

Eskipazar Sarı Travertenleri için Kütleli Bozunma ve Bozunma Sınıflaması

Rock Mass Weathering and Weathering Classification for Eskipazar Yellow Travertines

Mutluhan AKIN¹, Aydın ÖZSAN²

¹Yüzüncü Yıl Üniversitesi, Müh. Mimarlık Fakültesi, Maden Mühendisliği Bölümü, Zeve Kampüsü, VAN

²Ankara Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, ANKARA

ÖZ

Kalsiyum karbonat bileşimli kimyasal sedimanter bir kaya türü olan traverten, diğer birçok kaya türü ile kıyaslandığında güncel olarak kabul edilebilecek bir oluşum yaşına sahiptir. Ancak fiziksel yapısı ve kimyasal bileşimi sebebiyle travertenlerde bozunma kısa zaman aralığında etkili olabilmektedir. Traverten yapıtaşı sektöründe yoğun olarak kullanılmakla birlikte, bu kayanın kütleli ölçekteki bozunma davranışı bugüne kadar araştırılmamıştır. Bu çalışmada, Türkiye’de traverten sektöründe yoğun bir kullanım alanına sahip olan ve Anıtkabir inşaatında da kullanılmış Eskipazar sarı travertenleri araştırma malzemesi olarak seçilmiştir. Araziye farklı bozunma derecelerine sahip yüzlelerde yapılan gözlemsel incelemeler ve kütleli ölçümler ile sarı travertenlerin bozunma mekanizması ortaya konmuştur. Bu çalışmalar sonucunda bozunmanın değerlendirilmesine yönelik tanımlayıcı ölçütler hazırlanarak, nesnel ve pratik bir bozunma sınıflaması önerilmiştir. Buna göre, sarı travertenlerde kütleli ölçekte taze, az bozunmuş, orta derecede bozunmuş ve ileri derecede bozunmuş olmak üzere dört adet bozunma sınıfı ayırtlanmıştır. Sarı travertenler için hazırlanan bu sınıflamanın mermercilik sektöründe bu kaya için yapılacak yeni araştırmalara ve travertenlerin genelini kapsayan bozunma çalışmalarına ışık tutacağı düşünülmektedir.

Anahtar Kelimeler: Bozunma, Bozunma sınıflaması, Eskipazar, Traverten.

ABSTRACT

Travertine, which is a type of chemical sedimentary rock and is composed of calcium carbonate, has a relatively recent formation age when compared to most rocks. Nevertheless, weathering in travertines may be quite effective in short time span due to their physical structures and chemical compositions. Despite the intensive use in building stone market, the weathering of travertine in rock mass scale has not been investigated yet. In this study, the Eskipazar yellow travertine having an intensive usage in travertine industry in Turkey as well as employed in the construction of Anıtkabir is selected as study material. The weathering mechanism of the yellow travertines is revealed through observational studies and mass measurements on exposures with different degrees of weathering in the field. As a consequence of these studies, an objective and practical weathering classification is proposed by preparing descriptive criteria. Accordingly, four different weathering classes - fresh, slightly weathered, moderately weathered and highly weathered - are distinguished for the yellow travertines in rock mass scale. It is thought that the

M.Akın

E-Posta: mutluhanakin@gmail.com

proposed classification for the yellow travertines will guide new researches on this rock in marble industry and weathering studies including the entire travertine types.

Key Words: *Weathering, Weathering classification, Eskipazar, Travertine.*

GİRİŞ

Kalsiyum karbonat (CaCO_3) bileşimli kimyasal sedimanter bir kaya olan ve çoğunlukla tektonik açıdan aktif bölgelerde oluşan traverten, kolay işlenebilmesi, güzel renkli ve dekoratif dokusu gibi nedenlerle eski çağlardan günümüze kadar yapıtaşı olarak yaygın şekilde kullanılmıştır (Pentecost, 2005). Başta ülkemiz ve İtalya olmak üzere, dünyada travertenin yapıtaşı olarak kullanıldığı birçok tarihi esere rastlamak mümkündür. Yoğun kullanımına rağmen travertenler, makro ve mikro ölçekteki gözenekli yapısı ile kimyasal bileşimi sebebiyle bozunma etkilerine karşı duyarlıdır. En önemli bozunma etkenlerinden biri olan su, travertenlerin makro ve mikro gözenekleri içerisinde kolaylıkla hareket edebilmektedir. Travertenlerin CaCO_3 bileşiminde olması, bünyesine aldığı suyun etkisiyle çözünmesine yol açmakta, bunun yanı sıra ortamda bulunan sülfürdioksit (SO_2) gibi bileşiklerle de kolayca tepkimeye girmesine olanak sağlamaktadır (Schneider vd., 2008; Török, 2008). Karbonatlı kayaların asidik etkilerle hızlı bir bozunma sürecine girdiği de birçok bilimsel çalışmada ortaya konmuştur (Tuğrul ve Zarif, 1999; Mahmutoğlu vd., 2003).

Travertenlerin fiziksel ve kimyasal özellikleri ile yapıtaşı olarak kullanılabilirliklerinin belirlenmesine yönelik özellikle ulusal alanda çok sayıda bilimsel çalışma olmasına rağmen (Ayaz ve Karacan, 2000; Ayaz, 2002; Yalçın ve Özçelik, 2004;

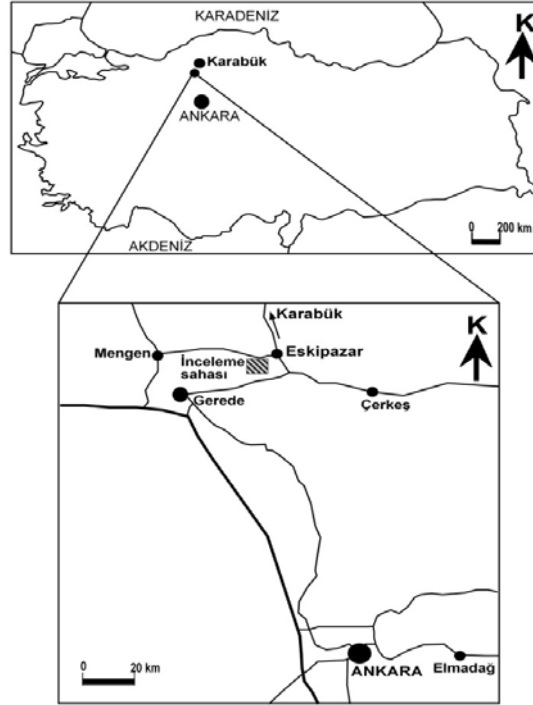
Kahraman vd., 2005; Kılıç vd., 2005; Uz vd., 2005; Yalçınalp vd., 2008; Dehghan vd., 2010), bu kaya türünün kaya malzemesi ölçeğinde bozunma mekanizmasının incelendiği çalışmalar daha sınırlıdır (Török, 2006; 2008; Sidraba vd., 2004; 2006; Akın, 2010; Akın ve Özsan, 2010). Öte yandan, bozunmanın travertenlerin kütleli özellikleri üzerindeki olumsuz etkisi neredeyse hiç incelenmemiştir. Bu nedenle travertenlerin kütleli ve malzeme ölçeğinde bozunma mekanizmasının araştırılması, gerek yapıtaşı sektörü için gerekse mühendislik hizmetleri sırasında bu kaya türü ile karşılaşılması durumunda faydalı olacaktır. Travertenin bozunma davranışının ortaya konması bu malzemenin yapıtaşı olarak seçimi ve kullanımı sırasında dikkat edilecek noktaların tespitinin yanı sıra, travertenin yapıtaşı olarak kullanıldığı yapılarda da koruma ve iyileştirme yöntemlerinin belirlenmesi açısından oldukça önemlidir.

Bu çalışmada, Eskipazar (Karabük) civarında yapılan arazi çalışmaları sırasında farklı bozunma derecelerine sahip traverten yüzleklerindeki gözlemsel incelemeler ve kaya kütle özelliklerinin belirlenmesine yönelik ölçümler ile sarı travertenlerin kütleli bozunması araştırılmıştır. Yapılan bu çalışmalar sonucunda sarı travertenler için kütleli ölçekte pratik bir bozunma sınıflaması oluşturulmuştur.

