

## Kale-i Tavas (Tabae) antik kentinin (Kale-Denizli) jeolojik ve jeoteknik özellikleri

### Geological and geotechnical characteristics of Kale-i Tavas (Tabae) ancient city (Kale-DENİZLİ)

Turgay BEYAZ<sup>1\*</sup>, Mustafa Selman ARSAY<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Fakültesi, Pamukkale Üniversitesi, Denizli, Türkiye.  
tbeyaz@pau.edu.tr

<sup>2</sup>Denizli Adliyesi, Denizli, Türkiye.  
mustafa.selman.arsay@adalet.gov.tr

Geliş Tarihi/Received: 04.04.2016, Kabul Tarihi/Accepted: 03.05.2016  
\* Yazışılan yazar/Corresponding author

doi: 10.5505/pajes.2016.48752  
Araştırma Makalesi/Research Article

#### Öz

Antik bir yerleşim yeri olan Kale-i Tavas (Tabae) bir tepe üzerine kurulmuştur. En üstte yatay tabakalı gösel kireçtaşı birimi ve altında çakıllı, kumlu ve killi birimler yer almaktadır. İki jeolojik birim arasında açılabilir uyumsuzluk vardır. Jeolojik birimler, çatlaklıdır. Tabae, heyelan ve kaya düşmeleri nedeniyle 1954 yılında terk edilmiştir. Tabae'da tarihi dönemlerden beri, insan eliyle kazılmış su tutma yapıları (sarnıç, kuyu, yeraltı açıklığı, galeri vb.) bulunmaktadır. Yağış suları buralarda biriktirilerek kullanılmıştır. Kütle hareketlerinin meydana gelmesinde çatlakların, suyun ve depremlerin etkisinin olup-olmadığı araştırılmıştır. Alan içerisinde tespit edilen kuyular, sarnıçlar, çatlaklar, litolojik birimler 1/2000 ölçekli haritaya aktarılmıştır. Denizli ve çevresi 1. derece deprem bölgesindedir. Bölgede, birçok hasar yapıcı deprem meydana gelmiştir. Laboratuvar da deneyler yapmak amacıyla kaya ve zemin örnekleri alınmıştır. Kuru halde kaya numunelerin yoğunluğu: 23.3-24.4 kN/m<sup>3</sup> ve tek eksenli sıkışma dayanımı: 12-25 MPa arasındadır; ıslak halde yoğunluk 23.7-25.6 kN/m<sup>3</sup> ve tek eksenli sıkışma dayanımı: 5-12 MPa değerleri arasında değişmektedir. Çatlak içine dolan suyun donması, deprem, boşluk suyu basıncının artması ve nemlenmeye bağlı kohezyon değerinin azalması vb. faktörler kütle hareketlerini hızlandıran başlıca etkenlerdir. Siltli killi kumlarda yapılan deneylerde kohezyon 16-25 kPa; içsel sürtünme açısı 18-20° arasında değişmektedir. Elde edilen tüm bulgular bir arada değerlendirildiğinde; insanlar tarafından kazılan su tutma yapılarının ve çatlakların çalışma alanındaki kütle hareketlerini tetiklediği sonucuna varılmıştır.

**Anahtar kelimeler:** Kale-i Tavas, Tabae, Kütle hareketi, Heyelan, Çatlak, Su tutma yapıları

#### Abstract

Kale-i Tavas (Tabae) which is an ancient settlement was established on a hill. At the top of the geological units horizontally layered lacustrine limestone and under gravel, sand and clay units located. There is an angular unconformity between two geological units. Geological units are fractured. Tabae, was abandoned due to landslides and rock falls in 1954. Since the historical period, man made water retaining structures (cisterns, wells, underground openings, galleries etc.) are available to collect. The effects of fractures, water, and earthquake have been investigated on the mass movements. The wells, cisterns, lithological units, and fractures that are detected in the area, were transferred to 1/2000 scale map. Denizli city and vicinity has the 1st degree earthquake risk zone. In the region, many destructive earthquakes have occurred. Rock and soil samples were taken for experimentation in the laboratory. In the dry state the density of rock samples: 23.3-24.4 kN/m<sup>3</sup> and uniaxial compressive strength: between 12-25 MPa; In the wet state the density of rock samples: 23.7-25.6 kN/m<sup>3</sup> and uniaxial compressive strength: 5-12 MPa values ranged from. Freezing of the water filled into the fractures, earthquake, increase of pore water pressure, and decreasing cohesion due to moisture etc. are major factors accelerating the mass movement. In experiments conducted in silty clayey sand cohesion 16-25 kPa; friction angle varies between 18-20°. When all the results evaluated together; water retaining structures and fractures have accelerated occurring to the mass movements.

**Keywords:** Kale-i Tavas, Tabae, Mass movement, Landslides, Fracture, Water retention structure

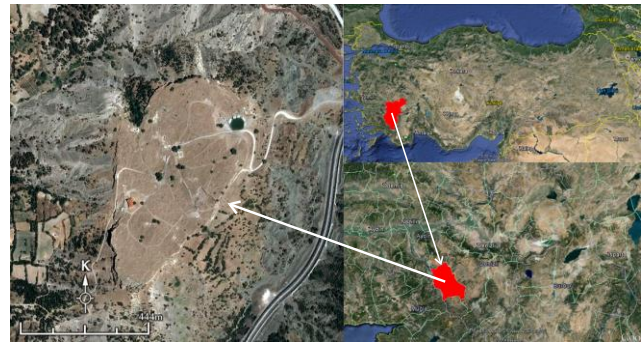
## 1 Giriş

Antik bir yerleşim yeri olan Kale-i Tavas (Tabae), Denizli'den 70 km uzaklıkta Kale ilçesinin güneyinde bir tepe üzerine kurulmuştur (Şekil 1). Eski çağlardan 1950'li yıllara kadar, önemli bir ticaret ve yönetim merkezidir. Anadolu tarihi açısından, üzerinde yaşamış olan her kültüre ait izleri barındıran bir yerleşim alanıdır [1]. Yaklaşık 1 km<sup>2</sup>'lik bir alanı kaplamaktadır. Tabae, heyelan ve kaya düşmeleri nedeniyle 1954 yılında terk edilmiştir.

