

# TUFA VE TRAVERTENLERİN GENEL ÖZELLİKLERİ, SINIFLAMASI, DEPOLANMA ORTAMLARI

**Dr. Eşref ATABEY**

esrefatabey@ gmail.com

## ÖZ

Karbonat kayaları denizel ve karasal ortamlarda çökelerler. Denizel ortamlarda çökelenler plaj, gelgitedüzlüğü, lagün, resif, resif önü, havza yamacı ve havza ortamlarını karakterize ederler. Karasal karbonatlar ise kart ve kalış, göl, tufa ve travertenlerdir. Traverten terimi, travertenin yaygın olarak bulunduğu İtalya'daki Tivoli kasabasının eski Roma adı olan Tivertino'dan gelmektedir. Travertenler; tufa, kalk tufa, kalker tufa, bitki tufası, karbonat kongresyonları, taşlaşmış yosun olarak anılmaktadır. Bu çökeltilere Julia (1983) tarafından Vaucheria tufası, Chironomid tufası, kaynak sinteri, kalsik sinter, sinter kabuğu gibi yerel adlar verilmiştir. ABD, İspanyolca konuşan ülkeler ve günümüz Avrupasında tufa teriminin yerine traverten kullanılmaktadır.

Tufa ve travertenler; bir bölgenin hidrolojik yapısı, iklim ve mikrobiyolojik toplulukları, iklimsel denestirmeler, yaşlandırılmalar ve paleortam hakkında önemli bilgiler sunarlar. Ayrıca tufalar göl seviyesi değişimlerini yorumlamada kullanılabilirler. Travertenlerin genellikle sıcak su kaynak çevresinde çökelmiş olmaları, mikroorganizma ve bakteri yaşamı için uygun ortamların oluşmasını sağlamaları ve Dünya'da ilk yaşam izleri hakkında veriler sunmaları bunların önemini bir kat daha arttırmıştır. Dünya üzerinde yaşayan ilk organizmaların travertenlere bağlı yüksek sıcaklık mikroorganizmalarıdır. Ayrıca travertenlerin sırt tipinde olanları, oluşukları çatlağın gelişimiyle ilgili önemli bir veri kaynağıdır. Tufa ve travertenler günümüzde çimento hammaddesi, en önemli yapı ve dekorasyon malzemesi olma özelliğini korumaktadır. Travertenler bir kırık boyunca yeryüzüne çıkan karbonatlı suların bıraktığı ince tabakalı ve laminalı, oldukça sert karbonat çökeltilerdir. Buna karşın tufalar süngerimsi, gözenekli yapıda, gevşek, içinde hayvan ve bitki kalıntıları olabilen çökeltilerdir. Eğer arazide tufa ve travertenler bir arada ardalanmalı izlenirse, aradaki tufa düzeyleri termal akışın mikrofıtların kolonileşmesine izin verecek tarzda suyun serinlediğini gösterir.

Pentecost (1993), Pentecost ve Viles (1994), Ford ve Pedley (1996) tüm tufa-traverten çökellerini traverten adı altında toplamışlar ve onları sıcaklık esasına göre ayırmışlardır Yoğun gözenekli ve süngerimsi yapıda olan ve bitki kalıntıları içeren tam pekişmemiş soğuk ve ılık su kaynakları çevresindeki karbonat çökeltileri için tufa terimi kullanılmıştır. 3500 yıl önceden günümüze Avrupa'da tufa gelişimi azalmaktadır. Bu durum, ağaçsızlandırma, çiftçilikte gübre kullanımı ve erozyonla bağlantılıdır. Toprak kullanımı, gübre , aşırı toprak akaçlaması yeraltına süzülen CO<sub>2</sub> nin emme hızını olumsuz etkilemektedir. Düşük yeraltısu tablası ve azalan boşalım hızları da kireçtaşı çözünme hızında ve sonuçta tatlısu birikimi için nihai CaCO<sub>3</sub> miktarında bir azalmaya yol açmaktadır.

## **Tufa ve Traverten Tanımlaması**

Bates ve Jackson (1980) göre tufa; bir göl içinde ya da kıyısında, karbonatlı ırmak kenarlarında, sıcak ve soğuk kalkerli kaynak ağızlarında çökelen kalın, soğansı yapıda ve yığışimli şekilde, bazen ince kabuksu yapıda, kırılğan ve süngerimsi, gözenekli olan kimyasal kökenli sedimanter kayaç olarak tanımlanmıştır. Tufalar algler veya bakterilerce çökeltilirler. Ford ve Pedley (1996) göre ise tufa ABD dışında ingilizce konuşan ülkelerde kullanılan, Kuvaterner ve günümüzde yaygın olan kalkerli tatlısu çökeltilerini ifade eder. Bunlar serin, ılıman ve yarı kurak bölgelerdeki çağlayanlar ve kaynaklarda olmaktadır. Tufa terimi Roma döneminde açık beyaz renkli çökeltileri tanımlamada kullanılmıştır. Pedley (1990) göre de tufa ılık ve soğuk su

kaynakları çevresinde çökelen yoğun gözenekli ve süngerimsi yapıdaki, yaprağımsı ve odunsu dokudaki karbonat oluşumudur.

Genel olarak tufayı tüm soğuk ya da ılık tatlı su ortamında yaşayan algler ya da bakterilerce çöktürülen, gözenekli ve süngerimsi yapıdaki düşük Mg kalsit çöktürmeleri olarak tanımlayabiliriz.

Travertenler; karstik veya sıcak su kaynaklarının çevresinde, küçük nehirler ve bataklıklarda oluşabilen, çimentolanmayla ve/veya biyokimyasal yolla çökelebilen kalsiyum karbonat birikimleridir. Travertenler gözenekli yapısı veya yoğunluğuna bakılmaksızın bitki kalıntıları üzerindeki tüm karbonat kabuklanmaları olarak tanımlanmaktadır. Gerçekten çoğu fosil travertenler çok sayıda boşluğun tamamının bir arada çimentolanmasıyla oluşmuş olup, sık dokuludurlar. Traverten terimi, travertenin yaygın olarak bulunduğu İtalya'daki Tivoli kasabasının eski Roma adı olan Tivertino'dan gelmektedir. Terim Roma'dan geçen Lapis Tiburtinus veya Tibur ırmağından türeyen Travertendir. Travertenler tufa, kalk tufa, kalker tufa, bitki tufası, karbonat kongresyonları, taşlaşmış yosun olarak anılmaktadır. Julia'a (1983) göre bu çöktürmeler Vaucheria tufası, Chironomid tufası, kaynak sinteri, kalsik sinter, sinter kabuğu gibi yerel adlar almışlardır. Pia (1933) sinter terimini tipik olarak daha yoğun ve tufadan daha sert biyolojik kökenli olmayan çöktürmeleri için kullanmıştır. ABD, İspanyolca konuşan ülkeler ve günümüz Avrupa'sında ise tufa teriminin yerine traverten kullanılmaktadır.