Ulu önder Atatürk'ün ebedi istirahatgâhı olan Anıtkabir'de kullanılan sarı travertenlerin tamamı Eskipazar (Karabük) yakınındaki taş ocaklarından çıkartılmıştır. Bölge, rezervin fazla

olması sebebiyle özellikle sarı traverten işletmeciliği açısından yıllar boyu önemli bir yere sahip olmuştur. Eskipazar, Ankara'ya yaklaşık 190 km uzaklıkta olup, inceleme alanına ait yerbulduru haritası Şekil 1'de sunulmaktadır. Araştırma sahası içerisinde kalan Hadrianapolis

antik kentinde son yıllarda yapılan kazılarda, sarı travertenlerin hamam türü yapılarda yapıtaşı olarak kullanıldığı tespit edilmiştir. Bu antik kentin, o dönemde bölgedeki sıcak su kaynaklarının zengin olması nedeniyle sağlık merkezi olarak kullanıldığı tahmin edilmektedir.



Şekil 1. İnceleme alanına ait yerbulduru haritası

Figure 1. Location map of the study area

İNCELEME ALANININ JEOLJİSİ

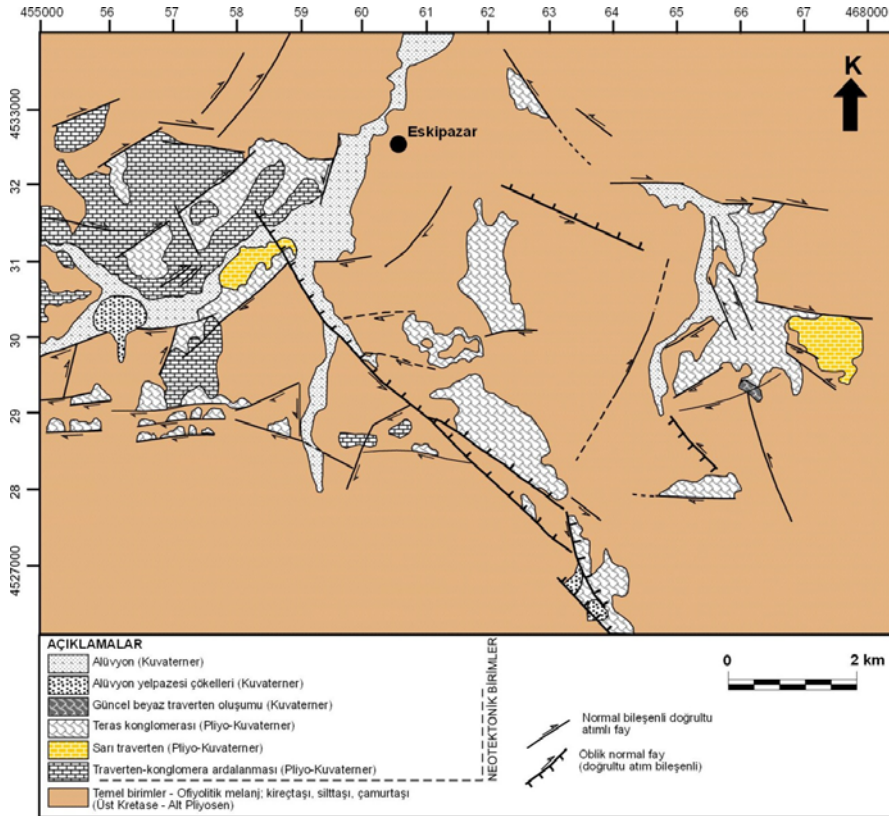
Eskipazar, Kuzey Anadolu Fay Zonu'na 10 km uzaklıktadır. Saha, Kuzey Anadolu Fay Zonu'na verev uzanımlı, normal ve verev atımlı fayların kontrol ettiği bir açılma havzası karakterindedir. Bölgede yer alan faylar, travertenlerin oluşumu açısından gerekli olan sıcak su boşalmaları için en önemli kaynak lokasyonlarıdır. Bölgedeki traverten oluşumları

hafif engebeli bir topoğrafya sunarken, daha yaşlı birimlerde arazi dikleşmektedir.

Bölgenin jeolojisi Şaroğlu vd. (1995), Biryol (2004) ve Kuterdem (2005) tarafından yapılan çalışmalarda incelenmiştir. Buna göre, yörede genellikle sedimanter birimlerin hakim olduğu görülmektedir. Bölgedeki en yaşlı temel birim Üst Kretase yaşlı ofiyolitik melanjdır. Bu formasyon; sedimanter, metamorfik ve volkanik kaya gruplarını içermektedir (Biryol, 2004).

Ofiyolitik temel üzerine uyumsuz olarak Üst Miyosen-Alt Pliyosen yaşlı kireçtaşı, silttaşı ve çamurtaşı gibi farklı sedimanter kaya gruplarının ardalanmasından oluşan formasyon gelmektedir. Neotektonik dönemde, bölgede farklı özelliklerde traverten çökelimleri meydana gelmiştir. Eskipazar ve yakın çevresindeki traverten oluşumlarının yaşı Biryol (2004) tarafından Pliyo-Kuvaterner olarak belirtilirken, Şaroğlu vd. (1995) ve Kuterdem (2005)'e ait araştırmalarda Erken Pliyosen olarak ifade edilmiştir. Eskipazar ve yakın çevresindeki traverten oluşumlarını gösteren jeolojik harita Şekil 2'de verilmiştir.

Bölgedeki fay zonları boyunca yeryüzüne çıkan sıcak suların, içerdikleri CO₂ gazını kaybetmesi ile çökelen travertenlerde düşey ve yanal yönde değişimler gözlenmektedir. Bu nedenle travertenler mühendislik özellikleri açısından da heterojen ve anizotrop bir karakter sunarlar. Bu değişken yapının oluşmasındaki en önemli nedenler arasında; sıcak su çıkışlarının depolanma ortamına göre konumları, taban topoğrafyası, traverten çökmesine neden olan suların bileşimi ve organik faaliyetler yer almaktadır (Özkul vd., 2002). Öte yandan, çökme şartlarındaki değişkenliğe bağlı olarak Eskipazar yöresindeki travertenlerde renk, görünüm, tabakalanma, gözenek, doku ve bileşim açısından da farklılıklar görülmektedir.

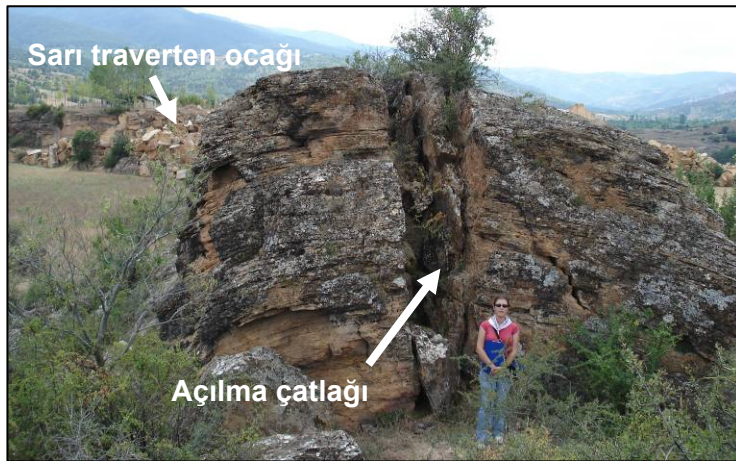


Şekil 2. İnceleme alanındaki farklı traverten çökelimlerini gösteren jeolojik harita (Biryol, 2004'ten değiştirilerek)

Figure 2. Geological map showing different travertine depositions in the study area (modified from Biryol, 2004)