Bu çalışmada;

- Eski Kale (Tabae) yerleşiminin boşaltılmasına neden olan heyelanlar, kütle hareketleri vb. doğal afetler,
- Tabae yerleşim alanındaki su yapıları ile heyelanlar arasında bir ilişki olup olmadığı,

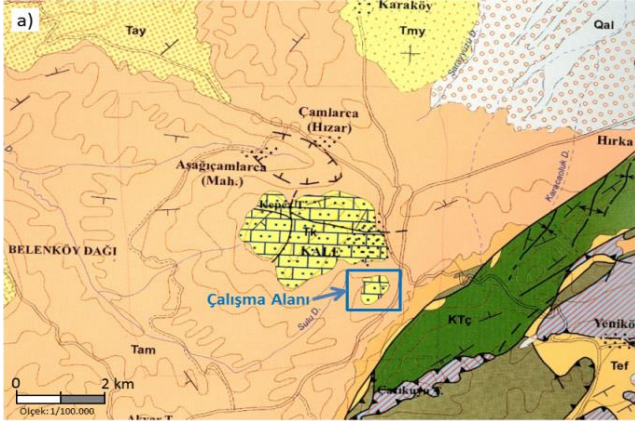
- Tabae antik kentinin jeoteknik özellikleri ve problemleri araştırılmıştır.



Şekil 1: Tabae (Kale-Denizli) yer bulduru haritası [7].

## 2 Jeoloji

Çalışma alanı, yaklaşık 1 km<sup>2</sup>'lik bir alandır. Bu alanda sadece 2 litolojik birim bulunmaktadır. Kale-i Tavas (Tabae) antik kentinin bulunduğu bu alanda alttaki çakıllı, kumlu ve killi birimler yaklaşık 55° eğime sahiptir. Bu birimin üstünde, ortalama 15 m kalınlığında, tabakalı ve yaklaşık 10° eğimli kireçtaşı-marn birimi bulunmaktadır (Şekil 2). Kireçtaşının kalınlığı alanın her yerinde aynı olmayıp, 7 m ile 20 m arasında değişmektedir. İki jeolojik birim arasında açılal uyumsuzluk vardır.



SİSTEM	SERİ	GRUP	FORMASYON	KALINLIK	LİTOLOJİ	AÇIKLAMALAR										
T E R S İ Y E R	Kuvaterner			70m		Konglomera - çamurtaşı										
							Üst Miyosen	Milet	~150m		Mikritik, killi kireçtaşı					
												Orta Miyosen	Yatağan	~280m		Konglomera - çamurtaşı - kumtaşı, tuf, tüfit
	Alt Miyosen	Kale	Kürar	~90m	~70m		Kırıntılı-killi-resifal kireçtaşı, konglomera - kumtaşı - çamurtaşı									
								Yenidere	~450m		Konglomera - kumtaşı - çamurtaşı - silttaşı - kilttaşı killi kireçtaşı, linyit					
												Mortuma	2400m		Konglomera - kumtaşı - silttaşı - kilttaşı - linyit	
	Oligosen	Karakere			425m		Konglomera - çamurtaşı - kumtaşı									
								Temel Kayalar				Kuvarsit, mermer, şist, kireçtaşı, ofiyolitik kayac				

Şekil 2: (a): ve (b): Kale bölgesinin 1/100 000 ölçekli jeoloji haritası ve genelleştirilmiş stratigrafik dikme kesiti [5],[6],[21].

### 2.1 Mortuma formasyonu (Tam)

Alt bölümü örgülü ırmak, üst bölümü ise menderesli ırmak ortamında birikmiş olan Mortuma Formasyonunun (Şekil 3a ve 3b) temel kayaçları ile dokanağı genel olarak faylıdır. Formasyonun alt bölümü sarımsı kahverengi, çapraz ve paralel katmanlı çakıltaşı, kumtaşı ardananmasından; üst bölümü ise sarımsı, kahve, gri ve yeşil renkli genellikle çakıltaşlarıyla başlayan çapraz ve paralel tabakalı kumtaşı-ince linyit düzeyli, silttaşı ve kilttaşı ardananmasından oluşur [2]-[6].

Temel kayaçları ile dokanağı genel olarak faylı olan Mortuma Formasyonunun, alt bölümü sarımsı-kahverengi, çapraz ve paralel tabakalı çakıltaşı-kumtaşı ardananmasından; Üst bölümü sarımsı, kahve, gri ve yeşil renkli çakıltaşlarıyla başlayan çapraz ve paralel tabakalı kumtaşı, ince linyit ara tabakalı silttaşı-kilttaşı ardananmasından oluşur [2]-[6],[8]-[11].



Şekil 3: (a): ve (b): Mortuma formasyonu (alttaki birim) ve Kale Formasyonu (üstteki birim) arasındaki açılal uyumsuzluk.

### 2.2 Yenidere formasyonu (Tay)

Yenidere formasyonu genel olarak sarımsı kahve ve boz renkli, çok kötü boylanmış, matris destekli, tabakasız veya kalın-çok kalın tabakalıdır. Çakıltaşı, kumtaşı, çamurtaşı; laminalı, çapraz veya paralel tabakalı, yarı köşeli çakıllı, kötü boylanmış bloklu çamurtaşı; killi kireçtaşı ara katmanlı silttaşı ve kilttaşından ve kaba kumtaşı; çok gevşek tutturulmuş siltli kum(taşı) tabakalarının ardananmasından oluşur [2]-[6],[8]-[11].