Genel anlamda travertenler; ince tabakalı, laminalı, çalı benzeri bakteri büyümelerine sahip, sert ve yoğun kristalli CaCO<sub>3</sub> birikimleridir (Atabey, 1997). Traverten dokusu suyun tekrar soğuduğu alanlarda tufa dokusuna geçebilirler (Atabey, 2002a).

Yukarıdaki tanımlamalara göre ve yapılan çalışmaları değerlendirildiğinde Antalya yerleşim yeri platosunu oluşturan karasal karbonat çöktürmeleri tufa ve yere yer traverten karakteri göstermektedir.

### **Yapılan Çalışmalar**

Traverten ve tufaların sınıflaması, oluşum ortamları, kökenleri, diyajenezi ve yaşlandırılmaları konularında Dünya'da bir çok çalışma yapılmıştır. Julia (1983), Chafetz ve Folk (1984), Pedley (1990), Srdoc vd. (1985, 1994), Ford ve Pedley (1996), Pentecost (1990), Pentecost ve Tortora (1989), Evans (1999), Chafetz ve Guidry (1999), Guo ve Riding (1994, 1998, 1999), Guo vd. (1996) bunlardan bazılarıdır. Türkiye'de ise travertenlerin oluşumu, yaşı, mikroorganizma etkileri, çökelme kinetiği gibi çalışmalar Pamukkale (Denizli) travertenleri üzerinde yoğunlaşmıştır. Bunlara Pentecost vd. (1997), Altunel ve Hancock (1993a, 1993b), Ekmekçi vd. (1995a, 1995b), Altunel (1996a, 1996b) örnek verilebilir. Ayrıca Atabey (2002a) tarafından Kırşehir'deki çatlak sırt tipi laminalı traverten ve tufaların oluşumu, mikroskopik özellikleri ve diyajeneziyle ilgili, Mut (Mersin) traverten içi pizolitlerin özellikleri Atabey (2000, 2002b) ve Sıcakçermik (Sivas) traverteninin petrografisi Tekin vd. (2000) tarafından, Özkul vd. (2002) tarafından Denizli travertenlerinin petrografik özellikleri ve depolanma ortamlarıyla ilgili çalışmalar yapılmıştır.

### **Tufa ve Travertenleri Oluşturan Suların Sınıflaması**

Tufa ve travertenleri oluşturan sular; yüzeysel, magmatik, metamorfik ve formasyon kökenli olabilmektedir. Ayrıca bunlar sıcaklıklarına, pH durumlarına, sertliklerine, çözelti içeriğine göre sınıflandırılmaktadır

### **Travertenlerin Çökmesinde Etkili Olan Faktörler**

Travertenlerin çökmesinde çözelti içindeki kalsiyum, karbondioksit ve karbonik asit oranı, karbondioksit basıncı, Eh ve pH durumu, topoğrafya, hidrostatik basınç, mikroorganizma etkinliği, iklim şartları, bitki örtüsü gibi faktörler etkili olmaktadır. Suda çözünmüş olan karbondioksit, basınç altındaki yeraltısularında önemli bir bileşendir. Basınç altındaki yer altı suları kırık ve çatlaklardan yukarıya doğru yükseldiklerinde basınçtan kurtularak, bünyelerindeki karbondioksiti kaybederler. Bu durumda CaCO<sub>3</sub> çökeliyi yani traverten çökeliyi gerçekleştirir.

Ca(HCO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>'li sulardan CO<sub>2</sub>'in hızlı ayrılması, hızlı çökmeye ve iri gözenek oluşumuna, yavaş ayrılması ise yavaş çökmeye ve küçük gözenek oluşumuna neden olarak petrografik özelliklerinin oluşmasını sağlar.

Suyun Eh ve pH 1 minerallerin çökmelerinde önemlidir. Sülfürlü mineraller bazik ve indirgen ortamlarda (Eh 0 dan küçük, pH 7 den büyük), oksitli mineraller yükseltgen ve bazik ortamlarda (Eh 0 dan büyük ve pH 7 den büyük), karbonat mineralleri ise bazik ortamlarda (pH 7 den büyük) çökmektedirler. Bunlardan başka bikarbonatça zengin suların, yeryüzüne yükselme hızlarındaki değişimi, akış hızları ve suyun miktarı traverten çökeltiminde önemli rol oynamaktadır. Travertenlerin çökmesinde topoğrafya önemli bir etkidir. Fazla eğimli yüzeylerde daha fazla CO<sub>2</sub> kaybı olmakta, su daha fazla mesafelere taşınmakta ve daha az traverten çökeltilmektedir. Eğimi az olan yüzeylerde daha yavaş CO<sub>2</sub> kaybı olmakta ve dolayısıyla bakteri etkinliğinde daha fazla traverten çökeltilmektedir. Holland ve Malinin'e (1979) göre sıcaklığın 150 derece olması halinde karbondioksit çözünürlüğü artmakta, aksine CaCO<sub>3</sub> çökelişi azalmaktadır. Daha yüksek sıcaklıklarda CO<sub>2</sub> nin çözünürlüğü azalmakta, buna karşın CaCO<sub>3</sub> ün çökmesi hızlanmaktadır. Bir çok sıcak su çevresinde traverten depolanmasının olması bu özelliğinden kaynaklanmaktadır. Hidrostatik basınç sayesinde çözünürlük artmakta ve CaCO<sub>3</sub> çökmesi azalmaktadır. Aksine hidrostatik basınç ortadan kalktığı zaman da CaCO<sub>3</sub> çökmesi hızlanmaktadır. CaCO<sub>3</sub> ün çökmesi için suyun bünyesindeki CO<sub>2</sub> ve Ca miktarının uygun derişime ulaşması gerekir. CO<sub>2</sub>, sıcaklık, basınç ve fotosentez yoluyla denetlenir. CaCO<sub>3</sub> çökmesi için su içindeki CO<sub>2</sub> nin azalması gerekir. Fizikokimyasal ve biyokimyasal CaCO<sub>3</sub> kabuklanmaları

1-Karstik, 2-Traverten süreçleriyle olmaktadır.