Eskipazar bölgesindeki sarı travertenler, morfolojik görünümü açısından (Özkul vd., 2002) sırt tipi traverten grubuna girmektedir. Sırt depolanma ortamında oluşan bu travertenlerde merkezi açılma çatlakları boyunca çıkan karbonatlı sular yamaç eğimi boyunca akarak çökeltmektedir. Sırt yapısının oluşumuna neden olan merkezi bir açılma çatlağının iki kenarındaki farklı eğim yönü ve derecesine sahip kanatlar Şekil 3'te görülmektedir. Öte yandan Altunel ve Hancock (1993)'e göre sınıflandırıldığında, çökeltme şekli bakımından sarı travertenler tabaka yapısına sahiptir. Tabakaların eğimi ve yönelimi, açılma çatlaklarının konumuna göre farklılık

gösterebilmektedir. Karbonatlı su çıkışlarında sıcaklıktaki ve mineralojik bileşimdeki değişimin sonucu olarak traverten tabakalarında farklı renkte laminalar oluşmaktadır. Demir oranındaki artış, sarı travertenlerdeki rengi kontrol eden en önemli unsurdur. Bununla birlikte, su sıcaklığının artması sarı travertenlerin içeriğindeki organik madde miktarının azalmasına neden olmaktadır. Çünkü ortamda bulunan organizmalar, yüksek sıcaklıktaki mineralli sularda yaşayamamaktadır. Arazide yapılan incelemeler sırasında Eskipazar sarı travertenlerinin bulunduğu bölgede farklı oluşum mekanizmalarına neden olan çok sayıda ikincil açılma çatlağına rastlanmıştır.



Şekil 3. Sarı travertenlerdeki açılma çatlaklarından bir görünüm

Figure 3. A view from fissure ridge in the yellow travertines

SARI TRAVERTENLERDE KAYA KÜTLESİ DEĞERLENDİRMELERİ

Araştırma kapsamında sarı travertenlerin bulunduğu bölgelerde taze ve farklı bozunma derecesindeki yüzlekler araştırılmıştır. Bu çalışmalar sırasında farklı süreksizlikler incelenerek, süreksizlik özellikleri ortaya

konmuştur. Yakın zamana kadar işletilmiş olan taş ocakları, taze yüzeylerin incelenmesi açısından oldukça faydalı olmuştur.

Travertenler oluşum koşullarına bağlı olarak farklı litofasiyes özellikleri sunabilmektedir. Çökeltim ortamındaki bitkisel faaliyetin fazla oluşu travertenlerin kütleli özelliklerini

etkileyebilmektedir (Pentecost, 2005). Yoğun organik kökenli malzeme içeren travertenler daha zayıf ve pekişmemiş özelliktedir ve yapıtaşı olarak kullanılamazlar. Bu tür zonlar arazide bozunma açısından da yanlış değerlendirmelere yol açabilir. Bu nedenle travertenlerin bozunmasına yönelik araştırmalarda söz konusu zonların dikkatli olarak incelenmesi gerekir. Arazi çalışmaları kapsamında yapılan gözlemler, Eskipazar sarı travertenlerinin ilksel çökelim ortamında bitkisel faaliyetin fazla olmadığını göstermektedir. Organik madde içeriğinin yoğun olduğu zonlar arazide çok azdır. Bu litofasiyeler

bozunma değerlendirmesinde dikkate alınmamıştır.

Travertenlerin oluşum sürecinde bölgesel tektonizma önemli bir faktördür. Eskipazar ve çevresi normal faylar tarafından kontrol edilen bir çöküntü havzası özelliğindedir. Güncel olarak kabul edilebilecek bir oluşum zamanına sahip sarı travertenlerde ilksel (kaya oluşumu ile eş zamanlı) süreksizlikler, traverten oluşum sürecindeki tektonik faaliyetlerin (çekilme gerilmeleri) birer ürünü olan açılma çatlaklarıdır (Şekil 4). Bu açılma çatlaklarından yükselen sıcak mineralli sular yeni traverten kütlelerinin oluşmasını sağlamaktadır.



Şekil 4. Sarı travertenlerdeki açılma çatlakları

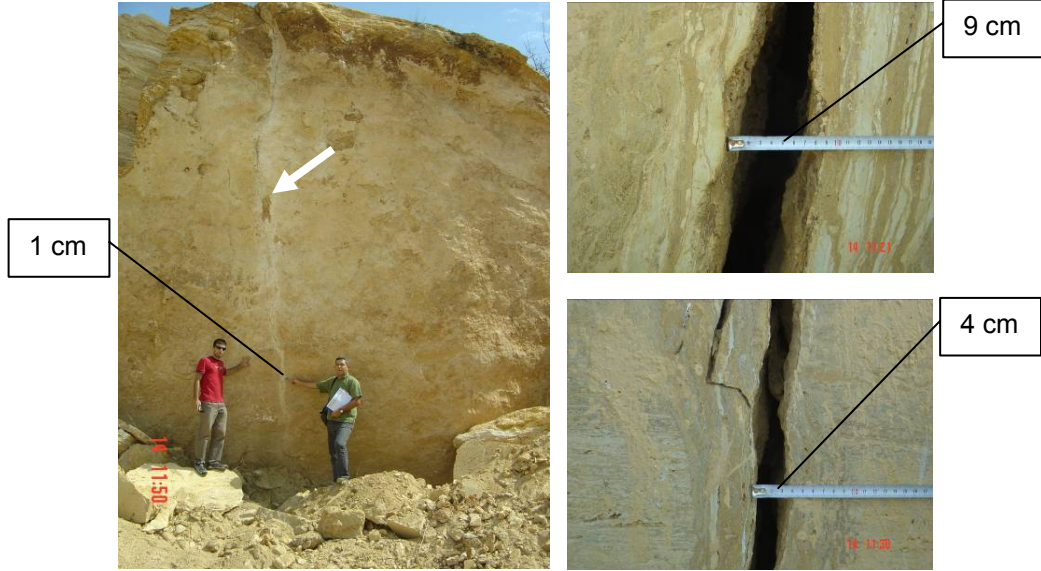
Figure 4. Fissure ridges in the yellow travertines

Açılma çatlaklarının izlerine arazide rastlamak zordur. Taş ocaklarında işletme aynalarındaki taze yüzeyler, bu süreksizliklerin özelliklerinin belirlenmesi açısından iyi bir ortam oluşturmaktadır. Sarı travertenlerindeki açılma

çatlaklarının özellikleri arazideki 5 farklı gözlem noktasında 10 adet süreksizlik üzerinde ISRM (1981) tarafından önerilen tanımlamalarla incelenmiştir.

Taze travertenlerde açılma çatlaklarının aralıkları 5 m ile 40 m arasında değişmektedir. ISRM (1981)'e göre açılma çatlakları, çok geniş - aşırı geniş aralıklı süreksizlikler sınıfındadır. Travertenleri oluşturan sıcak suların yüzeye çıkmasını sağlayan açılma çatlaklarına arazide

çok sık rastlanmaz. Süreksizlik açıklıkları çoğunlukla 10 cm ile 30 cm arasındadır. Açıklığın 1 cm'ye kadar düştüğü ve 70 cm'ye kadar yükseldiği de gözlenebilmektedir. Genel olarak, açılma çatlakları çok geniş - aşırı geniş açıklıklıdır (Şekil 5).



Şekil 5. Sarı travertenlerdeki açılma çatlaklarında açıklık değerleri
Figure 5. Aperture values of the fissure ridges in the yellow travertines

Açılma çatlaklarının devamlılığı, taş ocaklarındaki taze kesilmiş yüzeylerde yapılan incelemelere göre çoğunlukla 20 m'nin üzerinde olup, ISRM (1981)'e göre çok yüksek devamlı olarak sınıflandırılmışlardır. Açılma çatlaklarının geniş açıklığa sahip olması ve sıcak mineralli suları yüzeye taşınması nedeniyle genellikle kalsit türü dolgu gözlenir. Bu süreksizliklerde yer yer ince taneli siltli-killi malzeme birikimine de rastlanmaktadır. Açılma çatlaklarındaki süreksizlik yüzeyleri genelde pürüzlü ve basamaklıdır. Bu yüzeyler ISRM (1981)'e göre çıkıntılı ve basamaklı olarak sınıflan-

dırılmışlardır. Yüksek devamlılığa sahip açılma çatlakları geniş ölçekte, genellikle dalgalı ve kavisli, bazen de kıvrımlı bir yapı sergilerler. Dalga boyları 1 m ile 5 m, dalga yükseklikleri de 0.1 m ile 1 m arasında değişmektedir (Şekil 6). Arazide açılma çatlaklarındaki yüzeylerin bozunma durumu incelendiğinde, süreksizlik yüzeylerinde genel olarak bir renk değişimi olduğu ve yüzeylerin grimsi renk tonları kazandığı gözlenmektedir. Buna göre, sadece renk değişimi olması sebebiyle, açılma çatlaklarının az bozunmuş olduğu kabul edilebilir.