### 2.3 Kale formasyonu (Tk)

Genelde sarımsı beyaz renkli olan formasyon, çakıltaşı-kumtaşı ardananması ile başlar ve yer yer çamurtaşı ara katkısı içerir. Bu ardananmadan sonra kireçtaşlarına geçer. Formasyon tabanında blok ve çakıl içerikli, makrofosilli kumtaşları yer alır. İnce-orta paralel katmanlı, killi kireçtaşları bol fosillidir. Genelde istiftaşı, yer yer tanetaşı niteliğindeki biyoklastik kireçtaşları bol fosillidir. Kalın-çok kalın paralel katmanlı resifal



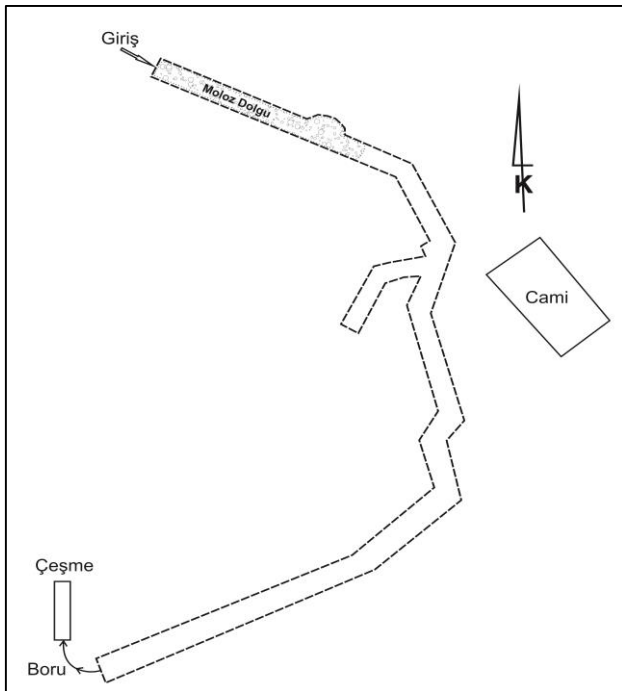
kireçtaşları yama resiflerini temsil eder. Kale formasyonu Mortuma formasyonu üzerine aşıl uyumsuzlukla oturur. İçerdiği birimler alüvyon yelpazesinde ve sığ karbonat platformunda çökeldiğinin göstergesidir [2]-[6],[8]-[11],[21] (Şekil 4).



Şekil 4: Kale formasyonunda çapraz tabakalı kumtaşları.

### 3 Tarihçe ve arkeoloji

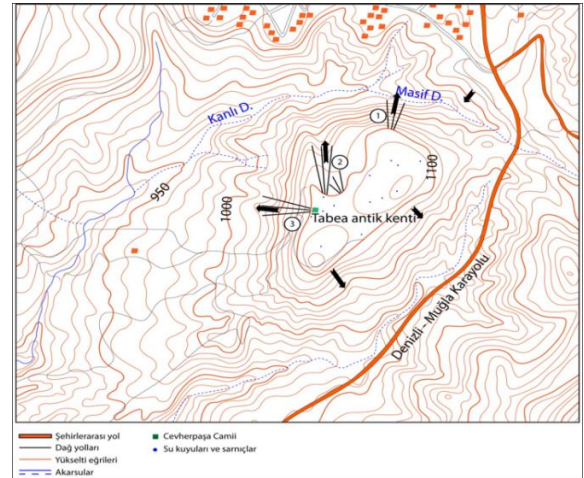
Büyük İskender'in Makedonya seferinden sonra (MÖ. 334) kurulduğu kabul edilen Tabae'da, son kazılarda Orta ve Geç Tunç Çağı'na (MÖ. 2500) ait seramik buluntular çıkarılmış [12] ve dolayısıyla şimdiki bilinen tarihten 2200 yıl önce yerleşimin başladığı tesbit edilmiştir. Tabae'da, kayaya oyulmuş nişli bina, yine kayalara oyulmuş tek odalı evler, 366 adet havalandırma/ışıklandırma bacası [13], insan eliyle kazılmış sarnıç, kuyu, yeraltı açıklığı, galeri, yeraltı deposu vb. birçok kaya veya yeraltı su tutma yapısı bulunmaktadır (Şekil 5, 6, 7, 8 ve 9). Bu özelliklere sahip bir "yeraltı su tutma yapısı" arazi çalışmaları sırasında, Cevher Paşa Camisi'nin batısında, tespit edilmiş ve yapılan ölçümlerle krokisi çıkarılmıştır (Şekil 5).



Şekil 5: Yer altı açıklığının krokisi (ölçeksizdir).



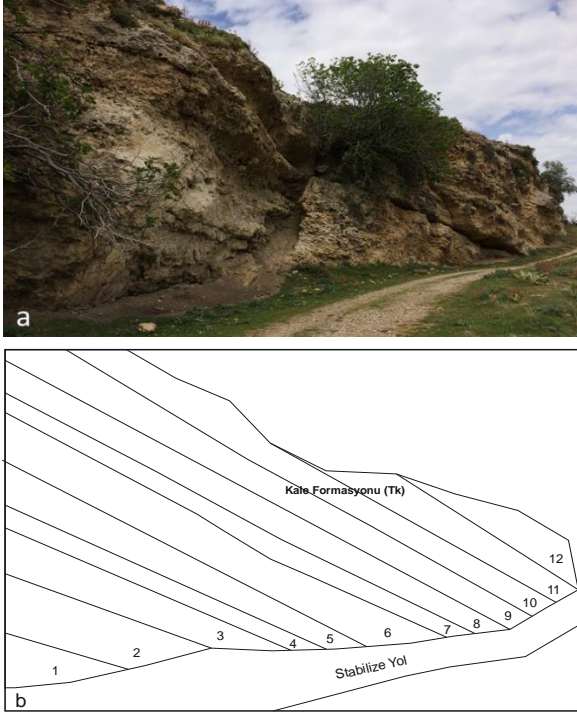
Şekil 6: (a): Yeraltı açıklığının girişi ve (b): Aynı açıklığın içerisi.