Fiziko kimyasal veya biyokimyasal kabuklanma 3 şekilde olmaktadır

a-Karst veya bitki örtüsünün ya da sıcaklık değişimlerinin CaCO<sub>3</sub> çökmesini sağladığı termo mineral kaynakları kalsiyum karbonatın fiziko kimyasal çökeline bağlı olarak karst yapılarındaki bazı karakteristik özellikleri göstermektedir.

b-Küçük ırmakların kanallarında havuz ve barajlarında traverten şekillenmektedir. Barajlı havuzlarda bitki topluluklarının CaCO<sub>3</sub> kabuklanmasıyla ve bazen yaprak, gövde ve dal düşmesiyle su akışının yavaşlaması ya da kesilmesine bağlı olarak CaCO<sub>3</sub> birikimi başlamaktadır (Şekil 3). CaCO<sub>3</sub> kabuklanmalarının başlamasıyla kırıntılı-litoklastik çökeltiminde olmaktadır. Bu kırıntılılardan olan çakıllar, başlıca onkoidlerden ve su taşkını anında bozulan barajların kırıntılılarından oluşur.

c-Bitki örtüsünün geliştiği göllerin litoral ortamında traverten gelişmektedir. Bu durumda travertenler akarsu ve göl çökelleriyle ara tabakalıdır.

Nemli ve yağışlı alanlarda karbonat çökmesi olumsuz etkilenir. Yağış çözünmüş CO<sub>2</sub> konsantrasyonunu artırır ve CaCO<sub>3</sub> ün çökmesini zorlaştırır.Bitki örtüsü, Ca<sup>++</sup> bikarbonatlı suların akış hızını yavaşlatarak traverten çökmesine katkıda bulunur.Travertenlerin bol gözenekli ve içi boş tüpsü yapıda görünmeleri bünyesindeki bitkiler sayesinde olur. Bitki sap, yaprak ve otçul bitkilerin gövdeleri çevresine biriken CaCO<sub>3</sub> tabakası, zamanla bitkinin çürümesine yol açmakta, çürüyen sap, dal ve gövdeler dış kabuk içinde borucuk, tüpcükler şeklinde yapı oluşturmaktadırlar.

### **Tufa Sınıflaması**

Pedley (1990) tarafından petrolojik kriterlere dayandırılarak yapılan tufa sınıflaması;

1-Otokton tufa çökeltileri, 2-Klastik tufa çökeltileri olarak ikiye ayrılmıştır.

1-Otokton Tufa Çökelleri: Fitoherm çatıtaşı ve fitoherm bağlamtaşı

2-Kırıntılı Tufa Çökelleri: Fitoklast tufa, cyanolit "onkoidal" tufa, intraklast tufa, mikrodetritik tufa ve paleotopraklar

### **Tufa Çökeltme Modelleri**

1-Akarsu sistemi: a-Örgülü akarsu modeli, b-Baraj modeli, 2-Yamaç sistemi (asılı kaynak hattı=tünek): a-Yakınsak model (kaynağa yakın, 3-Çökeltim), b-İraksak model (kaynağa uzak

çökelim), 4-Çağlayan (şelale) modeli , 5-Göl sistemi, 6-Paludial (geçici) sistem, 7-Yüzeysel (subaerial ) topluluklar , 8-Tuzlu göl tufaları

### **Traverten Sınıflaması**

Travertenlerle ilgili bir çok sınıflama yapılmıştır. Chafetz ve Folk (1984) tarafından travertenler 5 sınıfa ayrılmıştır. Bunlar, 1-Şelale ya da çağlayan tipi, 2-Sığ göl dolgusu tipi, 3-Yamaç tümseği yelpazesi ya da koni tipi, 4-Teraslı tümsekler, 5-Çatlak sırt tipi travertenlerdir. 1-Şelale veya çağlayan tip, 2-Sığ göl dolgusu tipi, 3-Eğimli yamaç tümsekleri, yelpazeler ve koniler, 4-Teraslı (taraçalı) tümsekler, 5-Çatlak sırtları

### **Traverten Litofasiyesleri**

Guo ve Riding (1998) sahada 8 tip litofasiyes ayırtlamış ve bunların çökeltme ortamlarını ortaya koymuştur.

Bunlar; 1-Kristalin kabuk tipi, 2-Çalı tipi, 3-Pisoid, 4-Sal tipi, 5-Zarflı hava kabarcıklı tip, 6-Kamış tipi, 7-Litoklast ve 8-Paleotopraklardır.

Rapolano travertenlerinde ayırtlanan bu litofasiyesler ülkemizdeki sıcak su kökenli traverten çökellerinde de gelişmiş olup (Ör. Denizli, Pamukkale) bir ya da birkaç litofasiyesle temsil edilmektedir.

1-Kristalin kabuk, 2-Çalı tipi, 3-Pisoid, 4-Sal tipi=Kalsit buzları şeklinde, 5-Zarflı hava kabarcıklı, 6-Kamış tipi, 7-Litoklast tipi, 8-Paleotoprak

### **Travertençökeltme Sistemleri Ve Fasiyesleri**

Guo ve Riding (1998) tarafından İtalya Rapolano travertenini dikkate alınarak, yamaçlardaki ve çöküntü havzalarındaki konumlarına göre üç depolanma sistemi tanımlanmıştır.

1-Yamaç depolanma sisteminin açık renkli travertenleri; a-Teraslı yamaç fasiyesi, b-Düz yamaç fasiyesi, c-Şelale fasiyesi

2-Yamaç aşağı çöküntü depolanma sisteminin karışık açık ve koyu renkli travertenleri; a-Çalı düzlüğü fasiyesi, b-Bataklık havuz fasiyesi

3-Kamış tümseği depolanma sistemleridir.

### **Tufa ve Traverten Diyajenezi**

Diyajenez (taşlaşma) işlemi tufa ve traverten çökellerinin depolanması sırası ve sonrasındaki tüm değişiklikleri, taşlaşmaya kadar olan olayları içerir. Bunlar kristal oluşumu, mineralojik değişimler, mikritleşme gibi olayları kapsamaktadır.

**1-Mineraloji:** Tufa ve travertenlerde egemen kalsit minerali aragonittir. Ayrıca termomineral suların eşlik ettiği ve diatomelar, sapçıklar ve kökayaklı kabuklardan gelen veya yaklaşık %5 silis veya detritik kuvars bulunduran düşük Mg içerikli kalsit mevcuttur.