Şekil 6. Açılma çatlaklarındaki dalgalılık

Figure 6. Waviness in the fissure ridges

Taze yüzeylerin yanı sıra, arazide bozunmuş traverten yüzleklerinde de açılma çatlaklarına rastlamak mümkündür. Şekil 7’de geniş bir açılma çatlağının sırt noktası görülmektedir. Burada açılma çatlağının genişliği 50 cm’ye yaklaşmaktadır. Bu çatlağın içerisinde düşey akma izlerine sahip ikincil traverten oluşumları

mevcuttur ve ana açılma çatlağının devamlılığı 30 m civarındadır. Bozunma izlerinin rahatlıkla gözlenebildiği bu traverten kütlelerinde ilksel yapı kaybolmaya başlamıştır. Eskipazar travertenleri güncel bir oluşum sürecine sahip olduğundan, açılma çatlakları haricinde tektonik kökenli ikincil süreksizliklere rastlanmaz.



Şekil 7. Bozunmuş sarı traverten yüzleklerindeki açılma çatlağından bir görünüm

Figure 7. A view from the fissure ridge in the weathered yellow travertine outcrops

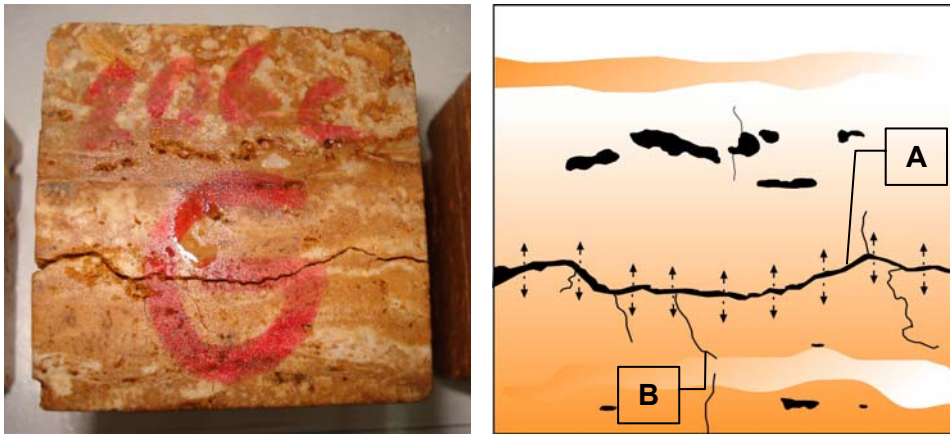
Eskipazar sarı travertenlerinde gözlenen diğer bir süreksizlik türü, bozunmanın etkisiyle zaman içinde akma (lamina) düzlemleri boyunca gelişen süreksizliklerdir (Şekil 8). Travertenlerin mikro ve makro gözenekli yapısı, kayanın yağış suları ile temasını artırarak söz konusu süreksizliklerin oluşumuna yardımcı olmakta ve bu süreksizlikler akma düzlemlerine paralel

konumda gelişmektedir. Laboratuvar ortamındaki araştırmalar, sarı travertenlerdeki en önemli zayıflık düzlemini laminalı yapının oluşturduğunu ortaya koymuştur (Akın ve Özsan, 2010). Yapılan tuz kristallenmesi deneyleri sonucunda kristallenme basınçları altında taze sarı travertenlerde laminalı yapıya paralel olarak ana çatlaklar gelişmiştir (Şekil 9).



Şekil 8. Laminalanma eksenine paralel yönde gelişen akma süreksizlikleri

Figure 8. Flow discontinuities developed parallel to the lamination axis



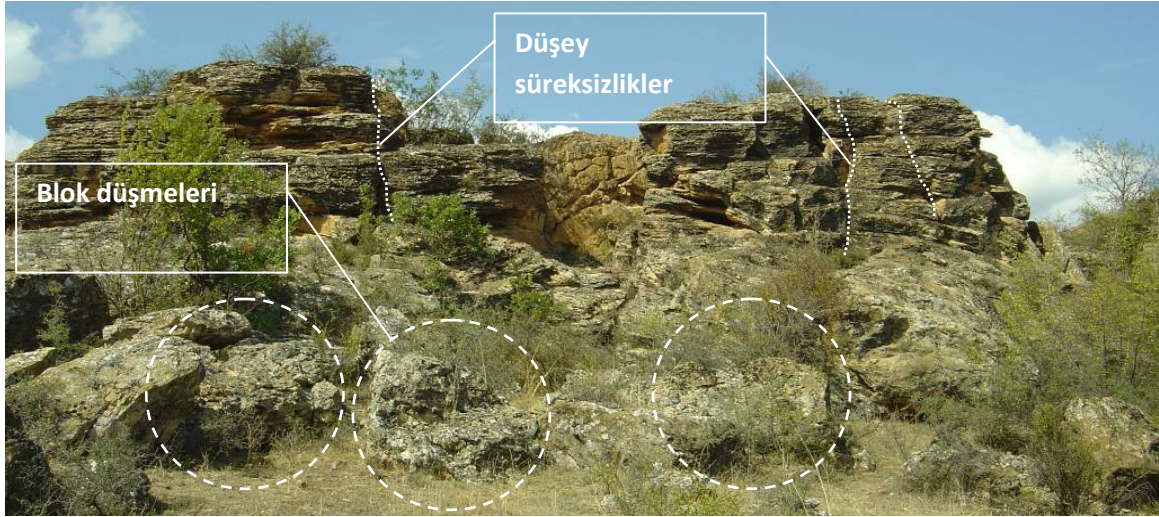
Şekil 9. Tuz kristallenmesi basınçları sonucunda sarı travertenlerde gelişen çatlaklar (A: laminaya paralel yönde gelişen ana çatlak, B: düzensiz yönelimli ikincil çatlaklar) (Akın ve Özsan, 2010)

Figure 9. Fracture formation in the yellow travertines after salt crystallization tests (A: main fracture parallel to lamination axis, B: secondary random microfractures) (Akın and Özsan, 2010)

Akma süreksizliklerinin özellikleri ISRM (1981)'in önerdiği ölçütlere göre arazide 10 ayrı noktada 52 adet süreksizlik üzerinde belirlenmiştir. Süreksizlik aralıkları 1 - 50 cm arasında değişmektedir. Arazide farklı derecede bozunmuş sarı travertenlerde yapılan ölçümlerde süreksizlik aralığı 2 - 6 cm olarak belirlenmiş olup, bu değere göre süreksizlikler çok yakın aralıklı olarak tanımlanmaktadır. Ancak, düşey yönde süreksizlik aralıkları değişkenlik gösterebilmektedir. Travertenlerdeki akma yapıları genellikle dar süreksizlik açıklığına sahiptir. Süreksizlik açıklıkları, 0.6 cm ile 2 cm arasında değişmektedir. Bazı seviyelerde bozunmanın da etkisiyle 10 cm'ye yaklaşan açıklıklar da ölçülmüştür. Akma süreksizlikleri, devamlılıkları 10 m ile 20 m arasında değiştiğinden, yüksek devamlı olarak sınıflandırılmışlardır. Genellikle dolgu içermeyen bu süreksizliklerde bozunmaya bağlı yüzey sıvaması şeklinde limonitleşme ve alg türü organizmalar gözlenmektedir. Çok ender olarak

kil dolguya da rastlanmıştır. Süreksizlik yüzeyleri küçük ölçekte incelendiğinde, yüzeylerin pürüzlü olduğu görülmektedir. Geniş ölçekte yapılan değerlendirmede bu süreksizliklerin düzlemsel veya az dalgalı olduğu belirlenmiştir. Gözlemsel olarak süreksizlik yüzeylerinin orta derecede bozunduğu saptanmıştır.