Şekil 7: Kale-i Tavas yerleşim alanı çevresindeki kütle hareketi yerleri ve oklarla belirtilen hareket yönleri (ölçeksizdir).



Şekil 8: Çatlaklar arasından sızan zemin suyu.



Şekil 9: (a): ve (b): Schmidt yüzey sertliği ölçümlerinin alındığı lokasyonun fotoğrafı ve şematik gösterimi.

Bu yeraltı açıklığı kazı başkanlığına da rapor olarak sunulmuştur. Buralarda biriktirilen yağış suları, evlerde ve iş atölyelerinde kullanılmıştır. Bunlara ait veriler kazı alanındaki birkaç yerde görülebilmektedir. Bu tür yer altı açıklıklarının sadece bir bölümünün yeri tespit edilebilmiştir. Alandaki kazı çalışmaları devam ettikçe, diğer yeraltı açıklıklarının yeri de belirlenebilecektir.

Marn (killi kireçtaşı) üzerine kurulu olan Tabae'de, nem içeriğine bağlı olarak kayalar kolayca oyulmuş ve kazılmıştır. Yeraltı açıklıklarının ve galerilerin, çatlak takımları boyunca veya doğal oyukların genişletilmesine bağlı olarak açıldığı gözlenmektedir. Marn'ın doğal yapısı gereği, yamaça paralel çatlaklar boyunca, yarılmalar, kopmalar ve kaya düşmeleri de meydana gelmiştir [14]. 1950'li yıllarda meydana gelen kütle hareketleri nedeniyle (o tarihlerde meydana gelen büyük depremlerin de etkisiyle), kent terk edilmeye başlanmış ve yaklaşık 1 km kuzeye yani bugünkü yerine taşınmıştır.

Su kaynakları açısından fakir olan bir tepe üzerinde şapka gibi duran marn biriminde; büyük bir su kütesinin tutulabilmesi, ihtiyaç duyulan miktarda suyun hemen temin edilebilmesi ve gerektiğinde iş atölyelerine hızlıca su temin edilebilmesi için çatlak takımları izlenerek veya mevcut oyuklar genişletilerek, büyük yeraltı su depoları oluşturulmuştur.

Kale-i Tavas (Tabae) antik kentindeki su sistemleri; su yolları, su galerileri (depolar), sarnıçlar, kuyular ve çeşmeler olarak sınıflandırılabilir [15]. Tabae'daki su sistemi, uygulanma biçimi ve birbiriyle bağlantılı yapısı nedeniyle, kendine has bir özellik göstermektedir. Günümüzde yeraltı su sistemlerinin büyük bir bölümünün içerisi molozla dolmuş/doldurulmuş durumdadır. Su sistemlerinin açıldığı dönemlerde; yerini gizlemek, insan müdahalesinden korumak, su kaçışını engellemek (su bendi niteliği kazandırmak) ve olası dış risklere karşı güvenlik amacıyla su yapılarının ağız kısmı önemli miktarda moloz ile doldurulmuştur.

Galeri/su deposu içerisinde yapılan incelemeler sonucunda, yeraltı açıklığının daha önceden var olan çatlak takımının (belki eskiden var olan bir erime boşluğunun) gidişi kılavuz kabul edilerek açılmış olduğu kanaatine varılmıştır (Şekil 6a ve b).

## 4 Jeoteknik çalışmalar

Tabae çevresinde heyelan, kaya düşmeleri vb. kütle hareketi emarelerine rastlanmıştır. Kütle hareketlerinin meydana gelmesinde çatlakların, suyun ve depremlerin etkisinin olup-olmadığı araştırılmıştır. Alan içerisinde tesbit edilen kuyular, sarnıçlar, çatlaklar, litolojik birimler 1/2000 ölçekli topografik haritaya aktarılmıştır (Şekil 7).

### 4.1 Kütle hareketleri

Kütle hareketleri, genelde yerçekimi etkisiyle oluşurlar. Fakat süreci hızlandıran bazı iç ve dış etkenler vardır. Bunlar:

- Yamaç kazıları,
- Yamaç topuklarının akarsu tarafından oyulması, aşınması, yamaç eğiminin artması,
- Yüzey sularının zemine sızmasının kolaylaşması,
- Çatlaklara dolan suyun donması,
- Depremler,
- Bölgedeki patlatmalar,
- Boşluk suyu basıncının artması ve
- Kohezyon değerindeki değişimler olarak sıralanabilir. Zaman içerisinde gevşek birimlerin heyelanla aşağı kayması üstteki kaya birimlerinin altına oyulmasına etki etmiş ve kaya kütlelerinde çatlaklar gelişerek, kayalarda devrilmelere neden olmuştur. Bu olay bir döngü halinde aşağıda kayma, üstte çatlak oluşumu ve devrilme şeklinde tekrar etmektedir. Olayı zaman içerisinde meydana gelen depremler de tetiklemektedir.

#### 4.1.1 Kütle hareketlerini etkileyen faktörler

Çalışma alanındaki kütle hareketlerinin oluşmasına etki eden başlıca faktörler:

- Litoloji (jeolojik birimleri),
- Kırık ve çatlaklar (doğrultusu, eğimi, devamlılığı, açıklığı, açıklığın dolgunsuz oluşu, cinsi, mekanik özellikleri, kimyası, süreksizlik aralığı),
- Yamaç eğitimi,
- Tabaka eğitimi,
- Yeraltı Suyu (Şekil 8),
- Depremler (Tablo 2),
- Yeraltı açıklıkları (su toplama kapasitesi),
- Şev topuğunun aşındırılması,
- Kazılar [16],
- Erozyon,
- İklim,
- Günlenme,
- Zemine sızan/tutulan su,
- Çözünür kayaların varlığıdır [17].

