gibi yüksek bir korelasyon katsayısına ( $r$ ) sahip olup, aşağıdaki eşitlikle verilmiştir.

$$C_p = 48.496 + 0.102 (C_u) - 0.457 (w_i) - 3.533 (\gamma_d) + 2.8 \ln(\rho_w) \quad (2)$$

Antalya'daki tufalarda gerçekleştirilen çalışmada ise, laboratuvar deneylerinden elde edilen parametreler kullanılarak görgül bir eşitlik geliştirilmiş olup, bu eşitlikte kullanılan parametreler; başlangıçtaki boşluk oranı ( $e_o$ ) ile ıslak elek ve kuru elekten geçen ince tane yüzdeleri arasındaki farktır (PFAW) (Dipova, 2002). Korelasyon katsayısı 0.9 olan görgül eşitlik aşağıda verilmiştir.

$$C_p = 4.203 (e_o) + 128.303 (1/PFAW) - 4.471 \quad (3)$$

Yukarıda değinilen her iki çalışmada da çökme potansiyeli için geliştirilen kestirim modelleri, çoklu regresyon analizleri kullanılarak üretilmiştir. Bu çalışmada ise, görgül ilişkilerin üretilmesinde kullanılan yöntem, daha önce yapılmış olan çalışmalardan daha farklı bir yaklaşım olup, bir sonraki bölümde ayrıntılı olarak sunulmuştur.

### İNCELENEN KALIŞLARIN MÜHENDİSLİK ÖZELLİKLERİ

Zeminin çökme potansiyeli; gözeneklilik, birim hacim ağırlık ve tane boyutu ile doğrudan ilişkilidir. Yüksek boşluk oranı ve düşük birim hacim ağırlığa sahip silt-kum boyutu malzelerde, yüzey suyunun ve yeraltı suyunun hareketi daha kolay olmaktadır. Bunun yanı sıra, yük artışı da tanelerin yeniden dizilmesinde ve çökme potansiyelinin artmasında rol oynayan en önemli faktörlerden biridir. Daha önce geliştirilmiş olan ilişkilerde kullanılan parametreler de dikkate alınarak, laboratuvarında, tek-odometre çökme deneyi ASTM (1992)'ye göre, doğal birim hacim ağırlık ve tane özgül ağırlık deneyleri ile tane boyutu dağılım çözümlenmeleri ise ASTM (1994)'ye göre yapılmıştır (Çizelge 1). Ayrıca, tek-odometre çökme deneyinde başlangıçtaki boşluk oranı da belirlenmiştir. Deneyler sonunda belirlenen ortalama değerler; doğal birim hacim ağırlık için  $17.46 \text{ kN/m}^3$ , tane özgül ağırlığı için 2.46, boşluk oranı için ise 0.456'dır. Tane boyutu dağılımı çözümlenmelerine göre; siltli-kumlu seviye ortalama % 9 kil, %39 silt, %41 kum ve % 11 çakıl içermektedir. Her bir deney, kalış profilinin siltli-kumlu seviyesinden alınan 20 adet örselenmemiş örnek üzerinde yapılmış olup, deneylerden elde edilen parametreler, önerilen görgül ilişkilerde girdi parametresi olarak kullanılmıştır. Bu parametreler, çökme mekanizmasının gelişmesinde rol oynayan en önemli malzeme özelliklerindedir.

### GÖRGÜL İLİŞKİLER

Çökme potansiyelinin belirlenmesinde kullanılmak üzere üretilen görgül eşitlikler, istatistiksel yöntemlerden yararlanılarak geliştirilmiştir. İstatistiksel analizlerin ilk aşamasını tek girdi parametresi kullanılarak gerçekleştirilen basit regresyon analizleri oluşturmuştur. Bu çalışmada

Çizelge 1. Laboratuvar deney sonuçlarının istatistiksel değerlendirilmesi.

Table 1. Statistical evaluations of laboratory tests results.