Kaya kütle incelemeleri sırasında akma yönüne paralel olarak gelişen bu süreksizlikleri kesen ve aralıkları 3 m ile 10 m arasında değişen düşey süreksizlikler de gözlenmiştir (Şekil 10). 8 adet düşey süreksizlik üzerinde yapılan incelemeler sonucunda, diğer süreksizlik özellikleri açısından akma süreksizliklerine benzedikleri belirlenmiştir. Arazi çalışmaları sonucunda sarı travertenlerde belirlenen üç ayrı süreksizlik sisteminin (açılma çatlakları, akma süreksizlikleri, düşey süreksizlikler) kesişmesi sonucu travertenlerde yer yer bloklar oluşmuş ve bu bloklarda düşmelere rastlanmıştır (Şekil 10).



Şekil 10. Sarı travertenlerdeki düşey süreksizlikler ve blok düşmeleri

Figure 10. Vertical discontinuities and block falls in the yellow travertines

Öte yandan, sarı travertenlerde artan bozunmayla birlikte ileri derecede bozunmuş yüzlekler de bulunmaktadır. Akma süreksizliklerinin izlerinin yer yer görüldüğü ve ilksel bütünlüğün tamamen kaybolduğu bu travertenlerde, malzeme ufalanmaya ve zemin özelliği kazanmaya başlamıştır. Kayanın rengi daha açık ve parlak sarıya dönüşmüştür. Kaya, çekiç darbeleri ile kolaylıkla kazılabilmektedir. Erimenin neden olduğu boşluklu yapılar

gözlenebilmektedir (Şekil 11). Erime boşlukları, sarı travertenlerin su ile yoğun temasta olabilecek bölümlerinde daha çok gelişmiştir.

Arazide sarı traverten yüzlekleri üzerinde yapılan kütle ve süreksizlik incelemelerinden elde edilen bulgular, farklı bozunma dereceleri için ayrı ayrı değerlendirilmiş olup, sarı travertenler için kütleli ölçekte pratik bir bozunma sınıflaması hazırlanmıştır.



Şekil 11. Sarı travertenlerde zemin özelliği kazanan yüzlekler

Figure 11. Soil-like outcrops in the yellow travertines

SARI TRAVERTENLER İÇİN ÖNERİLEN KÜTLESEL BOZUNMA SINIFLAMASI

Kayaların bozunma derecelerinin arazide tanımlanabilmesine yönelik çok sayıda sınıflama geliştirilmiştir. Bununla birlikte, sedimanter kayalara yönelik bozunma sınıflamaları daha sınırlı sayıdadır (Chandler, 1969; Bacciarelli, 1993). Kimyasal bozunmanın egemen olduğu

travertenlerin bozunmasına yönelik araştırmalar ise yok denecek kadar azdır (Sidraba, 2006). Bu doğrultuda kimyasal sedimanter bir kaya türü olan travertenlerin kütleli bozunma mekanizmasının araştırılması ayrı bir önem taşımaktadır. Bu amaçla, farklı traverten kütleleri üzerinde yapılan araştırmalarla travertenlerdeki değişik bozunma derecelerini yansıtan kesitler incelenmiştir. Bozunmaya bağlı olarak sarı

traverten kütlelerindeki değişimler, diğer bir ifadeyle sarı travertenlerin fiziksel ve kütle özellikleri kütlesel bozunma sınıflamasının oluşturulmasında esas alınmıştır.

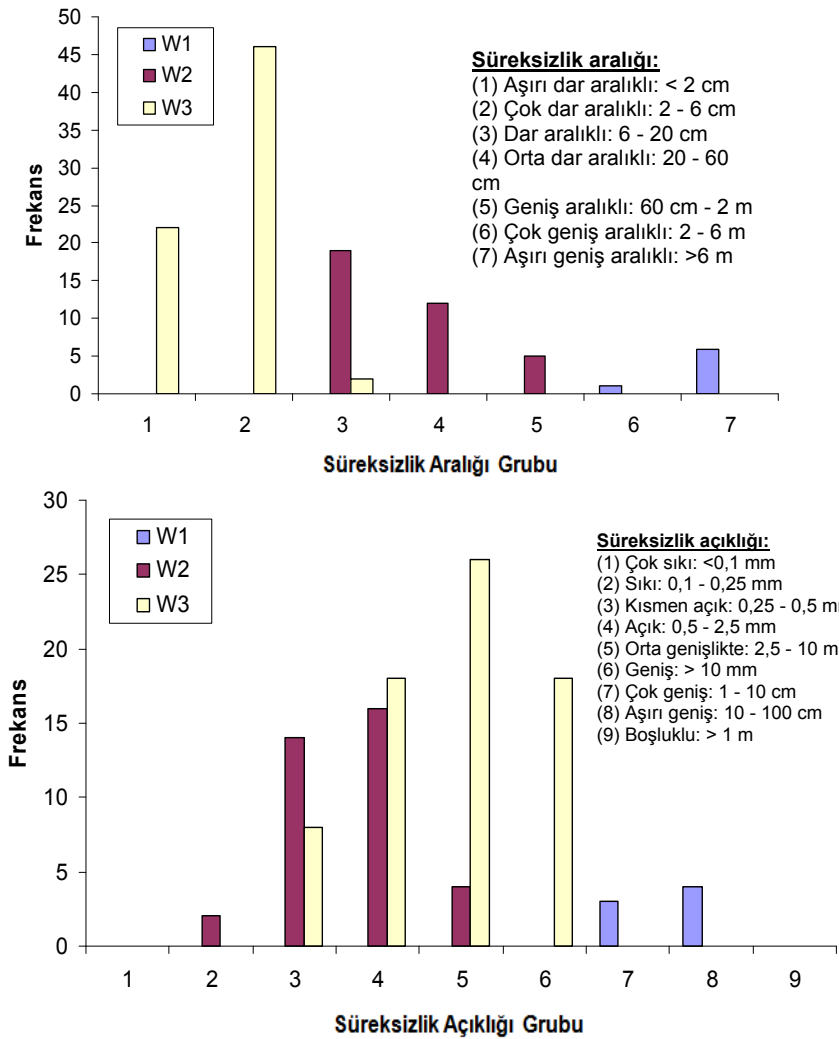
Sarı travertenler için önerilen kütlesel ölçekteki bozunma sınıflaması, tüm traverten türlerini kapsamamaktadır. Önerilen kütlesel bozunma sınıflaması ile olası mühendislik projelerinde bu kaya ile karşılaşılması durumunda travertenlerin bozunma davranışları hakkında bilgi sunmak ve ileride bu konuda yapılacak çalışmalara ışık tutmak amaçlanmıştır.

Kayalar için geliştirilen kütlesel bozunma sınıflamaları genellikle gözlemsel tanımlamalar içerdiğinden çoğu zaman öznelidir. Öznelliğin ortadan kaldırılabilmesi veya en aza indirilmesi için incelenen kayaya ait çeşitli fiziksel veya mekanik özelliklerin sayısal olarak ifade edilmesi gerekmektedir. Bu amaçla, bugüne kadar yapılan çalışmalarda genellikle basit arazi deneylerinden (Schmidt çekici vb.) veya süreksizlik özelliklerinden (süreksizlik aralığı vb.) faydalanılmıştır. İçerdikleri iri gözenekli yapı sebebiyle sarı travertenlerde Schmidt çekici deneyinin yapılması hatalı sonuçlar verebilmektedir. Bu nedenle, bunun yerine sarı travertenlerin bozunma sınıflarının oluşturulmasında süreksizlik özellikleri dikkate alınmıştır. Böylelikle gözlemsel tanımlayıcı özelliklerle birlikte, sayısal veriler de kütlesel bozunma sınıflamasına dahil edilmiştir.