Kaya kütlelerinde gözeneklilik, oolitik taneler, bağlayıcının zayıflığı, fosil içeriği, masif olup-olmaması, biyolojik içerik, vb. faktörlere bağlı olarak, dayanım değerleri değişmektedir. Bu tür farklı özelliklerin kaya kütlelerinin kopmasını, devrilmesini, düşmesini; kütle hareketlerinin oluşumunu tetiklediği düşünülmektedir. Bunun araştırılması için, arazide kaya



kütlelerinden sistematik olarak Schmidt yüzey sertliği değerleri (R) ölçülmüştür (Şekil 9a ve b).

Schmidt yüzey sertliği değerine göre, Schmidt çekicine ait grafikler kullanılarak tek eksenli dayanım değerleri (kg/cm<sup>2</sup>) ve (N/mm<sup>2</sup>) ölçüklerinde belirlenmiştir (Tablo 1). 1. ila 13. ölçümler, eski kopma yüzeyinde ve Schmidt çekici yer yüzüne yatay konumda; 14. ve 15. ölçümler kaya üst yüzeyinde (yer yüzüne dik konumda); 16. ila 17. ölçümler, taze kaya devrilmesi/kopması yüzeyinde (yer yüzüne yatay konumda) yapılmıştır.

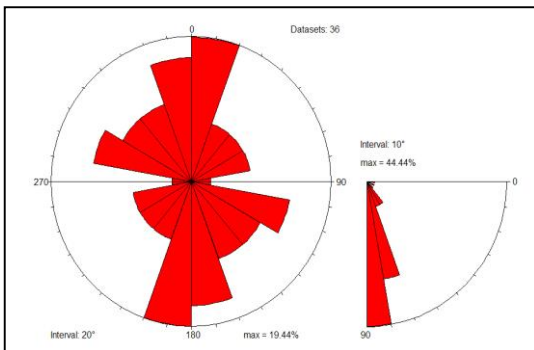
Schmidt yüzey sertliği ölçümü ile belirlenen tek eksenli dayanım değerlerine göre; kayacın kimyasal içeriği, masifliği, gözenekliliği, su muhtevası, bağlayıcının türü vb. faktörler, kaya kütlelerinin dayanımını oldukça etkilemektedir.

Tablo 1: Kaya kütlelerinin (yenidere formasyonu) Schmidt yüzey sertliği ölçümleri ve tek eksenli dayanım değerleri karşılığı.

Numune No	Schmidt Yüzey Sertliği (R)			Tek Eksenli Dayanım	
	R <sub>min</sub>	R <sub>maks</sub>	R <sub>ort</sub>	(kg/cm <sup>2</sup> )	(N/mm <sup>2</sup> )
1	23	46	41	413	41
2	35	50	49	580	58
3	30	52	46	500	50
4	20	44	36	330	33
5	16	44	37	340	34
6	18	36	30	235	23
7	18	42	36	330	33
8	18	38	32	266	27
9	16	32	29	220	22
10	24	52	49	580	58
11	30	48	46	500	50
12	30	44	39	380	38
13	28	52	46	500	50
14	26	43	38	366	37
15	21	37	33	285	28
16	18	33	28	200	20
17	12	19	17	DEĞERLENDİRİLMEZ	

#### 4.2 Tektonik

i) Çalışma alanında arazi çalışmalarındaki esaslara [18] uyularak çatlak ölçümleri alınarak, gül diyagramı hazırlanmış ve yorumlanmıştır. Çatlaklara ait hakim gerilme yönü: K20°B ve çatlakların hakim eğim miktarı: 80°'dir. Çatlaklar dik ve/veya dike yakındır (Şekil 10).

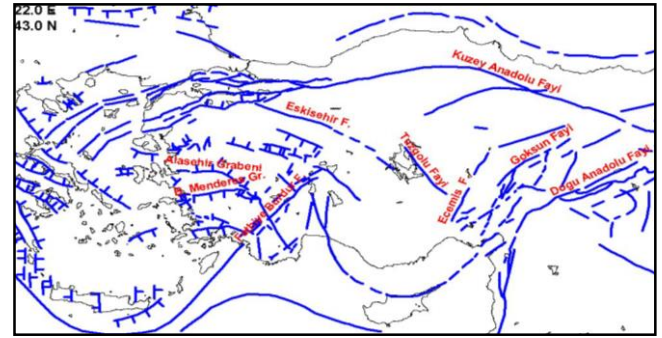


Şekil 10: Kale-i Tavas alanındaki kaya kütlelerinin çatlak ölçümlerine dayanarak çizilmiş gül diyagramı.

İnceleme alanı; Türkiye Deprem Bölgeleri Haritasında 1. Derece deprem bölgesi içerisinde; Menderes Grabeni, Doğu Akdeniz (Girit-Fethiye) dalma-batma zonunun ve Gökova Körfezi Faylarının sismik etkisindedir (Şekil 11).

1899 yılı, M= 6.9(?) Menderes Vadisi depremi, 1914 yılı, M= 7.0 Burdur depremi, 1952 yılı, M= 6.8 Akdeniz depremi ve 1954 yılı, M= 7.1 Fethiye (Akdeniz) depremi [19],[20] bölgede meydana gelen önemli sismik aktivitelerdir (Tablo 2).

Bölgede meydana gelen depremlerin bazı heyelanları tetiklediği düşünülmektedir. Kale-i Tavas'ın 1950'li yılların sonunda boşaltıldığı dikkate alındığında; 1954 yılında Fethiye'de (Akdeniz) oluşan M=7.1 depremin bölgede çok sayıda kütle hareketini tetiklemiş olabileceği düşünülmektedir.



Şekil 11: Güneybatı Anadolu'daki (Türkiye) etkin fay hatları.

Tablo 2: 1950-2010 yılları arasında çalışma alanı ve çevresinde meydana gelmiş (5.0≤M) bazı depremler (<http://udim.koeri.boun.edu.tr/zeqdb/>'den derlenmiştir).