Parametre	En düşük	En yüksek	Ortalama	Standart sapma
$G_s$	2.32	2.54	2.46	0.06
$\gamma_n$ (kN/m <sup>3</sup> )	16.16	19.48	17.46	1.06
$i$ (%)	12.00	82.00	48.6	18.02
$C_p$ (%)	1.62	3.79	2.50	0.55
$e_0$	0.31	0.72	0.46	0.10

$G_s$ : tane özgül ağırlığı;  $\gamma_n$ : birim hacim ağırlık ;  $i$ : ince tane yüzdesi;  $C_p$ : çökme potansiyeli;  $e_0$ : başlangıçtaki boşluk oranı; tüm parametrelerin tayininde 20 örnek kullanılmıştır.

basit regresyon analizlerinin kullanılmasındaki amaç, çökme potansiyeli ile doğal birim hacim ağırlık ( $\gamma_n$ ), özgül ağırlık ( $G_s$ ), başlangıçtaki boşluk oranı ( $e_0$ ), sıkışabilirlik katsayısı ( $m_v$ ) ve ince tane yüzdesi ( $i$ ) gibi bağımsız değişkenler arasındaki ilişkinin türünü ve anlamlılık derecesini belirlemektir. İkinci aşamada, basit regresyon analizlerinden elde edilen eşitlikler kullanılarak yeniden oluşturulan birleştirilmiş parametreler (BP) değerlendirilmiştir. Günümüzde, farklı konularda da BP kullanılarak görgül kestirim modellerinin geliştirilmesine yönelik çalışmalar yapılmaktadır.

### Basit Regresyon Analizleri

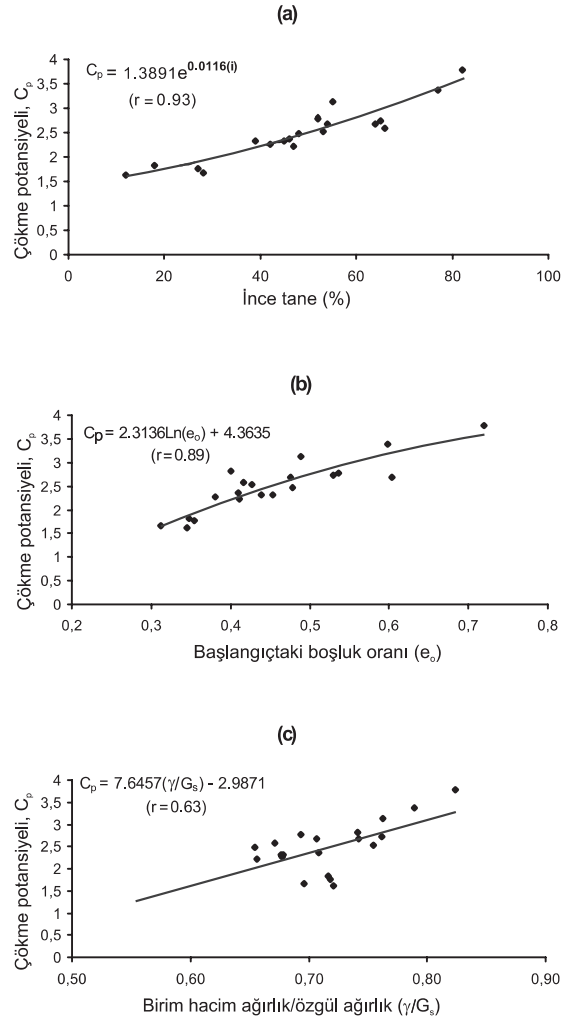
Basit regresyon analizleri, çökme potansiyeli ve bağımsız değişkenler ( $\gamma_n$ ,  $G_s$ ,  $e_0$  ve  $i$ ) arasında gerçekleştirilmiştir. Regresyon analizlerinde; doğrusal, logaritmik, üssel ve eksponansiyel fonksiyonlar kullanılmış olup, her bir ilişkinin korelasyon katsayıları ( $r$ ) belirlenmiştir. Çökme potansiyelinin tahmini amacıyla oluşturulan kestirim modelinde her bir parametre için en yüksek korelasyon katsayısına sahip fonksiyona ait eşitlik kullanılmıştır. Basit regresyon analizlerinden elde edilen ilişkiler aşağıda ve grafikleri ise Şekil 6'da verilmiştir.