Sarı traverten kütlelerindeki değişik bozunma profilleri farklı yapısal özellikler sunmaktadırlar. Bu sınıflamada, her bir bozunma derecesindeki renk, doku, gözeneklilik vb. gibi fiziksel özelliklerin yanı sıra, süreksizlik özellikleri de değerlendirilmiştir. Buna göre, Eskipazar sarı travertenleri için arazi çalışmaları sonucunda 4 farklı kütlesel bozunma derecesi belirlenmiştir.

- a) Bozunmamış (taze) traverten (W1)
- b) Az bozunmuş traverten (W2)
- c) Orta derecede bozunmuş traverten (W3)
- d) İleri derecede bozunmuş traverten (W4)

Arazide süreksizlik incelemeleri sonucunda genel olarak; açılma çatlakları taze travertenlerde, akma süreksizlikleri ve bunlara dik veya eğimli yönde gelişen düşey süreksizlikler de W2 ile W3 bozunma derecelerindeki sarı travertenlerde gözlenmiştir. Farklı bozunma profillerindeki bu süreksizliklere ait aralık ve açıklık özellikleri ISRM (1981)'e göre tespit edilmiş olup, bu özelliklerin farklı bozunma derecelerindeki frekans dağılımları Şekil 12'de verilmektedir. Yüksek devamlılıktaki değişken özellikler sunan bazı süreksizlik yüzeyleri üzerinde birden fazla ölçüm yapılmıştır. Öte yandan, süreksizlik devamlılığı bozunma için ayırt edici bir özellik olmadığından (W1 bozunma sınıfında açılma çatlakları sebebiyle yüksek devamlılık izlenebilir) frekans dağılımı olarak değerlendirmeye alınmamış, ancak hazırlanan sınıflamada farklı bozunma derecelerindeki süreksizlik devamlılıkları irdelenmiştir.



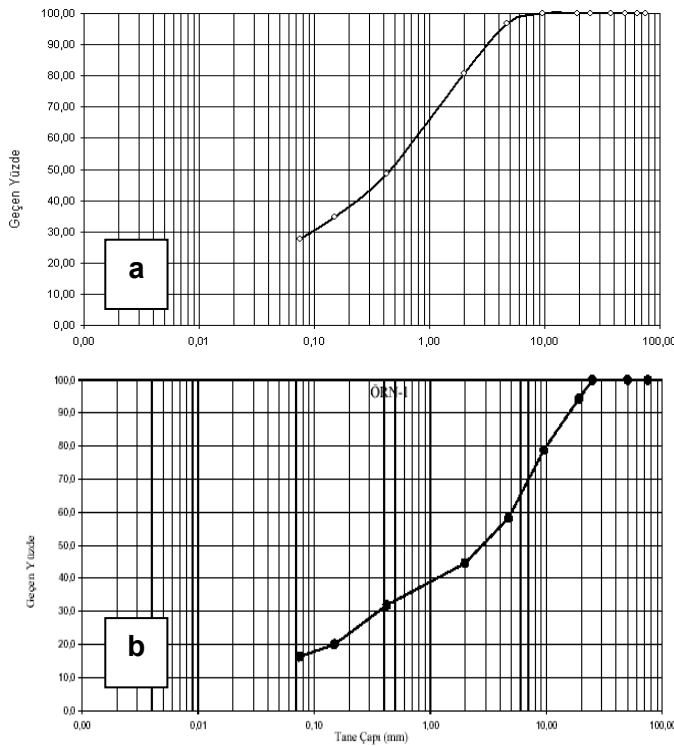
Şekil 12. Farklı bozunma derecelerindeki sarı travertenlerde ölçülen süreksizlik özelliklerinin frekans dağılımı
 Figure 12. Frequency distribution of discontinuity properties for the yellow travertines in different weathering grades

Şekil 12'deki grafiklerden de görüleceği üzere, taze travertenlerdeki (W1) süreksizlikler ISRM (1981)'e göre çok geniş-aşırı geniş aralıktır. Öte yandan taze travertenlerdeki süreksizlikler çok geniş-aşırı geniş açıklıklıdır. Taze travertenlerdeki bu süreksizlik özellikleri açılma çatlaklarını temsil etmektedir. Önceden de ifade edildiği gibi, taze travertenlerde açılma çatlakları dışında genelde başka süreksizlik bulunmamaktadır. Az bozunmuş travertenlerde (W2), zayıflık düzlemlerini oluşturan laminalara

paralel yönde süreksizlikler gelişmeye başlamıştır. Bu süreksizliklerin aralıkları 10 cm ile 1 m arasında değişen geniş bir dağılım sergilemektedir. Buna göre az bozunmuş travertenlerdeki süreksizlikler dar-geniş aralıktır. Süreksizliklerin oluşum süreçleri bu bozunma aşamasında başladığından süreksizliklerin açıklıkları düşüktür. Açıklıklar 0.25 mm ile 1 cm arasında olup, ISRM (1981)'e göre sıkı-orta genişliktedir.

Orta derecede bozunmuş travertenlerde (W3) süreksizlik aralıkları azalmaktadır. Yapılan ölçüm sonuçlarına göre W3 bozunma derecesindeki travertenlerde süreksizlikler aşırı dar-dar aralıktır. Süreksizlik aralıkları genelde 5 cm civarındadır. Ancak, düşey yönde gelişmiş olan diğer süreksizliklerin aralıkları daha geniştir (>30 cm). Bu süreksizlikler, yoğun olarak rastlanmadığı için, bu bozunma sınıfında ikincil öneme sahiptirler. Akma yönüne paralel süreksizliklerde açıklıklar bozunmanın etkisiyle artmıştır. Ortalama süreksizlik açıklıkları 0.5-10 mm aralığındadır. Bazı seviyelerde bozunmanın da etkisiyle açılan süreksizliklerde 10 mm'yi geçen açıklıklar da tespit edilmiştir.

W4 bozunma derecesindeki travertenlerde süreksizlikler artık belirginliğini kaybettiğinden özellikleri tespit edilemez. İleri derecede bozunmuş traverten kütlelerinde kütlelel bütünlük tamamen kaybolarak malzeme ufalanmaya başlamıştır. Çekirdek taşlarının oranı %50'nin üzerine çıkmıştır. Bu seviyelerden alınan toprak örneği üzerinde, bozunmuş malzemenin tane boyu dağılımının belirlenmesi amacıyla, laboratuvarında kuru ve ıslak elek analizleri yaptırılmıştır (Şekil 13). İleri derecede bozunmuş sarı travertenlerde bozunma ürünü genellikle siltli kum (SM) olup, ince tane oranı kuru elek analizinde %16, ıslak elek analizinde %28 olarak saptanmıştır.



Şekil 13. İleri derecede bozunmuş (W4) sarı travertenlerde bozunma ürünü malzemenin tane boyu dağılımı (a: ıslak elek analizi, b: kuru elek analizi)

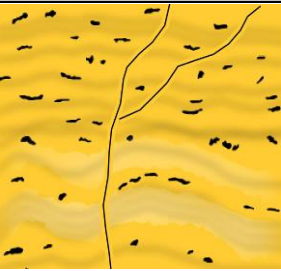

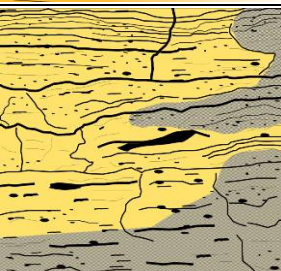
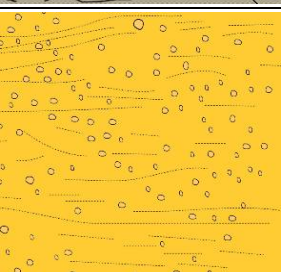
Figure 13. Grain size distribution of the weathered material in the highly weathered (W4) yellow travertines (a: wet sieve analysis, b: dry sieve analysis)

Çözünme türü kimyasal bozunmanın hakim olduğu sarı travertenlerde, tamamen bozunarak topraklaşmış kalın kütlelere rastlamak, malzemenin su etkisiyle kolayca taşınabilmesi nedeniyle zordur. Elde edilen süreksizlik verileri

ve bozunma profillerinin renk, doku vb. fiziksel özellikleri birlikte değerlendirilerek sarı travertenler için hazırlanan kütleli bozunma sınıflaması ve bozunma derecelerinin tüm tanımlayıcı özellikleri Çizelge 1’de sunulmuştur.

