

Yapıtaşı Olarak Travertenler;

Bozunmanın Travertenler Üzerindeki Etkileri

Bir kırık boyunca yeryüzüne çıkan karbonatlı suların bol olarak gözlendiği kaynaklarda veya dere kenarlarında kalsiyum karbonat ($CaCO_3$) depolanması sonucu oluşan traverten, bir çeşit kireçtaşıdır. Travertenler, karasal ortamlarda oluşan karbonatlı kayaç grubu içerisinde yer alır. Bünyesindeki demir bileşikleri veya bazı organik maddeler sonucu güzel renkli ve bantlı ya da laminalı bir yapı kazanırlar. Bu nedenle traverten, doğal yapıtaşı olarak önemli bir kullanım alanına sahiptir. Öte yandan Denizli Çimento Fabrikası örneğinde olduğu gibi, çimento hammaddesi olarak da kullanılmaktadır.

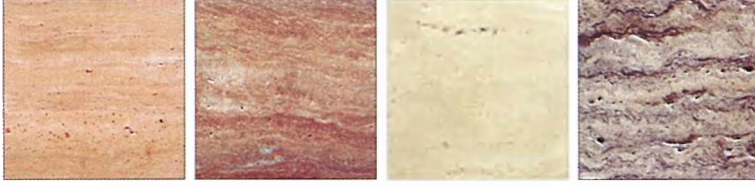
Traverten terimi, travertenin yaygın olarak bulunduğu İtalya'daki Tivoli kasabasının eski Roma'daki adı olan "Tivertino"dan gelmektedir. Travertenler, genellikle sıcak su kaynakları çevresinde çökelmiş olmaları, mikroorganizma ve bakteri yaşamı için uygun ortamların oluşmasını sağlamaları açısından önemlidir. Tufa ve traverten terimi sık sık birlikte anılmaktadır.

Mutluhan Akın

İller Bankası Genel Müdürlüğü
Opera, Ankara

mutluhanakin@gmail.com

Ancak tufalar, travertenlerden farklı olarak süngerimsi, gözenekli ve gevşek bir yapı sunarlar ve bünyelerinde bol miktarda hayvan-bitki kökenli kalıntıları içerebilirler. Kısaca denebilir ki travertenler genellikle sıcak sular tarafından çökteltilirken, tufalar meteorik kökenli soğuk sular tarafından çökteltilir.



Laminalı yapıya sahip travertenlerden örnekler

Kalsiyum karbonat (CaCO_3) bileşimindeki travertenler, kristalli, sıkı dokulu, laminalı ve tabakalı yapıdadırlar. Dayanımlarının tufalara göre daha yüksek ve sert olması, travertenlerin yapıtaşı olarak daha yaygın olarak kullanımlarına olanak sağlamaktadır. Traverten oluşumuna neden olan kalsiyum (Ca^{++}) ve karbonatlı (CO_3^{--}) çözümlerin zenginleşmesinde karbonatlı kayalar içinde su dolaşımı, sıcaklık, basınç, pH ve suda çözülmüş CO_2 gazı öncemli rol oynamaktadır⁽¹⁾. Söz konusu kayalardaki yavaş su dolaşımı çözünürlüğü artırır ve yeraltında suyun iyon bakımından zenginleşmesini sağlar. Diğer taraftan su sıcaklığının 20°C ve üzerinde olması da çözünürlüğü artıran bir diğer unsurdur. Traverten oluşturan sulardaki CaCO_3 'ün kaynağını, bünyesinde bulunan Ca^{++} ve CO_3^{--} iyonları oluşturur. Söz konusu iyonlar kalsit (CaCO_3 -hegzagonal kristal sistemli), aragonit (CaCO_3 -ortorombik kristal sistemli) ve dolomit ($\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$) gibi karbonat minerallerinin çözünmesi ile ortaya çıkar.