$$C_p = 1.3891 e^{0.0116(i)} \quad (r = 0.93) \quad (4a)$$

$$C_p = 2.3136 \ln(e_0) + 4.3635 \quad (r = 0.89) \quad (4b)$$

$$C_p = 7.6457 (\gamma/G_s) - 2.9871 \quad (r = 0.63) \quad (4c)$$

Basit regresyon analizlerinden elde edilen eşitliklerin güvenilirliğini sınamak amacıyla yapılan F-testi sonuçlarına göre, hesaplanan  $f$  değerleri sifıra çok yakın olup, %95 güvenilikte eşitlikle-



Şekil 6. Çökme potansiyeli ile (a) ince tane yüzdesi, (b) başlangıçtaki boşluk oranı, (c) "birim hacim ağırlık/özgül ağırlık" arasındaki ilişkiler.

Figure 6. Relationships between collapse potential and (a) percent of fine grains (b) initial void ratio, (c) "unit weight/specific gravity" ratio.

rin anlamlı olduğu sonucuna varılmıştır. Bunun yanı sıra, yukarıda verilen eşitlikler oldukça yüksek korelasyon katsayılarına sahip olmakla birlikte, en büyük sınırlamaları tek bir bağımsız değişkeni esas almalarıdır. Gerçekte çökme potansiyelinin değişimi, malzemenin bir tek özelliği ile sınırlı kalmayıp, farklı malzeme özelliklerini temsil eden parametreler ile kontrol edilmektedir. Bu nedenle, birden fazla bağımsız değişkenin dikkate alındığı ve birleştirilmiş parametrelerin kullanıldığı bir dizi regresyon analizi de gerçekleştirilmiştir. İstatistiksel analizlerde kullanılan parametrelerden  $C_p$  ile  $e_0$  ve  $i$  arasındaki ilişki, Şekil 6'da görüldüğü gibi, doğrusal olmadığı

için, çoklu regresyon analizleri kullanılmamıştır. Yöntemsel olarak, bu çalışmadaki yaklaşıma benzer çalışmalarda önerilen kestirim modellerinin oluşturulmasında da çoklu regresyon analizleri tercih edilmemiştir (Gökçeoğlu vd., 2003; Sönmez vd., 2003).

### Birleştirilmiş Parametrelerin Kullanıldığı Regresyon Analizleri

Birleştirilmiş parametreler (BP), basit regresyon analizleri ile belirlenen eşitlikler dikkate alınarak üretilmiş ve daha yüksek korelasyon katsayılarına sahip ilişkiler elde edilmiştir. Analizlerde, doğal birim hacim ağırlığın özgül ağırlığa oranı ile başlangıçtaki boşluk oranı birlikte kullanılmamıştır. Bunun nedeni,  $e_o$ ,  $\gamma_n$  ve  $G_s$  arasında analitik bir ilişkinin varlığı ve bu ilişkiye göre,  $\gamma/G_s$ 'in "1" olduğu durumdur,  $e_o=0$  olmasıdır. Oysa pratikte böyle bir koşulun sağlanması mümkün değildir.

İlişkilerin oluşturulmasında, birleştirilmiş parametreler ile çökme potansiyeli arasındaki en yüksek korelasyon katsayısının elde edildiği eşitlikler kullanılmıştır. Bu eşitliklerden iki farklı ilişki üretilmiştir. Bu ilişkiler, çökme potansiyeli ile, "birim hacim ağırlık/ özgül ağırlık oranı" ile ince tane oranının yer aldığı  $BP_1$  ve başlangıçtaki boşluk oranı ve ince tane oranını içeren  $BP_2$  ilişkisidir. İlişkilerin oluşturulmasında kullanılan birleştirilmiş parametrelere ait grafik Şekil 7'de, ilgili eşitlikler ise aşağıda verilmiştir.