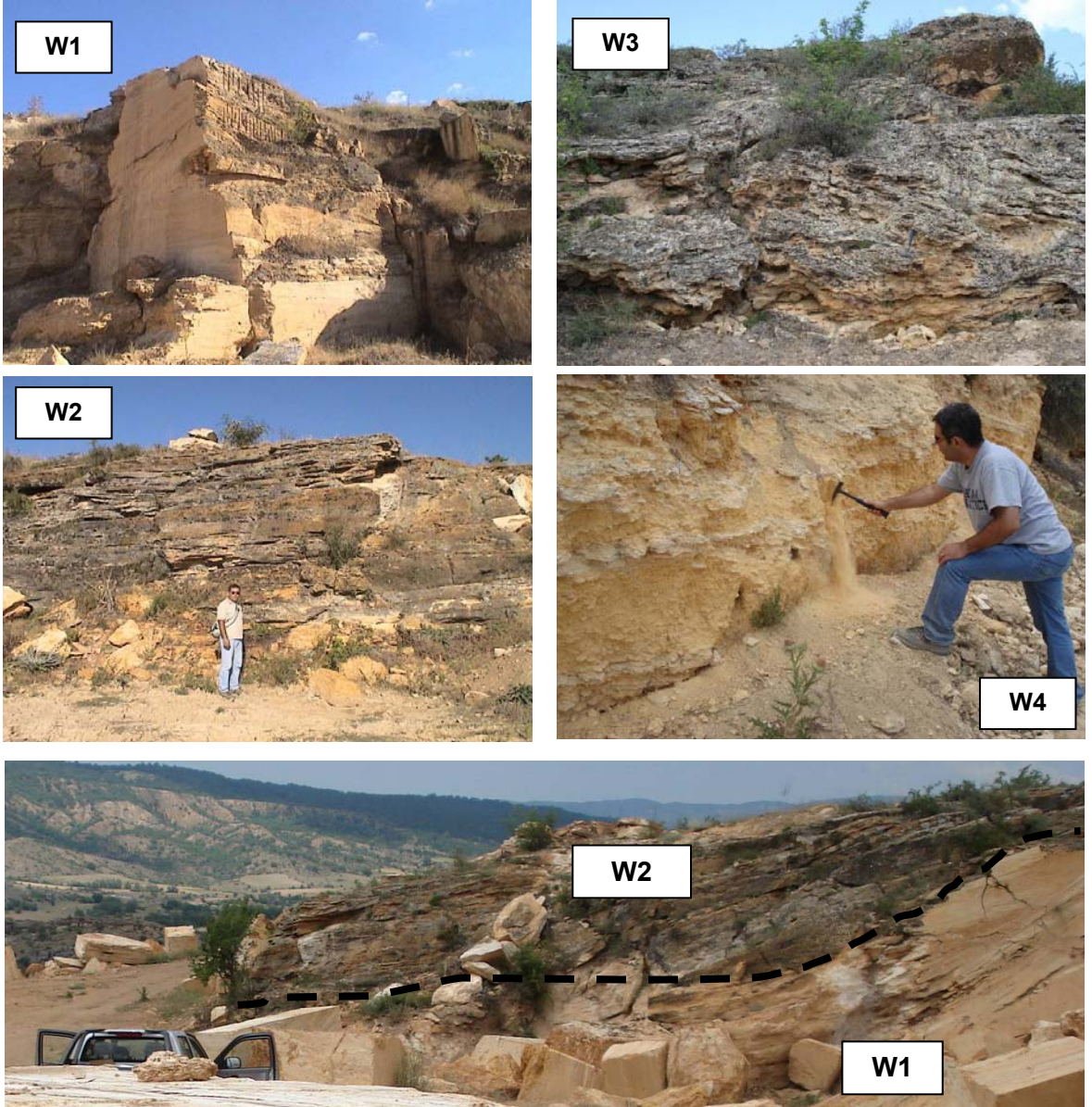
Çizelge 1. Sarı travertenler için önerilen kütleli bozunma sınıflaması

Table 1. Proposed rock mass weathering classification for the yellow travertines

Yüzlek Görünümü	Bozunma Tanımı	Bozunma Derecesi	Tanımlayıcı Özellikler
	Bozunmamış (Taze)	W1	Kaya kütlesi sarı-bej renklidir. Açık süreksizliklerde ve atmosferle temasta olan yüzeylerde renk açık - koyu griye dönüşmektedir. İnce laminalı akma izleri gözlenmektedir. Yer yer açılma çatlakları mevcuttur. Açılma çatlaklarının aralıkları çok geniş (5-40 m), açıklıkları geniş-çok geniş (10-30 cm) ve devamlılıkları yüksek-çok yüksektir (15-20 m). Kayada merceksi makro gözenekler vardır. Kayadan çekiçle parça koparmak zordur.
	Az bozunmuş	W2	Kaya rengi yer yer açık kahverengi - açık griye dönüşmüştür. Kayada laminalanmaya ve mevcut gözeneklere paralel süreksizlikler oluşmaya başlamıştır. Süreksizlikler dar - orta dar aralıklı (10-30 cm), açık - kısmen açık (0.25-2.5 mm) ve düşük - orta devamlıdır (1-5 m). Sert çekiç darbeleri ile kayadan parça koparmak mümkündür.
	Orta derecede bozunmuş	W3	İlksel doku kaybolmuştur. Kayanın dış rengi koyu gri, iç rengi ise parlak sarıya dönüşmüştür. Laminaya paralel süreksizlikler daha belirgin hale gelmiştir. Süreksizlikler aşırı - çok dar aralıklı (1-6 cm), geniş - çok geniş açıklıklı (0.5-10 cm) ve yüksek - çok yüksek devamlıdır (15-20 m). Kaya içerisindeki merceksi gözenekler kaybolmaya başlamıştır. Kaya, sağlam kaya özelliğini kaybetmeye başlamıştır. Kaya/zemin oranı %50’den fazladır.
	İleri derecede bozunmuş	W4	Kaya kütlesi ilksel bütünlüğünü kaybederek ufalanmaya başlamıştır. Kaya dokusu kaybolmuştur. Kaya rengi limonitleşmenin de etkisiyle parlak sarıya dönmüştür. Kalıntı süreksizlik izleri yer yer bellidir. Kaya kütlesi çekiçle kolaylıkla kazılır. Çekirdek taşlarının oranı %50’den fazladır. Çözünmenin etkisiyle kayada boşluklu bir yapı egemen olmuştur.

Çizelge 1’de sunulan farklı fiziksel ve kütleli özellikler, kaya kütlesi boyutunda sarı travertenlerin arazide bozunma derecelerinin belirlenmesinde kullanılabilir. Eskipazar sarı

travertenlerinde, arazi çalışmaları sonucunda belirlenmiş olan dört ayrı kütleli bozunma derecesine ait bozunma profillerinden çeşitli görüntüler Şekil 14’te verilmiştir.



Şekil 14. Sarı travertenlerde farklı bozunma derecelerine ait görüntüler
Figure 14. Views from the yellow travertines in different weathering grades

SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bozunmanın sarı travertenlerin kütleli özellikleri üzerine olan etkisinin ortaya konmasının hedeflendiği bu çalışmada, Anıtkabir’de de yapıtaşı olarak kullanılmış olan Eskipazar sarı travertenleri araştırma malzemesi olarak seçilmiştir. Yapılan arazi çalışmaları ve ölçümleri sonucunda sarı travertenlere yönelik pratik bir kütleli bozunma sınıflaması önerilmiştir. Buna göre sarı travertenlerde 4 ayrı kütleli bozunma sınıfı ayrılanmıştır. Bu sınıflar taze (W1), az bozunmuş (W2), orta derecede bozunmuş (W3) ve ileri derecede bozunmuş (W4) travertenleri içermektedir.