Travertenlerin bol gözenekli ve içi boş tüpsü yapıda görünmeleri, bünyesindeki bitkilerin çürümesi ile geriye kalan boşluklar nedeniyledir. Bitki sap, yaprak ve otçül bitkilerin gövdeleri etrafında biriken CaCO_3 tabakası, zamanla bitkinin çürümesine yol açmakta, çürüyen bu bitkisel yapılar ortamdan ayrılarak yuvarlak ve ince uzun elips şekilli gözenekler oluşturmaktadır.

Türkiye'deki Traverten Oluşumları

Türkiye'deki travertenlerin çoğu genellikle yakın jeolojik zamanda (Kuvaterner) ve değişik ortam koşullarında oluşmuşlardır. Travertenler genellikle

açılma çatlaklarının egemen olduğu İç Anadolu ve Batı Anadolu bölgelerimizde yaygındır. Batı Anadolu'daki aktif normal faylar ve açılma çatlakları boyunca yeryüzüne çıkan sıcak sular, Kuvaterner yaşlı travertenlerin oluşmasına neden olmuştur. Ülkemiz turizmi açısından önemli bir

yere sahip olan Pamukkale travertenleri, Ege graben sisteminde genellikle DB doğrultulu faylar ve açılma çatlakları boyunca gelişmiştir. Bugüne kadar en üzerinde en fazla çalışma yapılan travertenler Batı Anadolu'daki Pamukkale-Denizli

travertenleridir. Denizli travertenleri depolanma özellikleri, tektonik, hidrojeoloji ve jeotermal potansiyel gibi değişik açılardan incelenmiştir^(2, 3, 4). Diğer taraftan İç Anadolu Bölgesi'ndeki Sivas Sıcakçermik ve Kırşehir travertenleri ile batı ve orta Akdeniz bölgesindeki Antalya ve Mut travertenleri üzerinde de bugüne kadar bazı araştırmalar yapılmıştır^(5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12). Bunun yanı sıra, Sivas batısındaki travertenlerin jeolojisi, yapı ve kaplama taşı olarak kullanılabilirlikleri ortaya konulmuştur⁽¹³⁾.

Antalya yöresindeki travertenler genellikle tufa özellikleri göstermekte ve bu nedenle de bazı araştırmacılar tarafından "Antalya Tufası" olarak adlandırılmaktadır^(10, 12). Ülkemizde sırt, teras, şelale ve kanal tipi traverten oluşumları yaygın bir şekilde bulunmaktadır. Konya, Eskişehir, Kayseri, Erzurum, Çankırı, Karabük, Ankara gibi birçok yörede sırt ve şelale tipi travertenler bulunmaktadır⁽¹⁾. Kırşehir merkez, Karahayit (Denizli), Uyuz Çermik (Sivas) ve Karabük bölgelerinde ise teras tipi traverten oluşumlarına rastlanmaktadır.



Türkiye'deki bazı traverten oluşumları⁽¹⁴⁾

Travertenlerin Endüstride Kullanımı

Travertenler, endüstriyel alanlarda kaplama taşı, yapıtaşı, süs eşyası yapımı, çimento hammaddesi ve kireç üretiminde kullanılmaktadır. Travertenlerin söz konusu alanlarda kullanılabilmesi için, TS 699⁽¹⁵⁾, TS 6809⁽¹⁶⁾ ve ISRM^(17, 18) gibi standartlar ve önerilere dayalı olarak deneysel çalışmalar kapsamında incelenmesi, elde edilen sonuçların TS 1910⁽¹⁹⁾ ve TS 2513⁽²⁰⁾'de belirtilen kullanım şartlarına göre değerlendirilmesi gerekmektedir⁽¹⁾. Buna göre travertenlerin, blok verme özelliği, gözeneklilik, suda dağılma dayanımı, renk ve desen özelliği, levhalar şeklinde dilimlenebilme özelliği, cilalanabilme ve parlayabilme özelliği, birim hacim kütlesi, özgül kütle, doluluk oranı, kütlece ve hacimce su emme oranı, sertlik, saydamlık, kalınlıkça ve hacimce aşınma kaybı, tek eksenli sıkışma dayanımı, don sonu tek eksenli sıkışma dayanımı, eğilme dayanımı, darbe dayanımı, dona karşı dayanım, kimyasal bileşim, iklimsel etkilere ve asitlere dayanım gibi özelliklerinin ilgili standartlara göre belirlenmesi gerekmektedir. Bu alanda yapılan çalışmalar, travertenlerin özellikle gözeneklilik miktarının diğer parametreler üzerinde etkili olduğunu ve gözenek miktarının azalmasına ve boyutlarının küçülmesine paralel olarak da diğer özellikleri olumlu yönde etkilediğini ortaya koymuştur⁽¹⁾.