**2-Doku ve Mikrodokular:** Traverten oluşum süreçlerindeki organizmalarla ilişkili olarak bir çok doku vardır. Bitki örtüsü farklı şekillerde faaliyet gösterir. Çürüyen CO<sub>2</sub>, hücrelerde oluşan metabolik kalsiti içeren biyokimyasal kalsit çökeltimi, suyun akışıyla birlikte partükülleri içine alma ve sonuçta fiziko-kimyasal çökelmeye uygun durum oluşturur. İki tip doku ayrılabilir.

1-Doğrudan alg etkinliğiyle ilgili ve mikro iplikçikler ve düşük Mg kalsit in mikro kripto kristalin özşekilsiz kristallerinin oluşumuyla karakterizedir.

2-Yosun kümeleri, hepatikler ve milimetrik boyuta erişen Miriophilacene üzerindeki özşekilli düşük Mg kalsit kristallerinin çökeltmesiyle oluşan doku.

Farklı alg laminaları dönemsel büyümelere bağlı olarak küçük doku çeşitliliği gösterir. Bu Oscillatoriacea'da olan dönemsel büyüme, milimetre altına değişen aralıklarda laminalı bir tabakalanma oluşturur. Kaynaklardaki laminalanma daha ince ve daha koyu olmaktadır. Özşekilli kristallerle birlikte mikro kristalin özşekilsiz kristaller hızlı şekilde neomorfizma gösterirler. Düşük Mg kalsitin uzun özşekilli kristalleri, dereceli süreçlerden etkilenmekte ve kripto-mikro kristalli özşekilsiz kristallere dönüşebilmektedir. Alg filamentlerini kaplayan kripto-

mikrokristalli özşekilsiz kristaller, daha büyük kalsit kristalleri oluşturacak şekilde düzenlenmektedir. Bu neomorfizma süreçleri hızlı oluşmakta ve yüksek gözenekli geçirgen traverten dokusu boyunca etkili su dolaşımı olmaktadır. Aynı nedenle traverten boşlukları hızla çimentolanır ve eş boyutlu kalsit kristalleriyle doldurulur.

**3-Bakteri Diyajenezi:** Traverten içinde bakterilerin çoğu bozunmaya uğrar. Bunlar makro gözeneklilik sunarlar. Organik bozulma genellikle karbonik ve diğer asit oluşumuna bağlı olarak pH'ı düşüren süreçlerle sonuçlanır. Asitler çevresini saran sparla tepkimeye girer ve sonuçta bakteriden büyük hacim kaplayan boşluklar oluşur. Tek tek oksitlenmiş bakteri bazen dairesel kahverengi lekeler şeklinde görülür. Daha ileri diyajenez evresinde gözenekler kalsitle doldurulabilir. Bakteriler bu şekilde karbonatın çökeliminde etkin rol oynamaktadırlar.

Tufaların çoğu düşük Mg kalsitten oluşur. Bu nedenle değişime yatkındırlar. Chafetz vd.'ne (1994) göre bunlar mikritleşme, mavi-yeşil algler, mantarlar ve diğer mikroorganizmaların etkinliğinde oluşurlar. Bu organizmalar açıktaki sparları bozmakta ve bulutlu sparlara ve mikrite dönüştürürler. Çoğu tufalar bu bozucu süreçten kurtulmuştur ve keskin iç dokuyu korumuştur. Şekil 54'de sırt tipi travertenin tabakalı kısmından alınan örneğin mikroskop görünümü, Şekil 55'de tufadan alınan örneğin mikroskop görünümü, Şekil 56'de güncel travertenleri oluşturan aragonit kristal agregatlarının SEM görüntüsü, Şekil 57'de bakteri bozunmasıyla mini mikrit oluşumu, Şekil 58'da tufa ve travertenlerde etkili olan algal filamentlerin kalsifikasyon evrimi, Şekil 59'de ise kalsitleşmiş filament SEM görüntüsü verilmiştir.

### **Travertenlerde Bakteri Çalıları**

Bakteri çalıları birçok sıcaqsu traverten çökeltisinde yaygın olarak bulunan ve kalsitten oluşan bir bileşendir. Çalılar farklı şekiller gösterir. Bakteri çalıları özellikle bahçede gördüğümüz çalı benzeri şekilde olan bakteri çalılarında, düzenli geometrik şekiller sunan kristal çalıları ve kristalin kalsit yelpazeleri şeklinde olan ışınsal çalılara kadar değişkenlik gösterir. Bakteriyal çalılardan birincisi organik olarak oluşurken diğer ikisi fizikokimyasal çökeltme ile anorganik olarak oluşur.

Sıcaqsu travertenleri içinde başlıca üç çalı tipi gözlenir.1-Bakteriyal çalılar, 2-Kristal çalıları, 3- Işınsal kristal çalıları

### **Paleoortam-Travertenlerde Uranyum-Toryum Yaşlandırması**

Uranyumun kalsiyumlu doğal sularda çözülebilme özelliği vardır ve kolayca anyon kompleksi oluşturabilir. Ancak Toryum çözeltide hızlı bir şekilde hidrolize olur ve kil mineralleri üzerinde tutulur. Smart (1991) özellikle travertenlerde Uranyum-Toryum yaş tekniğini irdelemiştir. Uranyum kalsiyum karbonatın kimyasal ya da biyolojik çökeltmesi sırasında aynı zamanda çökeltmekte ve kalsit kristalleri arasında korunmaktadır. Ancak Toryum çökeltmemektedir. Dolayısıyla ana izotrop <sup>234</sup>U a karşın <sup>230</sup>Th eksikliği mevcuttur. Zaman içinde <sup>230</sup>Th/<sup>234</sup>U oranı eşitlik sağlanıncaya kadar kademeli olarak artmaktadır. Smart'a (1991) göre <sup>230</sup>Th/<sup>234</sup>U yöntemi uranyum serisi güvenilir bir metottur. Rekrystalize olmuş, yüksek gözeneklilik gösteren örneklerden U-Th yaşlandırması iyi sonuç vermemektedir.