$$C_p = 1.718 \ln [(1.3891 e^{0.0116(i)}) * (7.6457 (\gamma/G_s) - 2.9871)] - 0.5928 \quad (r=0.92) \quad (5a)$$

$$BP_1 = (1.3891 e^{0.0116(i)}) * (7.6457 (\gamma/G_s) - 2.9871) \quad (5b)$$

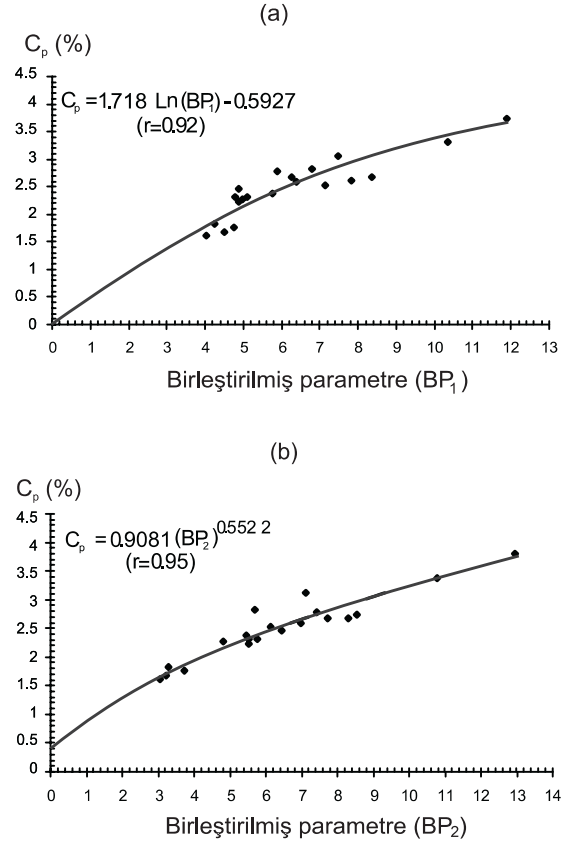
$$C_p = 1.718 \ln (BP_1) - 0.5928 \quad (5c)$$

$$C_p = 0.9077 [(1.3891 e^{0.0116(i)}) * (2.3136 \ln(e_o) + 4.3635)]^{0.5524} \quad (r=0.95) \quad (6a)$$

$$BP_2 = (1.3891 e^{0.0116(i)}) * (2.3136 \ln(e_o) + 4.3635) \quad (6b)$$

$$C_p = 0.9081 (BP_2)^{0.5522} \quad (6c)$$

BP eşitliklerin güvenilirliğinin sınanması amacıyla F-testi yapılmış olup, test sonuçlarına göre hesaplanan f değerleri bu eşitlikler için de sıfıra çok yakın olup, %95 güvenilikte eşitliklerin anlamlı olduğu sonucuna varılmıştır. Eşitliklerde kullanılan girdi parametreleri, laboratuvarda gerçekleştirilebilecek olan basit deneyler ( $\gamma$ ,  $i$ ,



Şekil 7. Çökme potansiyeli ( $C_p$ ) ile birleştirilmiş parametreler, (a)  $BP_1$  ve (b)  $BP_2$  arasındaki ilişkiler

Figure 7. Relationships between collapse potential ( $C_p$ ) and combined parameters (a)  $BP_1$  and (b)  $BP_2$ .

$G_s$  gibi) veya zemin mekaniği uygulamalarında kullanılmakta olan boşluk oranı eşitliği ( $e_o$  için) ile elde edilebilecek parametrelerdir. Çökme potansiyelinin belirlenmesi için gerekli olan örselenmemiş örneklerin, özellikle kum ve iri silt tane boyundaki malzemelerden alınması ve deneye hazırlanması sırasında karşılaşılan güçlükler ile deney için harcanan süre düşünüldüğünde, örselenmiş örnekler üzerinde gerçekleştirilen basit laboratuvar deneylerinden sonuca ulaşılması, büyük kolaylık sağlamaktadır. Özellikle kum ve iri silt tane boyutundaki malzemelerden örselenmemiş örnek alınması ve bunların standartlara uygun olarak deneye hazırlanması için özel örnek alma yöntemlerine ihtiyaç duyulmaktadır.