Kireçtaşlarına göre daha kırılğan ve ufalanabilir özellikte olması sebebiyle travertenler, çimento malzemesi olarak da kullanılabilir. Örneğin Denizli Çimento Fabrikası, kalker hammadde ihtiyacını fabrika sahasının hemen yakınındaki kendi traverten ocaklarından sağlamaktadır. Diğer taraftan %90-95 gibi yüksek CaO oranına sahip travertenlerden kireç üretilebilmektedir.

Travertenlerin Tarihi Eserlerde ve Anıtlarda Yapıtaşı Olarak Kullanımı

Travertenler, işlenmesi kolay bir kayaç türü olması nedeniyle, eski devirlerden bugüne kadar birçok medeniyet tarafından yapıtaşı olarak kullanılmıştır. Bu nedenle, travertenlerden imal edilmiş birçok tarihi eser bulunmaktadır. Travertenden inşa edilen tarihi yapılar, tarih öncesinden günümüze kadar gelen çeşitli medeniyetlerin ürünü olup, yaşadıkları

devirlerin sosyal, ekonomik, mimari ve benzeri özelliklerini yansıtmaktadırlar. Türkiye'de traverten denince akla gelen en önemli anıtsal yapı Anıtkabir'dir. Anıtkabir resmi kaynaklarında da belirtildiği üzere Ankara ve çevre illerdeki taş ocaklarından getirilmiş olan yapıtaşlarından inşa edilmiştir. Anıtkabir'in inşaatı sırasında, Eskipazar'a (Karabük) yaklaşık 5 km uzaklıktaki Budaklar köyü civarındaki taş ocaklarından getirilen sarı travertenler; tören alanındaki kolonlar, mozole kolonları, Aslanlı Yol çevre duvarlarında oldukça fazla miktarda kullanılmıştır.



Travertenlerin kaplama taşı olarak kullanıldığı Anıtkabir'den bir görünüm

Anıtkabir'in yanı sıra, yüksek bir traverten rezervine sahip olan Denizli yöresindeki dünyaca ünlü Hierapolis (Pamukkale), Laodikya, Tripolis ve Colassea gibi Roma dönemi antik kentlerinde ve Selçuklu kervansaraylarında yapıtaşı olarak traverten kullanılmıştır⁽²¹⁾. Bu örneklerin yanı sıra, yurt çapında travertenlerin bulunduğu yerleşim alanlarındaki çeşitli tarihi yapılarda da travertenin yapıtaşı olarak kullanıldığı görülmektedir.

Bozunmanın Yapıtaşı Olarak Kullanılan Travertenler Üzerindeki Etkisi

Yapıtaşlarında meydana gelen bozunma, jeolojik süreç içerisinde kayaçlarda meydana gelen bozunma ile oldukça benzerlik göstermektedir. Yapıtaşlarındaki bozunmada, taşın bulunduğu çevrenin iklim özellikleri birinci derecede rol oynamaktadır. Yapıtaşlarındaki bozunma sonucunda, taşın görünümü, dayanımı, bütünlüğü, boyutları ve kimyasal davranışı değişmektedir.

Kayaçlarda meydana gelen bozunmada en önemli fiziksel faktörler ıslanma-kuruma; donma-çözülme ve çözünebilir tuzlardır. Kimyasal bozunmada ise yapışmasını oluşturan minerallerin içsel yapısı, çözünme, oksidasyon ve hidroliz olayları sonucunda değişmektedir. Özellikle yarı kurak iklim koşullarında, kimyasal bozunmanın en önemli tepkimeleri hidroliz ve oksidasyondur⁽²²⁾.