<sup>14</sup>C yöntemi kullanılarak günümüzden 40.000 yıl öncesi mutlak yaşlandırma yapılabilen ancak daha yaşlı çökeller için K-Ar yöntemi geçerli olmaktadır. Traverten ve tufa gibi kalkerli çökeltelerin yaşlandırılmasında Th-U yöntemi % 5-10 hatayla günümüzden 5.000-400.000 yıl öncesi yaşı alınabilmektedir. Karbonat çökeltmesi sırasında uranyumda birlikte çökeltmekte, ancak Toryum kalsitle birlikte çökelebilmektedir. Çökeltin yaşı <sup>230</sup>Th-<sup>234</sup>U tipiyle belirlenir. Bu yöntemle yaşlandırma dikkatle seçilen yoğun, geçirimsiz, kaba kristalli travertenlerde daha güvenilir olmakta ve diğer jeokimyasal testlerle birlikte daha iyi sonuç vermektedir (Schwarz vd. 1979).

Nicod (1981), Pazdur vd. (1988a,b), Goudie vd. (1993), Taylor vd. (1994) tufalardaki iklim değişikliklerine dikkat çekmişlerdir. Ilıman bölgelerde tufa çökeltiminin buzul/buzularası istiflerinin, Holosen iklim aralığında gelişimin yoğun olduğu buzularası çağların daha sıcak ve

yağışlı evreleri ile uyuşmaktadır. Ilıman bölgelerin tersine yarı tropik ve yarı kurak bölgelerdeki tufa gelişimi en yüksek değerleri yağışlı ve serin dönemlerle uyuşmaktadır. Sıcaklık değişimlerinin biyolojik ve fiziko-kimyasal etkinliği denetlediği ve tufalardan çökelen  $\text{CaCO}_3$  ün erişilme hızını denetleyen sıcaklık değişimlerinden kaynaklanan karstik çözünme olduğu düşünülmüştür. Griffiths ve Pedley'e (1995) göre atmosferik  $\text{CO}_2$  kısmi basıncının hava ile su ara düzeyindeki durumun belirgin olduğu göl ve baraj sistemlerindeki tufa çökeliği üzerinde denetleyici rolü olmaktadır. Andrews vd. (1993), İngiltere'deki tufalardaki  $^{18}\text{O}$  ve  $^{16}\text{O}$  analizleriyle tufa çökmesinde iklimin etkisi olduğunu, buna karşın Chafetz vd. (1994) bu analizlerin tufalarda diyajenetik bozunma varsa ya da termal traverten sistemler içindeyse tekniğin uygulanamayacağını belirtmiştir.

Paleoortam çalışmalarında en büyük hedef çökeltelerin yaşlarını saptamaktır. Bunun için tufalarla aratabakalı olan turba ya da sapropel kullanılarak  $^{14}\text{C}$  ile radyometrik yaşlar saptanabilir (Taylor vd., 1994). Bu, ağır su etkisinin olmadığını, eğer varsa  $^{14}\text{C}$  değerleri çelişkili olmaktadır. Bu yüzden çoğu Holosen tufalarında Pleistosen yaşı saptanmıştır. Bunun nedeni ilksel boşluklar ikincil çimentoyla doldurulmuş olup bu, farklı yaş vermiştir. Çökelti içindeki farklı alanlarda değişik yaşlar saptanmıştır. Fiziko-kimyasal çimentonun uzaklaştırıldığı Holosen tufalarda radyokarbon yaşı sıhhatlidir (Taylor vd. 1994). Holosen öncesi travertenlerde U-Th yaşları alınmış olup, Hennig vd. (1983) arkeolojik alanlardan ve 660 mağara çökeliğinden 140 yaşlandırma yapmıştır. Bu U-Th yöntemi yumuşakçalara uygulanırsa amino-asit yaşlandırma yöntemleri tufalarda önemli olabilir (Benson ve Hare, 1975; Sykes, 1991). Altunel'e (1996a, b) göre Pamukkale travertenlerine uygulanan Uranyum serisi yaş yöntemi, travertenlerin 40000 yıldan bu yana değişik lokasyonlarda çökmeye devam ettiklerini ortaya koymuştur.

### **Çatlaklarda Oluşan Tabakalı Travertenlerin Yaşlandırma ve Neotektonik Açından Önemleri**

Altunel (1996a, b), sırt tipi travertenler, oluştukları çatlağın gelişimiyle ilgili olduğunu, bantlı yapıdaki travertenlerde traverten kalınlığının derinliğe bağlı olarak arttığını ve kalınlık artışının merkezdeki çatlağın tektonik gelişimiyle ilişkili olduğunu, derinliğe bağlı kalınlık artışının ise çatlağın orantılı olarak genişlemesine bağlı olduğunu belirtmiştir. Basamaklı artış ise çatlağın kademeli açılmasına bağlı olmaktadır. Düşey konumlu traverten bantları içinde yatay konumlu, laminalı çökeller traverten bandı ile eş yaşlı olmayıp, sonraki kırılma ve oluşan boşluğa ya da erime boşluklarında çökeller depolanması şeklinde olmaktadır. Bazen de dik konumlu traverten bandı içinde, yine dik konumlu traverten bandına ait çakıllar görülebilir. Bunlar çatlağın ani açılması, açılma sırasında dik konumlu tabakaların parçalanması, çatlak içine düşmeleri ve orada çökmeleriyle oluşmaktadır. Çatlak tipi travertenlerde çatlağa paralel konumlu tabakalar çatlak duvarından merkeze doğru gelişirler. Traverten bantlarının dıştan içe doğru yapılacak yaşlandırma değerleri arasındaki farklar, traverten oluşumu sırasındaki açılma oranını verir. Altunel'e (1996a, b) göre yaşlı travertenlerde oluşum durduktan sonra toplam açıklık miktarının çatlak merkezinden alınan yaşa oranı traverten çökmesi durduktan sonraki açılma oranını vermektedir. Pamukkale bölgesindeki açılma çatlakları ortalama 0.02 ile 0.1 mm/yıl oranında doğrultuya dik konumda açılırken, yaklaşık 20 mm/yıl oranında da doğrultu boyunca açılmaktadır. Pamukkale bölgesi 200.000 yıldan bu yana KD-GB yönünde 0.23 ile 0.6 mm/yıl hızıyla açılmaktadır (Altunel, 1996a, b). Altunel (1996a, b) Akköy'deki (Denizli) KB-GD yönlü çatlaktaki yaşlandırma çalışmasında; çatlak sırt merkezine yakın örneğin yaşını 34.900-+4000 yıl, sırtın KB ucundaki örneğin 24.000-+700 yıl ve sırtın GB ucuna yakın örneğin 32.900-+1100 yıl olarak saptamıştır. Yaş verilerine göre travertenin merkezden uçlara doğru gençleştiği sonucu çıkmaktadır. Çatlak yaklaşık 20 mm/yıl açılmaktadır. Bantlı travertenlerde kalınlığın yüzeyden derinliğe doğru artması, sırt merkezinden uzunlamasına doğru kalınlığının azalması özelliği Altunel (1994) tarafından Mammoth Hot Springs (ABD) travertenlerinde de gözlenmiştir. Bu durum sırt tipi travertenlerin genel özelliği anlamına gelmektedir.