Çökme potansiyelinin kestirimi amacıyla türetilen ilişkilerin kullanıcıya kolaylık sağlaması

amacıyla üç parametrel bir abak hazırlanmıştır (Şekil 8). Bu abak, zeminde çökme mekanizmasının gelişebilmesi için sınır değeri olarak kabul edilen %20 ve daha az kil miktarı için geçerlidir.

Çökme potansiyelini belirlemeye yönelik olarak önerilen görgül ilişkilerin performansının sınanması amacıyla, öncelikle görgül eşitliklerden elde edilen sonuçların ve ölçülen değerlerin çarpaz kontrolleri yapılmıştır. Şekil 9'dan görüldüğü gibi, çökme potansiyeline ait veriler 1:1 çizgisi üzerinde yoğunlaşmakta ve oldukça yüksek korelasyon katsayıları vermektedir. Buna göre, çökme potansiyelinin tahmini amacıyla türetilen eşitliklerden hesaplanan korelasyon katsayıları ( $r$ ); "ince tane yüzdesi-başlangıçtaki boşluk oranı" ilişkisi için, 0.94 ve ince tane yüzdesi-birim hacim ağırlık/ özgül ağırlık oranı ilişkisi için, 0.90 olarak belirlenmiştir.

Çökme potansiyelinin tahmini amacıyla önerilen her iki ilişki için, ölçülen ve hesaplanan çökme potansiyeli değerleri Şekil 10a'da karşılaştırılabilir olarak sunulmuş olup, deneysel yöntemle belirlenen ve önerilen görgül ilişkilerle tahmin edilen çökme potansiyeli değerlerinin birbirine çok yakın oldukları anlaşılmıştır. Bu ilişkiler (Eş. 5a ve 6a) kullanılarak ölçülen çökme potansiyeli değerlerinin tahmin kapasitesini belirlenmesi

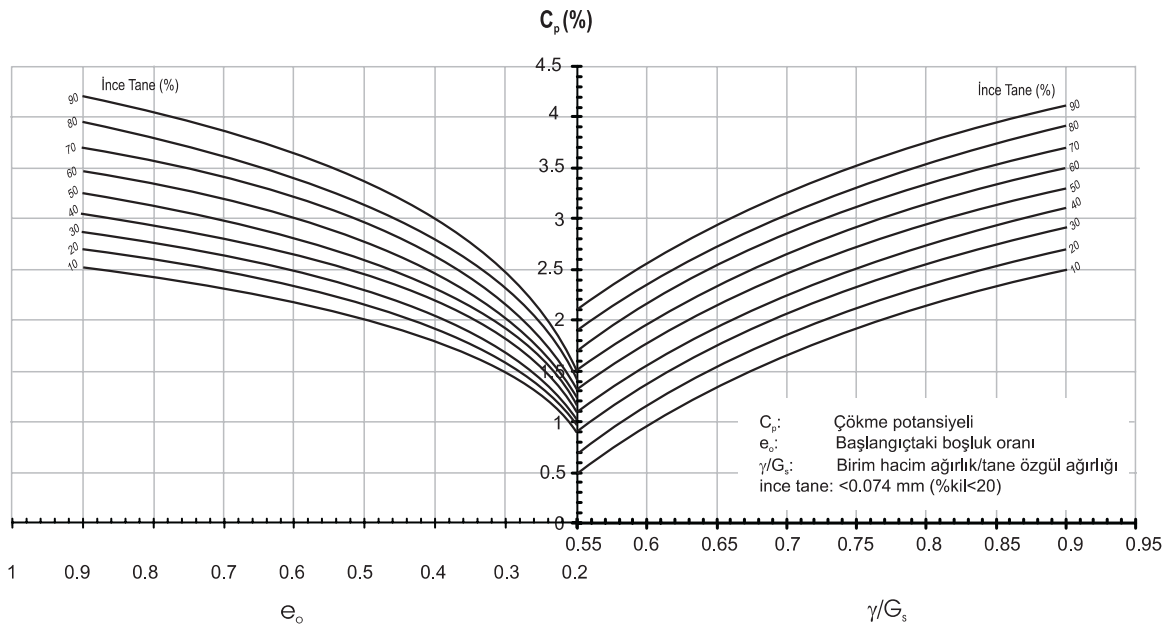
amacıyla, modellere ait VAF (Variance Account For) (Eş. 7) ve RMSE (karekök ortalama hata payı) (Eş. 8) performans indisleri de hesaplanmıştır.