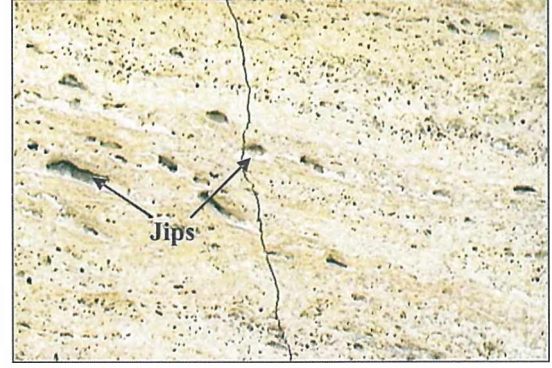
Özellikle gözenekli kayaçlarda, gözeneklerde biriken suyun donması sonucu oluşan basınçlar, kayacın ilksel yapısına önemli ölçüde zarar vermektedir. Mevsimsel sıcaklıkların 0°C civarında olduğu iklimlerde tekrarlı donma çözülme çevrimleri, kayacın zaman içerisinde zayıflamasına neden olmaktadır.

Çevrimsel olarak gerçekleşen ıslanma-kuruma olaylarının da yapışmalarında bozunmanın gelişmesine katkıda bulunduğu bilinen bir gerçektir. Birçok kayaç türü su emmesi ile birlikte genişlerken, kuruma ile birlikte büzülme davranışı sergiler. Bu genişleme-büzülme döngüsü sırasında tane sınırlarında gerilmeler oluşur ve bu gerilmeler zamanla tanelerin ayrılmasına ve kayaç bünyesinde deformasyonlara yol açar.

Yapışmalarındaki bozunma, atmosferdeki sıcaklık ve nemlilik koşullarının değişimi ile birlikte çözünebilir tuzlarda oluşan hidrasyon ve dehidrasyon etkisiyle de meydana gelebilmektedir. Hidrasyon sırasında kristal yapısının bünyesine su alması, hacimsel artışa neden olmakta ve bu durum gözenek duvarlarına belirli bir basınç uygulamaktadır⁽²³⁾.

Traverten $CaCO_3$ bileşimli bir kayaç olduğundan, iklimsel etkiler ile birlikte bozunabilmektedir. Bu kayaç türünde gözlenen en yaygın bozunma türü kimyasal bozunmadır. Kimyasal bozunma sonucunda suyun da etkisiyle travertenlerde genellikle çözünme türü bir kimyasal aktivite gözlenir. Kimyasal bozunma ile birlikte gözenekli yapısı sebebiyle boşlukları dolduran suların donma ve çözülme faaliyeti sonucunda fiziksel bozunmanın da etkili olduğu bilinmektedir. Travertenlerin bozunması üzerinde etkili olan diğer bir unsur ise gözeneklerde oluşan ikincil kristallerin yarattığı basınçlardır. Özellikle atmosferik kirleticilerin

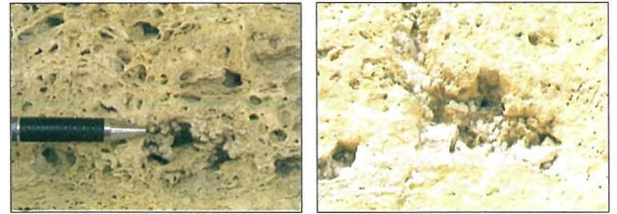
yoğun olduğu ortamlarda traverten gözeneklerinde oluşan jips kristalleri ıslanma ve kuruma çevrimleri neticesinde hacimce genişlemekte ve bu hacim genişlemesi sonucu oluşan basınçlar, travertenin zaman içerisinde parçalanmasına yol açmaktadır.



Yapışması olarak kullanılan travertenlerde gözlenen kırılmalar

Travertenler oldukça yüksek gözenekliliğe sahip bir kayaç grubunda olduğundan, yağışlar sonucu oluşan suların kayaç ile temas süresi de diğer kayaç gruplarına göre daha fazla olmaktadır. Söz konusu sular bu gözeneklerde birikebilmekte ve $CaCO_3$ bileşiminde olan bu kayaç ile kimyasal tepkimeye girebilmektedir. Öte yandan daha önceden de belirtildiği üzere, bu suların gözenekler içinde donması ve çözülmesi sonucu meydana gelen basınç değişimleri de travertenlerin ilksel yapısına zarar vermektedir.