	Tarih	M	Deprem Lokasyonu
1	2009.12.04	5.1	Tekkeköy-Sarayköy (Denizli)
2	2007.10.29	5.1	Emecik-Çameli (Denizli)
3	1963.07.26	5.3	Golbası-Ortaca (Muğla)
4	1963.03.11	5.6	Karahayıt (Denizli)
5	1961.06.21	5.3	Tırkaz-Saraykoy (Denizli)
6	1961.05.23	6.3	Dalyan Açıkları (Muğla)
7	1960.01.26	5.4	Sazak-Koycegiz (Muğla)
8	1960.01.09	5.2	Otmanlar-Koycegiz (Muğla)
9	1959.12.08	5.3	Gurleyik-Dalaman (Muğla)
10	1959.04.25	5.5	Hamitkoy-Koycegiz (Muğla)
11	1959.04.25	5.9	Zaferler-Koycegiz (Muğla)
12	1959.01.26	5.3	Gokceovacık-Fethiye (Muğla)
13	1957.04.25	7.1	Fethiye-Akdeniz

#### 4.3 Yeraltı kazıları

Büyük İskender'den (MÖ 336-MÖ 323)-1954 yılına kadar yerleşim yeri olarak kullanılan Tabae antik kentinin en büyük sorunu su teminidir. Tabae bu sorunu, yer içine sarnıçlar kazıp, yağış ve sızıntı sularını depo ederek çözmüştür (Şekil 12). Hatta öyle ki, bazı sarnıçların veya yeraltı açıklıklarının yeri tam olarak belirlenmediği için, çökme riskine karşı bölgede dolaşmak tehlikelidir.

Bölgedeki sarnıçların -yapılan gözlemlere göre- bilinçli olarak çatlak sistemleri takip edilerek açıldığı kanaatine varılmıştır. Bazı sarnıçların etrafında, sarnıca su taşıyan kanal veya galeriler de açılmıştır. Bu açıklıklarda halen su bulunmaktadır. Özellikle belirtmek gerekirse, 2 ve 3 No.lu heyelanların bulunduğu bölgede (Şekil 7); Sarnıçlar, su kuyuları, sarnıçlara su taşıyan galeriler ve hangi amaçla kullanmak için açıldığı net olarak tanımlanamayan başkaca yeraltı açıklıkları da bulunmaktadır.



Şekil 12: Çalışma alanında daha önceden yeri belirlenmiş yeraltı boşluklarına bir örnek.

Cevherpaşa Hamamı olarak adlandırılan yapı kalıntısının yakınlarındaki galeri (kazı alanının KD'si) incelenmiştir:

Galeri, kaya kütlesi içindeki çatlaklar takip edilerek açılmıştır. Galerinin tabanında su toplamak amacıyla kanallar açılmış ve galerinin zemini eğimlendirilmiş ve suyun galerinin kapalı bölümünde (son kısmında) toplanması sağlanmıştır. Doğal olarak galerinin açılması için kullanılan referans çatlak, düşey olarak galerinin tabanında da devam etmektedir. Dolayısıyla, suyun bir kısmı bu çatlaklardan Mortuma formasyonu içerisine sızmaktadır (Şekil 13). Buna bağlı olarak, suya doymun hale gelen Mortuma formasyonunda heyelanlar oluşmaktadır. Alanda bu şekilde açılmış çok fazla sayıda yer altı açıklığı bulunmaktadır.



Şekil 13: Yeraltı su yapısından (kayadan) zemine sızan su.

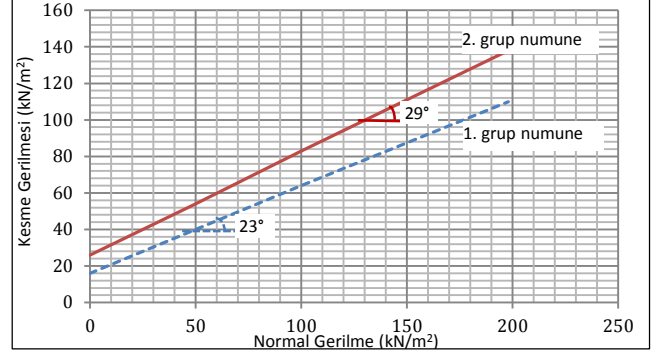
Alandaki marn ve kireçtaşı kolay oyulabilen, yumuşak malzemelerdir. Bazı yer altı açıklıklarında çatlak takımları çok net bir şekilde izlenebilmektedir (Şekil 5, 6a ve b).

Galerilerde bulunan veya çatlaklardan akan su, yöre halkı tarafından tepeden aşağıya kontrollü olarak tahliye edilerek tarımsal sulamada kullanılmaktadır. Yerleşim alanının etrafında meydana gelen her 3 heyelanda ve kaya kütle hareketlerinde (Şekil 7), yapay yer altı açıklıklarının yoğun olarak bulunduğu; yani çatlaklardan suyun zemine yoğun olarak sızdığı K ve KB yamaçta meydana gelmiştir. Diğerleri alanın GD yamacında oluşmuştur. Makale yazımı sırasında, çalışma alanının dışında, yaklaşık 200 m KD'da yeni bir heyelanın oluştuğu gözlenmiştir.

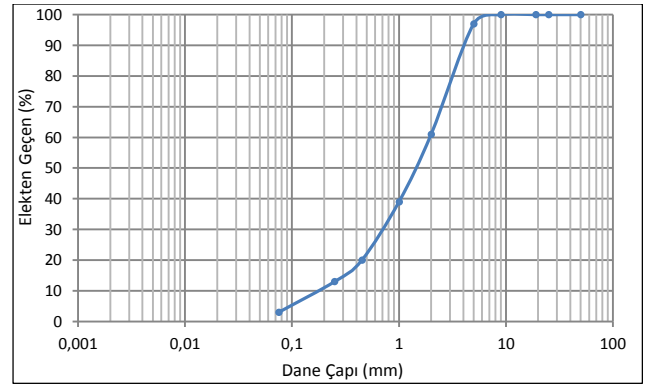
Bölgedeki marn ve zemin birimlerinden alınan numuneler üzerinde yapılan deneyler ile birimlerin jeoteknik özellikleri belirlenmiş ve ilgili parametreleri hesaplanmıştır (Tablo 3; Şekil 14). Zemin örneklerine ayrıca elek analizi yapılmıştır (Şekil 15 ve 16).