$$VAF = \left[ 1 - \frac{\text{var}(y-y')}{\text{var}(y)} \right] \times 100 \quad (7)$$

$$RMSE = \sqrt{\left( \frac{1}{N} \right) \times \sum_{i=1}^N (y-y')^2} \quad (8)$$

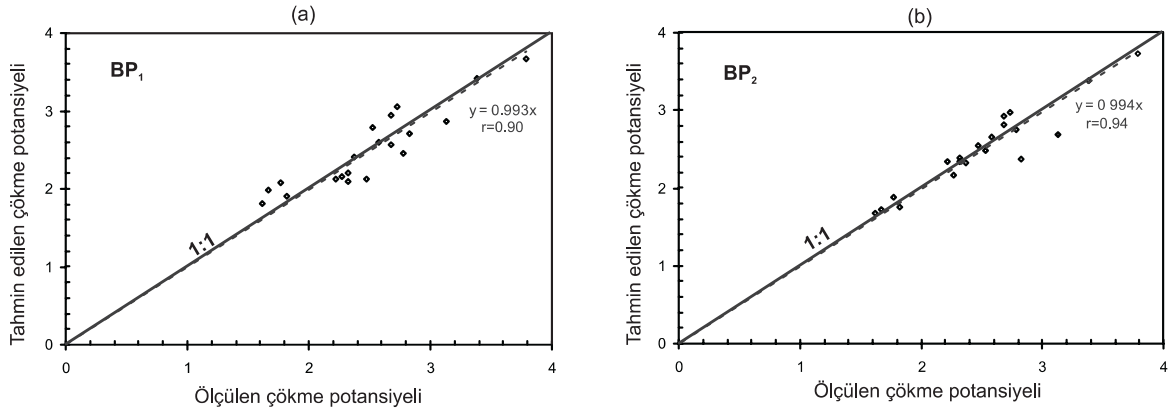
Burada;  $y$ , deneyden belirlenen çökme potansiyeli,  $y'$  ise görgül ilişkilerden (Eş. 5a ve 6a) tahmin edilen çökme potansiyelidir.

İlk ilişki ( $BP_1$ ) için hesaplanan VAF ve RMSE değerleri sırasıyla, %84.4 ve 0.21 ikinci ilişki ( $BP_2$ ) için ise sırasıyla %89.5 ve 0.1 olarak belirlenmiştir. Mükemmel bir kestirim kapasitesi için, VAF= %100 ve RMSE= 0 olması gerekmektedir. Hesaplanmış olan performans indeksleri, önerilen görgül eşitliklerin yüksek bir kestirim olanağı sağladığını göstermektedir. Ayrıca, her ilişki için eşitliklerden tahmin edilen değerlerdeki sapmalar aşağıdaki eşitlikte verilen % hata miktarı olarak hesaplanmış ve Şekil 10b'de sunulmuştur.