Travertenlerin yapışması olarak kullanıldığı Anıtkabir'de bozunmanın travertenler üzerindeki etkilerini izlemek mümkündür. Aşağıdaki şekillerde gösterilen örnekler Anıtkabir'de kaplama taşı olarak kullanılmış ve yaklaşık 50 yıldır atmosferik etkilere maruz kalmış travertenlere aittir.

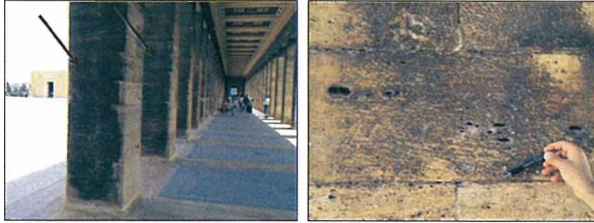


Travertenlerin gözeneklerinde oluşan jips kristalleri

Ankara ve yakın çevresinde atmosferik kirleticilerin yoğun olarak bulunduğu bir iklim hüküm sürmektedir. Özellikle sonbahar ve kış aylarında oluşan yağışlar neticesinde travertenlerin gözeneklerinde biriken sular Anıtkabir'deki travertenler için en önemli bozunma ajanıdır.

Aynı zamanda kirli havada bulunan sülfatlı bileşiklerin bu gözeneklerde birikmesi ve travertenler ile tepkimeye girmesi sonucunda jips kristalleri oluşturmuştur. Bunun örneklerine Anıtkabir travertenlerinde oldukça sık rastlanmaktadır. Bu jips kristallerinin hacimsel değişimleri sonucunda yapıtaşı olarak kullanılmış olan bu travertenlerde ciddi deformasyonlar meydana gelmektedir.

Anıtkabir travertenlerinde bozunmanın etkileri yoğun olarak görülmektedir. Ankara ve çevresinde gözlenen karasal iklim şartları bu travertenlerin bozunmasında önemli etken olmuştur. Kış aylarında 0°C dolaylarında seyreden sıcaklıklar donma ve çözülme olgularının; ilkbahar ve sonbahar aylarındaki yağışlar da ıslanma ve kuruma döngülerinin travertenler üzerinde etkili olmasına ve bunun sonucunda bozunarak ilksel yapılarını zaman içerisinde kaybetmelerine neden olmuştur. İklimsel şartların yanısıra; endüstriyel ve insani faaliyetler sonucunda oluşan hava kirliliği de travertenin bozunması üzerinde oldukça etkilidir.



Atmosferik kirliliğin Anıtkabir travertenleri üzerindeki etkisi

Teşekkür

Yazar, bu çalışmaya yapıcı değerlendirmeleri ve katkıları nedeniyle Mehmet Özkul (Pamukkale Üniversitesi)'a içten teşekkürlerini sunar.

Kaynaklar

- (1)Atabey, E., 2003. Tufa ve Traverten, Jeoloji Mühendisleri Odası Yayınları, No: 75, 106 sayfa.
- (2)Ekmeççi, M., Günay, G., Şimşek, Ş., Yeşertener, C., Elkhatip, H. ve Dilsiz, C., 1995. Pamukkale sıcak sularının traverten çökeltme özelliklerinin CO₂ kaybı çökeltme kinematüğü ilişkileri açısından irdelenmesi, *Yerbilimleri*, 17, 101-113.
- (3)Altunel, E., 1996. Pamukkale travertenlerinin morfolojik özellikleri, yaşları ve neotektonik önemleri: *MTA Derg.*, 118, 47-64.
- (4)Özkul, M., Varol, B., Alçiçek M.C., 2002. Denizli travertenlerinin petrografik özellikleri ve depolanma ortamları, *MTA Dergisi*, 125, 13-29.
- (5)Burger, D., 1990, *The travertine complex of Antalya,*