## Türkiye'deki Bazı Tufa ve Traverten Oluşumları

Türkiye tufa ve traverten çökeltileri yönünden Avrupa'da ve Asya'da çok önemli bir konumdadır. Pentecost (1995) Türkiye ve tüm Avrupa'ya ait 300 kadar traverten alanı tanımlamıştır. Ülkemizde traverten oluşumları genellikle açılma çatlaklarının egemen olduğu İç Anadolu ve Batı Anadolu bölgelerimizde yaygındır. Anadolu levhası ile Afrika levhasının çarpışma kuşağı üzerinde yer alan, D-B, GB-KD yönlü birçok kırıklara ve bindirme yapılarına bağlı olarak ve yaygın karbonat kayaçların karstik süreçlerle erimesiyle, genellikle Toros Dağlarının güneye bakan alanlarında önemli traverten alanları gelişmiştir.

Dünya Jeolojik Mirasına giren Denizli Pamukkale travertenini üzerine pek çok çalışma yapılmıştır. Pamukkale travertenini Ege graben sisteminde D-B yönlü faylar boyunca geliştirmiştir. Batı Anadoludaki traverten örneklerinden yalnızca Pamukkale örneği ve Denizli havzasındakiler ayrıntılı incelenmiştir. Pamukkale travertenini üzerinde suyun hidrolojisi, jeotermal potansiyeli, kirlilik ve koruma amaçlı olarak Koçak (1971), Canik (1978), Eşder ve Yılmaz (1991), Ekmekçi vd. (1995a, b) tarafından inceleme yapılmıştır. Altunel ve Hancock (1993a, 1993b), Altunel (1996a, b), Pentecost vd. (1997), Demirkıran ve Çalapkulu (2001), Özpinar vd. (2001), Özkul vd. (2002) tarafından ise travertenin stratigrafisi, morfolojik özellikleri, yaşlandırma, tektonikle ve depremsellikle ilişkisi, kimyasal bileşimi, petrografik ve depolanma ortamları konusunda çalışmalar yapılmıştır.

Ekmekçi vd. (1995) Pamukkale sıcak sularının traverten çökeltme özelliklerini CO<sub>2</sub> kaybı çökeltme kinetiği ilişkileri açısından incelemiştir. "Pamukkale alanındaki sıcak sular kaynaktan başlayarak kalsite doymun halde bulunmaktadır. Suyun bu özelliğine karşın traverten çökeli kaynaktan ve kaynağa çok yakın alanlarda gözlenememekte veya ihmal edilebilecek düzeylerde gerçekleşmektedir. Kaynaktan ve kaynağa yakın alanlarda kinetik olarak engellenen traverten çökelinin ancak kalsite olan doymunluğunun kaynaktaki değerinin 3-4 kat daha yüksek olduğu kesimlerde başladığı; 5-7 kat daha yüksek olduğu kesimlerde de en büyük değerine ulaştığı belirlenmiştir. Traverten teraslarının bulunduğu kesimlerde, teraslardaki türbilans olayı nedeniyle CO<sub>2</sub> kaybının ani olarak artması sonucunda bu noktalarda kinetik engellenme yenilmekte ve kalsit çökeli hızlanmaktadır. Öte yandan, terasların gerisinde suyun toplandığı havuzlarda bulunan katı tanecikler, burada kalsit çökeli için birer çekirdek oluşturmaktadır. Bu nedenle havuzların da kalsit çökeli açısından uygun ortamlar oluşturdukları belirlenmiştir.

Altunel (1996) tarafından Denizli havzasının kuzey kenarında yer alan Pamukkale travertenleri morfolojik özelliklerine göre beş kategoride sınıflandırılmıştır. Bunlar: 1-Teras tipi travertenler, 2-Sırt tipi travertenler, 3-Fay önü travertenleri, 4-Kendiliğinden oluşan kanal travertenleri ve 5-Aşınmış örtü travertenleridir. Bu beş kategoriden fay önü travertenleri, kendiliğinden oluşan kanal travertenleri ve sırt tipi travertenler; traverten oluşumu sırasına ve sonrasına ait tektonik özellikler içerdiklerinden tektonik açıdan önemlidirler.

Pentecost vd., (1997) tarafından Pamukkale traverteninin oluşumunda mikroorganizmaların etkisi araştırılmış olup, travertenlerin oluşumunda alglerden Cyanobakteriler, Cholorophsialar ve diyatomların etkili olduğu belirlenmiştir.

Özkul vd., (2002) tarafından da Denizli havzasındaki travertenlerin petrografik özellikleri ve çökeltme ortamları tanımlanmıştır (Şekil 71). Denizli havzasındaki Kuvaterner-güncel traverten oluşumlarında saha ve mikroskobik özelliklerine göre 9 litofasiyes tanımlanmıştır. Bunlar: 1-Kristalin kabuk, 2-Çalı, 3-Pizolit, 4-Sal, 5- Zarflı hava kabarcıkları, 6-Kamış, 7-Litoklast, 8- Çakıllı traverten, 9- Eski toprak oluşumlarıdır. Ayırtlanan litofasiyesler çeşitli birliktelikler halinde yamaç, çöküntü, tümsek, sırt ve kanal çökeltme ortamlarında çökelmişlerdir. Ayrıca bu ana çökeltme ortamları kendi içlerinde alt ortamlara ayrılmıştır. Bazı traverten örneklerinden yapılan izotop analizlerine göre <sup>13</sup>C izotop değerleri 0.35 ile 6.7 binde arasında; <sup>16</sup>O değerleri ise -6.47 ile -15.1 binde arasında geniş bir dağılım sunmakta olup, litofasiyeslerin yapılarına ve ortamlarına göre izotopik anlamda bir gruplaşma ortaya çıkmaktadır.