Tablo 3: Zemin numunelerine ait bazı jeoteknik parametreler.

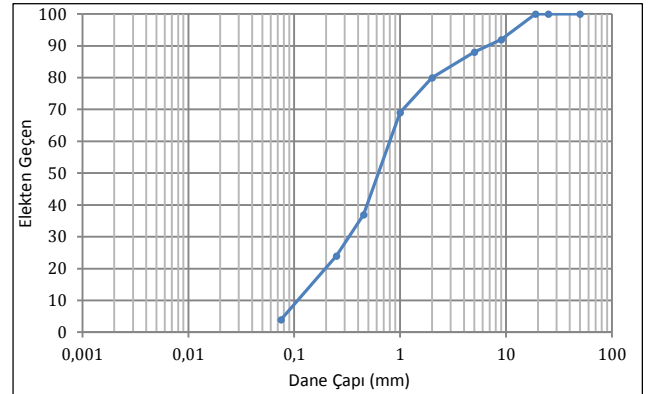
	Kohezyon (c) (kN/m <sup>2</sup> )	İçsel Sürtünme Açısı (φ) (°)	Su İçeriği (%)	Zemin Türü
1	16	23	Kuru	SM (siltli kum)
2	25	29	Kuru	SM (siltli kum)



Şekil 14: Normal gerilme- kesme gerilmesi grafiği.



Şekil 15: Zemin numunelerine ait elek analizi grafiği.



Şekil 16: Zemin numunelerine ait elek analizi grafiği.

Kireçtaşı altında bulunan birimlerin içsel sürtünme açısı yamaç eğimine çok yakındır. Zemin içindeki kumların bu özelliği nedeniyle, yağışlı dönemlerde zemin duraylılığı azalmakta, zeminde kütle hareketleri gözlenebilmektedir.

Kaya ve zemin örnekleri üzerinde, "kuru ve ıslak" şartlar altında yapılan laboratuvar deneyleri sonucunda, aşağıdaki parametreler elde edilmiştir:

Kuru halde; kaya numunelerin yoğunluğu: 23.3-24.4 kN/m<sup>3</sup> ve tek eksenli sıkışma dayanımı: 12-25 MPa arasındadır.

Islak halde; yoğunluk: 23.7-25.6 kN/m<sup>3</sup> ve tek eksenli sıkışma dayanımı: 5-12 MPa değerleri arasında değişmektedir.

Bünyesine su alan kireçtaşı numunelerinin birim ağırlık değeri artmakta ancak, su içeriğinin artmasına bağlı olarak dayanım değerleri düşmektedir. Etüvde kurutulan kireçtaşı örneklerinin dayanım değerlerinin ıslak olanlara göre daha yüksek olduğu belirlenmiştir. Bunun dışında, doğal su içeriğinde muhafaza edilen numuneler, atmosferik şartlar altında kurduğunda; hızlıca çatlaklar gelişmekte, ayrılmakta, parçalanmakta ve kolayca dağılmaktadır.

## 5 Sonuçlar

Kale eski yerleşim alanı (Kale-i Tavas/Tabae) kütle hareketleri nedeniyle, 1950'li yıllarda terkedilerek, günümüzdeki yerine taşınmıştır.

Yerleşim alanı, eğimli zemin malzemesi üzerine açılmal uyumsuz olarak yerleşen ve yaklaşık yatay konumlu kireçtaşı ve marnlardan oluşan bir tepe üzerine kurulmuştur. Bu kaya kütleleri kolay işlenebildiği için sığınak, depo vb. amaçlı yeraltı açıklıkları inşa edilmiştir. Ancak, yeraltı açıklıklarının artması, çatlaklardan gereğinden fazla suyun sızmasına ve zemin birimlerinde kütle hareketlerinin gelişmesini tetiklemiştir. Altındaki zemin birimi kayan yani altındaki desteği kaybeden üstteki kaya kütleleri, desteksiz durabileceği sınır aşıldığında kopmuş ve kaya düşmelerine neden olmuştur.

Zemin numuneleri üzerinde yapılan deneyler sonucunda, zemin birimleri genel olarak siltli kum (SM)'dur. Zemin birimlerinin kohezyon (c) 16-25 kN/m<sup>2</sup> ve içsel sürtünme açısı (φ) 23°-29° değerleri arasındadır.

Kaya numuneleri üzerinde yapılan deneyler sonucunda, Kuru halde: yoğunluk 23.3-24.4 kN/m<sup>3</sup> ve dayanım 12-25 MPa; Islak halde: yoğunluk 23.7-25.6 kN/m<sup>3</sup> ve dayanım 5-12 MPa değerleri arasındadır.

Su içeriğinin artması, zeminde ve kayalarda kütle hareketlerini tetikleyecektir.

Yerleşim alanının tepe üzerine kurulu olması nedeniyle, su temini için marn biriminde, çatlak ve erime boşlukları kılavuz alınarak; yeraltına insan eliyle açılan galeri, sarnıç, kuyu vb. boşluklar su depolama amacıyla (su tutma yapısı olarak) kullanılmıştır.

Zayıf kaya birimi içindeki kırıklı-çatlaklı yapının (süreksizliklerin), şev topuğunda akarsuya bağlı aşınmanın, depremlerin, yeraltı kazılarının/insan faaliyetlerinin, zayıf zemin malzemelerinin, su içeriğinin vb. faktörlerin kütle hareketlerini tetiklediği tespit edilmiştir.