- southwest Turkey. Z. Geomorphol. Suppl.*, 77, 25-46.
- (6)Kılıç, R. ve Yavuz, S., 1994, Relationship between geotechnical properties of the Antalya (Turkey) travertine. *Bull. of IAEG*, 50, pp. 43-50, Paris.
- (7)Tekin, E. ve Ayyıldız, T., 2001. Sıcakçermik jeotermal alanındaki (Sivas KB, Türkiye) güncel traverten çökellerinin petrografik özellikleri, *Türkiye Jeoloji Bülteni*, 44, 1, 1-13.
- (8)Atabey, E., 2002. Çatlak sırt tipi laminalı traverten-tufa çökellerinin oluşumu, mikroskopik özellikleri ve diyajenez, *Kırşehir, MTA Dergisi*, 123, 91-97.
- (9)Atabey, E., 2002. Mut dolayında Pliyosen-Kuvaterner yaşlı travertenlerde gelişen oolit ve pizolit oluşumları, *MTA Derg.*, 125, 59-63
- (10)Glover, C.P. ve Robertson, A.H.F., 2003. Origin of tufa (cool-water carbonate) and related terraces in the Antalya area, SW Turkey. *Geological Journal*, 38, 329-358.
- (11)Kılıç, R., Ulaşım, K., Varol, B., Gökten, E., Koçbay, A., 2005. Geotechnical assessment of the travertine (Kırşehir, Turkey), *Proceedings of 1st International Symposium on Travertine*, (Editörler: Özkul, M., Yağız, S. ve Jones, B.), Denizli, 21-25 Eylül 2005, s. 256-262.
- (12)Koşun, E., Sangül, A., ve Varol, B., 2005. Sedimentological investigation of Antalya tufas, *Proceedings of 1st International Symposium on Travertine*, (Editörler: Özkul, M., Yağız, S. ve Jones, B.), Denizli, 21-25 Eylül 2005, s. 50-61.
- (13)Ayaz, M.E., ve Karacan, E., 2000. Sivas batısındaki traverten oluşumlarının yapı ve yüzey kaplama taşı olarak kullanılabilirliklerinin incelenmesi, *Jeoloji Mühendisliği*, 23-24, S.1, 87-99.
- (14)Yüzer, E. ve Angı, S., 2005. Natural stone sector in Turkey special attention to Turkish travertines, *Proceedings of 1st International Symposium on Travertine*, (Editörler: Özkul, M., Yağız, S. ve Jones, B.), Denizli, 21-25 Eylül 2005, s. 3-13.
- (15)TS699, 1987. Tabii Yapı Taşları, Muayene ve Deneysel Metotları, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara, 82 sf.
- (16)TS6809, 1989. Mohs sertlik cetveline göre sertlik tayini; *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara.
- (17)ISRM, 1978. Suggested method for the quantitative description of discontinuities in rock mass, *Geo. 10*, Standart of Lab. and field test., *Int. Jour. Rock Mec. Min. Sct. Jeomec.*, Abs.Tr.V.15, pp.319-368.
- (18)ISRM, 1981. Rock characterization, testing and monitoring, *International Society of Rock Mechanics Suggested Methods*, Pergamon Press, Oxford, 211 pp.
- (19)TS1910, 1977. Kaplama olarak kullanılan doğal taşlar, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara.
- (20)TS2513, 1977. Doğal Yapı Taşları, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara, 5 sf.
- (21)Özkul, M., 2005. Travertine deposits of Denizli extensional basin in Western Turkey: A General Review. *Proceedings of 1st International Symposium on Travertine*, (Editörler: Özkul, M., Yağız, S. ve Jones, B.), Denizli, 21-25 Eylül 2005, s. 18-24.
- (22)Topal, T and Sözmen, B., 2003. Deterioration mechanisms of tuffs in Midas monument, *Engineering Geology*, 68, pp. 201-223.
- (23)Winkler, E.M., 1997. *Stone in Architecture*, Third Edition, University of Notre Dame, USA, 313 p.