Çakır (1999) Batı Anadolu'da aktif normal faylar Kuvaterner yaşlı travertenlerin oluşmasında etkili olmuştur. Travertenlerin oluşumları fay segmentlerinin uç kısımlarında veya onların aralarındaki gerilmeli sıçrama zonlarında bulunmaktadır. Travertenlerin bu tür alanlarda depolanmasının sebebi kompleks genişlemeli deformasyonların var olduğu bu bölgedeki çatlakların büyük olasılıkla birbirine bağlı olmasıdır. Buradan aktif fay segmentlerinin uç kısımlarının belirlenmesinde Kuvaterner yaşlı travertenlerin araştırılmasının yararlı olabileceği sonucu çıkmaktadır. Segment uçlarında ve segmentler arasındaki sıçrama zonlarında açılma çatlaklarının uzun eksenlerinin konumları yerel gerilme rejiminin etkisi altındadır. Dolayısıyla bölgesel gerilme alanını belirlemeye yönelik çalışmalarda bu bölgelerdeki çatlaklardan yararlanırken dikkatli olmak gerekir. Grabenlerin kuzey sınırını teşkil eden ana faylar muhtemelen karbonatça zengin yer altı sularının yer yüzüne çıkmasında derin kanal görevi görmektedir. Ancak yeryüzüne yaklaştıkça sular genellikle, tavan bloku deformasyonu veya fay ucu deformasyonu olarak gelişen açılma ve diğer çatlak sistemleri boyunca yüzeye ulaşmaktadır”.

İç Anadolu bölgesindeki iki traverten-tufa depositleri petrografik ve depolanma mekanizmaları açısından incelenmiştir. Bunlardan birisi Sivas'ın batısında bulunan Sıcakçermik travertenini, diğeri ise Kırşehir travertenidir.

Sıcakçermik traverten çökelinin petrografik özellikleri (Tekin ve Ayyıldız, 2001) tarafından incelenmiştir: “Sıcakçermik kaplıcası çevresinde tipik olarak güncel traverten çökelleri gözlenmektedir. Bu seviyeler çatlak sırtı organik birikim ve inorganik süreçlerin denetiminde gelişen kabuksu veya alabatr yapılı tatlı su karbonat çökelleridir (Mikro şelale çağlayan çökelleri, mikro taraça teras kümeleri ve minyatür göl yelpazeleri). Bu morfolojilerin arazi görünüşleri ise eğrelti otu benzeri manganlı demirli bodur yapılar, silisli stromatolitler ve 3-12 mm çaplı demirli pizoidler şeklindedir. Güncel traverten örneklerinin tamamı yarı özşekilli prizmatik tabular kristallerinden oluştuğu saptanmıştır. Taramalı Elektron Mikroskopu (SEM) çalışmaları ile pisoidleri oluşturan kalsit kristallerinin kademeli büyüme özelliği gösterdikleri belirlenmiştir. Stromatolitik oluşumlarda ise ani soğuma ürünü olan düzenli çatlaklar ve bakteriyal aktivite işaretçisi olan bazı özel yapılar (yumrular, kürecikler, elipsoidler, çubuklar, filamentler ve bal peteği/üzüm salkımı demetleri vb.) da saptanmıştır. Bunlara ilaveten, ikincil erime boşlukları ve CO<sup>2</sup> gaz çıkışı delikleri de aynı örneklerde gözlenmiştir. (Değişik tipteki traverten örneklerinde yapılan duraylı izotop çalışmaları sonucunda <sup>13</sup>C 6.95 ile 8.09 binde arasında ve <sup>18</sup>O -15.73 ile -16.76 binde değerleri elde edilmiştir. Elde edilen bu veriler travertenlerin oluşumunda mikrobiyolojik aktivitenin yoğun olarak etkili olduğunu göstermektedir. Bu oluşumları yapan mikro canlıların ise literatürde belirtilen; Coccoid bakterileri, *Pedomicrobium* sp. türü delici uygulayıcı tomurcuk bakterileri, *Beggatoa* sp. ve *Thiobacillus* sp. gibi sülfür oksitleyici renkli bakteriler ve mavi-yeşil algler (Cyanobakteriler) olduğu düşünülmektedir. Diğer yandan ölçülen duraylı izotop sonuçları da sıcak su kaynağının meteorik kökenli olduğunu ve tortul çökmesinin de birkaç on yıl içerisinde geliştiğine işaret etmektedir.”

Sivas batısındaki traverten oluşumlarının jeolojisi, yapı ve kaplama taşı olarak kullanılabilirliklerinin incelenmesi Ayaz ve Karacan (2000) tarafından yapılmış ve çalışmada söz konusu traverten yataklarının; blok verme, renk ve desen, levhalar şeklinde kesilebilme, parlayabilme, mohs sertliği, suda dağılma dayanımı, Schmit sertliği, saydamlık, birim hacim kütlesi, özgül kütle, doluluk oranı, kütlece ve hacimce su emme, gözeneklilik, aşınma, tek eksenli basınç dayanımı, donma sonu tek eksenli basınç dayanımı, eğilme dayanımı, darbe dayanımı, dona karşı dayanım, don kaybı, açık hava tesirlerine dayanım, paslanma ve asitlere karşı dayanım gibi endüstriyel özellikleri ortaya konulmuştur. İnceleme sonucunda yöredeki travertenlerin özellikle yüzey kaplama taşı olarak kullanılabilir iyi kalitede travertenler olduklarını belirtmiştir

Kırşehir travertenini ise oluşumu, mikroskobik özellikleri ve diyajenezi bakımından Atabey (2002a) tarafından incelenmiştir.



Kırşehir merkezi Kuşdili ve Kayabaşında kuzeydoğu-güneybatı yönlü açılma çatlakları boyunca sırt tipi traverten ve tufa çökelleri yer alır. Traverten ve tufa sırtı yaklaşık 800 m uzunluğunda, 10-30 m genişliğindedir. Çatlaktan çıkan kalsiyum bikarbonat ve minerallerce doygun sıcak yeraltı suyu, çatlak duvarlarında ve her iki yanında sarı, turuncu, kahverengi, krem renkli traverten çökelmiştir. Çatlak duvarlarında çatlaklara paralel sık dokulu ve sert, laminalı ve ince tabakalı traverten kabukları çökelmiştir. Sırtın her iki yanında ise yamaç eğimine uygun tabakalı kabuklar, boşluklu, süngerimsi tufa özellikli çökeltme gerçekleşmiştir. Sıcak su kökenli bu traverten ve tufa çökelleri içerisinde yaygın olarak çalı benzeri milimetre ve santimetre boyutunda mikroskopik yapılar bulunur. Bunlar, 1-Dendritik yapılar ile 2-Kristal demetleridir. Dendritik yapılar mikritik agregatlı, çalı kümesi, kamyş demeti, ufak dal şekillidirler. Dallar arası kalsit kristallidir. Kristal demetleri ise bıçak şekilli, kaba kristalli, lifsi ışınsal kristal yapılarıyla karakterizedir. Dendritik yapılar yaygın olarak çatlakların her iki yamacındaki laminalı kabuklarda ve mikroteras havuzlarında gelişmiştir. Kristal demetleri ise kimyasal çökeltme ile gelişmiş olup, çatlak duvarlarına paralel laminalı kabuklarda bulunur. Lifsi kristallerin c-eksenleri boyunca prizmatik kristaller ve onlarında üzerinde super kristaller gelişmiştir.