İnsan eliyle açılan yeraltı boşlukları zamanla biriken suyun etkisiyle kireçtaşı/marn biriminin dayanımını düşürerek daha da çatlaklı bir yapıya kavuşmasına neden olmuştur. Çok çatlaklı birim içindeki suyun zemin birimlerine sızmasına ve zemin birimlerinin suya doymun ve duraysız hale gelmesine neden olmuştur. Su içeriğindeki artışa ve yer sarsıntularına bağlı olarak heyelanlar oluşmaya başlamıştır. Zemin birimi kaydığı için altı boşalan kireçtaşı birimindeki çatlaklar daha da genişlemiş ve kayalarda kopmalara, düşmelere veya devrilmelere neden olmuştur.

## 6 Teşekkür

Araştırmacılar, katkılarından dolayı kazı başkanı olan, Pamukkale Üniversitesi Fen Edebiyat Fakültesi Sanat Tarihi Bölümünden Prof. Dr. Kasım İnce'ye teşekkür ederler.

## 7 Kaynaklar

- [1] Kale Belediyesi. "TC. Kale Belediyesi Resmi web Sitesi". <http://www.kale.bel.tr/42/4/sayfa/TabaeAntikKent.html> (01.01.2016).
- [2] Altınlı İE. "Denizli güneyinin jeolojik incelemesi". *İstanbul Üniversitesi Fen Fakültesi Mecmuası*, 1-2, 1-47, 1954.
- [3] Nebert K. *Tavas-Kale (Güneybatı Anadolu) Bölgesine Ait Yeni Müşahedeler*. Maden Tetkik ve Arama Enstitüsü Dergisi, 54, 55-62, 1961.
- [4] Hakyemez HY, Örçen S. Muğla-Denizli Arasındaki (GB Anadolu) Senozoik Yaşlı Çökel Kayaların Sedimentolojik ve Biyostratigrafik İncelemesi. Maden Tetkik ve Arama Enstitüsü, Ankara, Türkiye, 7311, 1982.
- [5] Hakyemez HY. "Kale-Kurbalık (GB Denizli) bölgesindeki senozoik yaşlı çökel kayaların jeolojisi ve stratigrafisi". *Maden Tetkik ve Arama Dergisi*, 109, 9-21, 1989.
- [6] Okay A. "Denizli'nin güneyinde menderes masifi ve likya naplarının jeolojisi". *Maden Tetkik ve Arama Dergisi*, 109, 45-58, 1989.
- [7] Google Earth. "Google Earth". <http://earth.google.com>, (01.01.2016).
- [8] Akgün F, Sözbilir H. "A palynostratigraphic approach to the SW anatolian molasse basin: Kale-Tavas molasse and Denizli molasse". *Geodinamica Acta*, 14(1-3), 71-93, 2001.
- [9] Hasdiğen S, Bayhan E. "Kale (GB Denizli) bölgesindeki tersiyer yaşlı kayaçların kil sedimentolojisi". *Hacettepe Üniversitesi Yerbilimleri Dergisi*, 27, 47-58, 2003.
- [10] İslamoğlu Y, Gedik F, Aydın A, Atay G, Hakyemez A, Babayiğit S. "Denizli Bölgesi'ndeki (GB Türkiye) Oligosen Yaşlı Lagüner ve Denizel Çökellerin Mollusk, Foraminifera, Nannoplankton, Mercan ve Ostrakoda Biyostratigrafisi". 59. TJK, JMO, 245-249, MTA Genel Müd. Kültür Sitesi. Ankara, Türkiye, 20-24 Mart 2006.
- [11] Gök S, Uçar H. "Kale-i Tavas (Tabae) kazısı seramik buluntuları (2007-2011)". *Kaledavaz Sempozyumu*, Denizli, Türkiye, Türkiye, 2-3 Nisan 2012.
- [12] Akbeyik H. "Kaledavazda ve Kaledavaz'dan yetişen değerler". *Kaledavaz Sempozyumu*, Denizli, Türkiye, 2-3 Nisan 2012.
- [13] Bubur R. "Kale-i Tavas (Tabae) 2011 yılı kuzey mağara ve çevresi kazı-temizlik çalışmaları". *Kaledavaz Sempozyumu*, Denizli, Türkiye, 2-3 Nisan 2012.
- [14] Ürer H. "Kale-i Tavas (Tabae) su sistemleri". *Kaledavaz Sempozyumu*, Denizli, Türkiye, 2-3 Nisan 2012.
- [15] Selby MJ. *Hillslope Materials and Processes*. 2<sup>nd</sup> ed. Oxford, UK, Oxford Univ. Press, 1993.
- [16] Rahn PH. *Mühendislik Jeolojisi-Çevresel Bir Yaklaşım*. Çevirenler: Akyol, E. ve Kayabalı, K, 2. Baskı, Ankara, Türkiye, Gazi Kitabevi, 2006.
- [17] Ulusay R. *Uygulamalı Jeoteknik Bilgiler*. 2. Baskı, Ankara, Türkiye, JMO Yayınları, 1994.
- [18] Afet ve Acil Durum Yönetim Başkanlığı. "TC. Başbakanlık Afet ve Acil Durum Başkanlığı Deprem Araştırma Dairesi Başkanlığı". <http://www.deprem.gov.tr> (01.01.2016).
- [19] Kandilli Rasathanesi. "Boğaziçi Üniversitesi Kandilli Rasathanesi Deprem Sorgulama Sistemi. "KOERI DB Search". <http://udim.koeri.boun.edu.tr> (01.01.2016).
- [20] Özdemir A. *Zemin Mekaniği ve Zemin Mühendisliğine Giriş*. Konya, Türkiye, Dizgi Ofset, 2013.
- [21] Akdeniz N. "1/100 000 Ölçekli Türkiye Jeoloji Haritaları, Denizli-N21 Paftası". MTA Genel Müdürlüğü, Jeoloji Etütleri Dairesi, Ankara, Türkiye, No: 163, 2011.