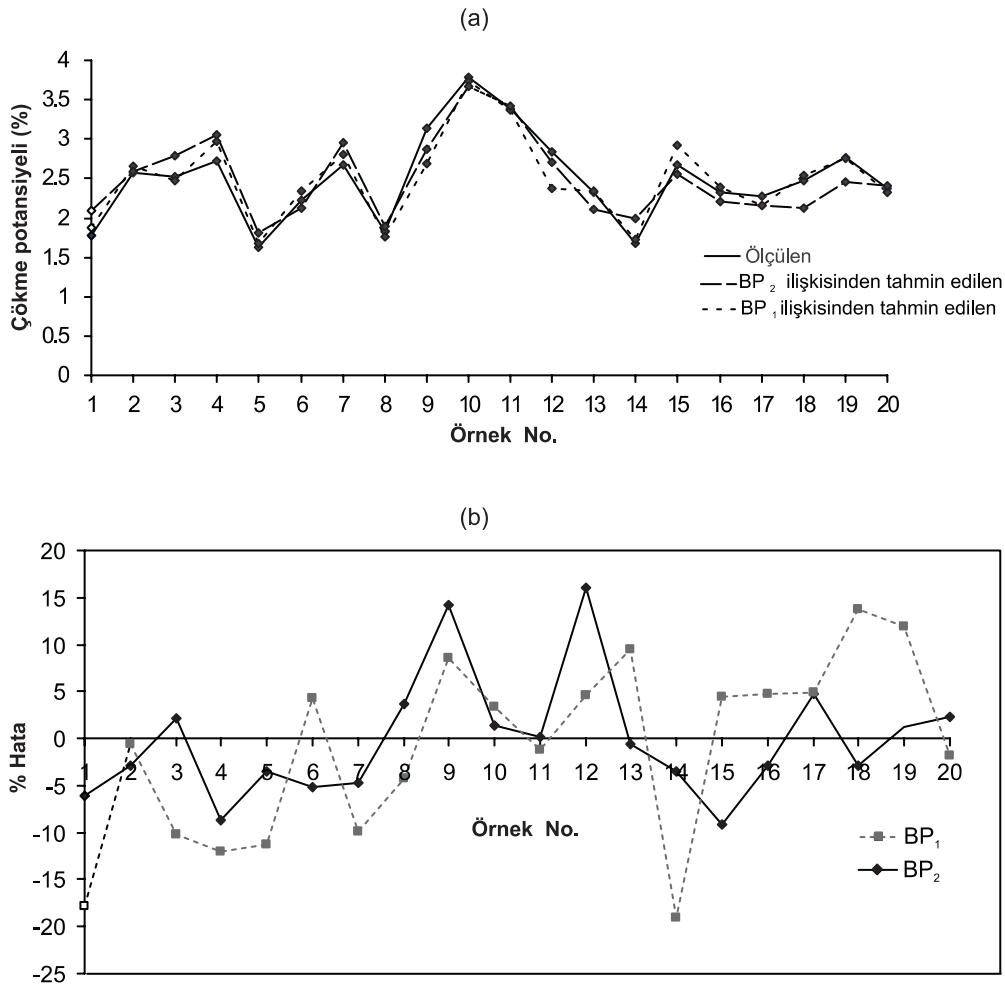
Şekil 8. Çökme potansiyelini kestirim abağı.

Figure 8. Prediction chart for collapse potential.



Şekil 9. Birleştirilmiş parametreler esas alınarak elde edilen kestirim ilişkilerinin çapraz kontrollerine ait grafikler: (a)  $BP_1$  ve (b)  $BP_2$ .

Figure 9. Cross-check graphs of the prediction equations including combined parameters: (a)  $BP_1$  and (b)  $BP_2$ .



Şekil 10. (a) Ölçülen ve tahmin edilen çökme potansiyelinin ve (b) ölçülen ve tahmin edilen çökme potansiyelinin % hata değerlerinin karşılaştırılması.

Figure 10. (a) Comparison of the measured and predicted values of collapse potential, and (b) of the measured and predicted % error values of the collapse potential.



$$\%Hata = \left( \frac{C_{pö} - C_{pt}}{C_{pö}} \right) \times 100 \quad (9)$$

Burada,  $C_{pö}$  deneysel olarak belirlenen,  $C_{pt}$  görgül ilişkilerden tahmin edilen çökme potansiyelidir. Hata yüzdeleri değerlendirildiğinde, her iki model için %hatanın  $\pm$  %15 sınırları arasında değiştiği gözlenmekle birlikte, ağırlıklı olarak hata oranı %10'dan daha düşüktür.

### SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu çalışmada, basit laboratuvar deneylerinden elde edilen parametreler esas alınarak Adana civarındaki kalışın iç yapı çökme potansiyelinin tahmin edilmesinde kullanılmak üzere iki ilişki önerilmiştir. Bu ilişkiler, Adana Organize Sanayi Bölgesi'nde yüzeylenen kalış türüne özel olarak geliştirilmiş olup, bu çalışmada önerilen görgül eşitliklerin diğer çökebilir zeminlere doğrudan uygulanmasının gerçekçi sonuçlar veremeyeceği dikkate alınmalıdır. Kullanıcıya kolaylık sağlanması amacıyla simetrik iki abak hazırlanmıştır. İlişkilerin performansının sınanması için deneysel olarak belirlenen ve görgül ilişkilerden tahmin edilen çökme potansiyeli değerlerinin çarpaz kontrolleri yapılmış ve bu ilişkilerin oldukça iyi bir kestirim performansına sahip olduğu belirlenmiştir. Bunun yanı sıra, her iki model için % hatanın  $\pm$  %15 sınırları arasında değiştiği, ağırlıklı olarak hata oranının %10'dan daha düşük olduğu anlaşılmıştır. Performans analizinin sonuçları, her iki ilişkinin de iyi bir tahmin performansına sahip olduğunu göstermiştir. Ancak bu ilişkilerde, kullanılan parametrelerinin değer aralıkları sadece çalışma alanına özgü olduğundan kullanıcıların bunu dikkate almaları önemli bir husustur. Farklı litolojilerdeki çökebilir zeminlerin yanı sıra, Adana-Mersin yöresindeki tüm kalışlarda yapılacak çalışmalar ile daha geniş bir dağılım aralığı oluşturularak önerilen ilişkilerin geliştirilmesinde yarar görülmektedir.

### KATKI BELİRTME

Yazarlar, değerli görüş ve katkılarından dolayı, dergi editörü Sn. Prof. Dr. Reşat ULUSAY'a ve Sn. Doç. Dr. Harun SÖNMEZ'e (Hacettepe Üniversitesi) teşekkür ederler.

### KAYNAKLAR

- ASTM (American Society of Testing and Materials), 1992. Annual Book of ASTM Standards, 04.08, 1391-1393.
- Basma, A. A., and Tuncer, E. R., 1992. Evaluation and control of collapsible soils. *Journal of Geotechnical Engineering*, ASCE, 118, 1491-1504.
- Dipova, N., 2002. Antalya tufa çökellerinin çökme mekanizması. Doktora Tezi, Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, 197s (yayımlanmamış).
- Goudie, P. A., and Pye, K., 1983. *Chemical sediments and geomorphology*. Academic Press, London, 93-131.
- Gökçeoğlu, C., Sönmez, H., and Kayabaşı, A., 2003. Predicting deformation moduli of rock masses. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Science* 40 (5), 703-712.
- Harrison, R. S., 1977. Caliche profiles: Indicators of near surface subaerial diagenesis, Barbados. *West Indies Bulletin of Canadian Petroleum Geology*, 25 (1), 123-173.
- Houston, S. L., Houston, W. N., and Spadola, D. J., 1998. Prediction of field collapse of soils due to wetting. *Journal of Geotechnical Engineering*, ASCE, 114 (1), 40-58.
- Lutenegger, A. J., and Saber, R. T., 1988. Determination of collapse potential of soils. *Geotechnical Testing Journal*, 11 (3), 173-178.
- Nurlu, M., 1998. 27 Haziran Adana-Ceyhan Depremi ön raporu. Afet İşleri Genel Müdürlüğü, Deprem Araştırma Daire Başkanlığı, Rapor No. DEP2, 852/1 (yayımlanmamış).
- Rogers, C. D. F., 1995. Types and distribution of collapsible soils, In: E., Derbyshire, T., Dijkstra, and I. Smalley (eds.), *Genesis and Properties of Collapsible soils*, NATO ASI Series, Kluwer Academic Publisher, Netherlands, 1-17.
- Scholle, P. A., Bebout, D. G., and Moore, C. H., 1983. Carbonate depositional environments. *American Association of Geological Member*, 33, 2-54.
- Sönmez, H., Gökçeoğlu, C., Kasapoğlu, K.E., Tuncay, E., and Zorlu, K., 2003. Suggested empirical equations for estimating modulus of elasticity of intact rock. *Journal of the South African Institute of Mining and Metallurgy* (incelemede).
- Zorlu, K., 2003. Adana organize sanayi bölgesindeki kalışların jeomekanik özelliklerinin ve iç yapı çökme mekanizmasının incelenmesi. Doktora Tezi, Hacettepe Üniversitesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, 153 s (yayımlanmamış).