Travertenlerin oluşum sürecindeki en önemli yapı olan ve travertenlere anizotropik bir yapı kazandıran laminalanma, sarı travertenlerdeki en önemli zayıflık düzlemidir. Artan bozunma derecesine bağlı olarak sarı travertenlerde laminaya paralel yönde süreksizlikler oluşmaya başlar ve bu süreksizliklerin açıklığı bozunma ile artar. Bunun sonucunda artan yüzey oranına bağlı olarak travertenlerde bozunma hızlanmaktadır. Çözünme türü kimyasal bozunmanın egemen olduğu sarı travertenler, ileri derecede bozunmayla birlikte boşluklu bir yapı kazanır. Öte yandan, bozunmayla birlikte sarı traverten kütlelerindeki renk değişimi de bozunma derecesinin belirlenmesinde önemli bir ayırt edici özelliktir.

Yapıtışı sektöründe önemli bir yeri olan sarı travertenler için hazırlanan bu sınıflama, sarı travertenler için gerçekleştirilecek arazi çalışmalarına ışık tutacaktır. Sınıflamada açıklanan tanımlayıcı özellikler sarı travertenlere ait olup, önerilen sınıflamanın başka travertenler için doğrudan kullanılmaması önerilir. Öte

yandan, bu sınıflama travertenlerin bozunmasına yönelik ileride yapılacak bilimsel çalışmalara da yardımcı olacaktır. Daha çok sayıdaki traverten türü ve daha fazla sayıda araştırma noktası ile travertenler için daha kapsamlı bozunma sınıflamaları geliştirilebilir.

KATKI BELİRTME

Yazarlar, bu çalışmaya arazi incelemelerindeki katkılarından dolayı Prof. Dr. Baki Varol’a teşekkür eder. Bu çalışma Ankara Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Müdürlüğü’nün 2006-0745044 kodlu projesi tarafından desteklenmiştir.

KAYNAKLAR

- Akın, M., 2010. A quantitative weathering classification system for yellow travertines. *Environmental Earth Sciences*, 61 (1), 47-61.
- Akın, M., Özsan, A., 2010. Evaluation of the long-term durability of yellow travertine using accelerated weathering tests. *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*, (article online), DOI 10.1007/s10064-010-0287-x.
- Altunel, E., Hancock, P.L., 1993. Morphology and structural setting of Quaternary travertines at Pamukkale-Turkey. *Geological Journal*, 28, 335-346.
- Ayaz, M.E., Karacan, E., 2000. Sivas batısındaki traverten oluşumlarının yapı ve yüzey kaplama taşı olarak kullanılabilirliklerinin incelenmesi. *Jeoloji Mühendisliği*, 23-24 (1), 87-99.
- Ayaz, M.E., 2002. Travertenlerin değerlendirilmesinde yapılması gerekli incelemeler ve kullanım yeri seçimi. *Cumhuriyet Üni. Mühendislik Fak. Dergisi, Seri A-Yerbilimleri C.19* (1), 11-20.

- Bacciarelli, R., 1993. A revised weathering classification for Mercia mudstone (Keuper Marl), The Engineering Geology of Weak Rock. Proc. of the 26th Annual Conf. of the Eng. Group of the Geo. Society, 169-174.
- Biryol, C., 2004. Neotectonics and evolution of the Eskipazar basin, Karabük-Turkey, Middle East Technical University The Graduate School of Natural and Applied Sciences, Ankara, M.Sc. thesis, 124 p (unpublished).
- Chandler, R.J., 1969. The effect of weathering on the shear strength properties of the Keuper Marl. Geotechnique, 19, 321-334.
- Dehghan, S., Sattari, G., Chehreh Chelgani, S., Aliabadi, M.A., 2010. Prediction of uniaxial compressive strength and modulus of elasticity for travertine samples using regression and artificial neural networks. Mining Science and Technology (China), 20 (1), 41-46.
- ISRM, 1981. Rock characterization, testing and monitoring. International Society of Rock Mechanics Suggested Methods, Pergamon Press, Oxford, 211 p.
- Kahraman, S., Günaydın, O., Fener, M., 2005. Determination of some physical properties of travertines from ultrasonic measurement. Proceedings of 1st International Symposium on Travertine, Özkul, M., Yağız, S. and Jones, B. (eds.), Denizli, 231-234.
- Kılıç, R., Ulaş, K., Varol, B., Gökten, E., Koçbay, A., 2005. Geotechnical assessment of the travertine (Kırşehir, Turkey). Proceedings of 1st International Symposium on Travertine, Özkul, M., Yağız, S. and Jones, B. (eds.), Denizli, 256-262.
- Kuterdem, N.K., 2005. Eskipazar (Karabük güneyi) ve Kuzey Anadolu Fay Zonu (KAFZ) arasındaki bölgenin morfo-tektonik özelliklerinin coğrafi bilgi sistemleri ile belirlenmesi. Hacettepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, Yüksek Lisans tezi, 94 s (yayımlanmamış).
- Mahmutoğlu, Y., Yüzer, E., Suner, F., Eriş, I., Eyüboğlu, R., 2003. Deterioration and conservation of the Dolmabahçe Palace (İstanbul) building stones. Proceedings of Industrial Minerals and Building Stones, IMBS 2003, 343-352.
- Özkul, M., Varol, B., Alçiçek, M.C., 2002. Denizli travertenlerinin petrografik özellikleri ve depolanma ortamları. MTA Dergisi, 125, 13-29.
- Pentecost, A. 2005. Travertine. Springer, 446 p., The Netherlands.
- Schneider, C., Ziesch, J., Bauer, J., Török, A., Siegesmund, S., 2008. Bauwerkskartierung zur Analyse des Verwitterungszustands an den Außenmauern des Schlosses von Buda (Budapest, Ungarn). Schriftenreihe Dt Geol Ges (SDGG), 59, 219-235.
- Sidraba, I., Normandin, K.C., Cultrone, G., Scheffler, M.J., 2004. Climatological and regional weathering of Roman travertine. Architectural and sculptural stone in cultural landscape. Prikryl, R., Siegel, P. (eds), Carolinum Press, Prague, 211-228.
- Sidraba, I., 2006. Weatherability of Roman travertine. Faculty of Material Science and Applied Chemistry, Institute of Silicate Materials, Riga Technical University, Latvia, Ph.D. thesis, (unpublished).
- Şaroğlu, F., Herece, E., Sarıaslan, M., Emre, Ö., 1995. Yeniçağa-Gerede-Eskipazar arasındaki jeolojisi ve Kuzey Anadolu Fayı'nın genel özellikleri. MTA Derleme No: 9873 (yayımlanmamış).
- Török, A., 2006. Hungarian travertine: weathering forms and durability. Heritage weathering and conservation, Fort R, Alvarez de Buego M, Gomez-Heras M, azquez-Calvo C (eds), (1). Taylor & Francis, London, 199-204.
- Török, A., 2008. Black crusts on travertine: factors controlling development and stability. Environmental Geology, 56, 583-584.

- Tuğrul, A., Zarif, İ.H., 1999. Research on limestone decay in a polluting environment, İstanbul-Turkey. *Environmental Geology*, 38(2), 149-158.
- Uz, B., Özdamar, Ş., Ketenci, F., Yıldırım, H., 2005. Geological, petrographical, and physical characteristics of Düzköy (Ulus, Bartın) travertine occurrences and their utilization in view of marbling. *Proceedings of 1st International Symposium on Travertine*, Özkul, M., Yağız, S. and Jones, B. (eds.), Denizli, 197-200.
- Yalçın, A., Özçelik, M., 2004. Kurna Deresi (Burdur) travertenlerinin fiziko-mekanik özellikleri ve yapı taşı olarak kullanılabilirlikleri. *KAYAMEK 2004, Bölgesel Kaya Mekaniği Sempozyumu*, Sivas, Türkiye.
- Yalçınalp, B., Ersoy, H., Ersoy, A.F., Keke, C., 2008. Bahçecik (Gümüşhane) travertenlerinin jeolojik ve jeoteknik özellikleri. *Jeoloji Mühendisliği Dergisi*, 31 (2) - 32 (1), 25-34.