Toros dağları kesiminde yer alan en önemli traverten kaynağı Antalya tufasıdır. Antalya tufası daha önceki çalışmalarda traverten olarak tanımlanmıştır. İnan (1985) tarafından bu travertenlerin özellikleri ve oluşumu irdelenmiştir. Pliyosen-Kuvaterner yaşlı travertenlerin, Antalya Ovasında 630 km<sup>2</sup> lik bir alan kapladığı belirtilmiştir. Kalsiyum karbonat bileşimindeki travertenlerin, karasal ortamda ikincil çökeltimin ürünü olduğu, oluşumunu günümüzde de sürdüren travertenlerin ortam koşullarına göre dört farklı tip gösterdiği, travertenlerin gözeneklilik, su emme ve geçirgenliğinin fazla olduğu ifade edilmiştir. Traverten olarak özellikleri verilen karbonat kayası tufa özellikleri göstermektedir. Dolayısıyla Antalya tufası olarak ifade edilmelidir. Masif ve bitki dokulu traverten tipleri taşıyıcı olmayan yapı malzemesi olarak ve toz kireç eldesinde kullanılabilir.

Mut'un (İçel) kuzeydoğusunda bulunan Pliyosen-Kuvaterner yaşındaki traverten içinde oolit ve pizolit oluşumlarının varlığı Atabey (2002b) tarafından belirtilmiştir. Mut'un 10 km kuzeydoğusunda Hacıahmetli köyünde traverten-tufa çökelleri vardır. Bunlar içinde ooid ve pizoid oluşumları yer alır. Oolit taneleri 2 mm den küçük, pizolit taneleri ise 2 mm ile 1 cm arası boyutlardadır. Bunlar yuvarlak ve elips şekillidir. Her bir oolit ve pizolit tanesi; merkezinde kırıntılı ya da karbonat kum tanesi kökenli bir çekirdek ve bu çekirdeği saran laminalı konsantrik halkalardan oluşmuştur. Bu oluşumlar traverten içi kovuk ve boşlukların tavanından damlayan suların tabanda gelişen çarpma havuzcuğu içinde taneleri karıştırmasıyla oluşmuştur.

Cihanbeyli güneyindeki Boluk gölü çevresinde gelişmiş olan traverten konileri Erol (1967-1968) tarafından incelenmiştir. Cihanbeyli 10 km güneyinde, Boluk gölünün kuzeydoğu ucunda Ilıcıpınar yayla çevresinde bir vadi tabanı düzlüğü üzerinde serpilmiş halde irili ufaklı birçok traverten tepesi bulunmaktadır. Bunların bir kısmı gölün içinde adacıklar halindedir. Erol (1967-1968) tarafından traverten olarak bahsedilen bu oluşumlar gölün kıyı zonunda oluşan tufa oluşumları olmalıdır.

Bu lokalitelerden başka, ülkemizde tufa oluşumlarıyla birlikte, sırt tipi, teras tipi, şelale tipi travertenler, damlataşlar yaygın bir şekilde bulunmaktadır. Konya (Cihanbeyli'de), Antalya, Van, Denizli, Adana, Mersin, Kayseri'de tufa oluşumları, Denizli, Sivas, Konya, Eskişehir, Kayseri ve Erzurum gibi bir çok yörede sırt ve şelale tipi travertenler bulunmaktadır. Pamukkale'deki tufa ve traverten oluşumları turizm açısından büyük önem taşımakta, beyaz renkleri, nispeten düşük gözenekliliği ve değişik morfolojileriyle estetik görünümler sunmaktadırlar. Kırşehir merkez, Karahayit (Denizli) ve Uyuz Çermik (Sivas), Karabük yörelerindeki farklı mineral içerikli yeraltı suları tarafından oluşturulan teras tipli çok renkli olan traverten oluşumları mevcuttur. Özüpek ve Çevik (1964), İnan (1985), Avşar (1989), Altunel ve Hancock (1993a, b), Bayarı ve Kurttaş (1997), Altuğ (1997), Acarlar (1991), Çakır (1991), Ayaz ve Gökçe (1998) çalışmalarında Ceyhan, Kadirli, Yerköprü, Mersin, Edremit, Çaldıran, Aşağı Süphan, Sıcak Çermik, Sarıkaya, Uyuz Çermik, Soğuk Çermik, Konya Cihanbeyli,

Seydişehir, Eskişehir, Sızır ve Hınıs gibi yörelerdeki tabaka tipi travertenlerden bahsetmektedirler. Ancak buralardaki oluşumların büyük kısmı tufa çökeldir. Bunlar genellikle sarı, bej, beyazımsı, açık kahverenklerdedir. Bol gözenekli, kabuksu yapıları ve belirsiz tabakalanmışlardır. Karabük’de önemli traverten alanları bulunmaktadır.

### **Tufa ve Travertenlerin Bazı Mühendislik Sorunları**

Özellikle tufalar löslü çökeller, akarsu taşkın düzlüğü çökelleri, moloz akıntısı, ayrılmış zeminler, zayıf çimentolu karbonatlı zeminler gibi çökebilir zeminlerdendir (Dipova ve Doyuran, 2003). Örnek olarak Antalya yerleşim alanı tufa üzerine kurulmuş olup, çökebilir zemin üzerinde bulunmakta, dolayısıyla zeminde ve bina temellerinde çökmeler olabilmektedir. Çökmeler tufa çökelinin bileşiminden, fiziksel özelliklerinden ve mekanik davranışından kaynaklanmaktadır. Antalya tufasının gözenekli, henüz pekişmemiş, taşlaşmamış kısımları bulunmaktadır. Tufa çökeli algler ve bakterilerin fotosenteziyle sudaki CO<sub>2</sub> basıncının düşmesiyle karbonat halinde oluşmaktadır. Oluşan tufa tatlısu-vadoz diyajenezine maruz kalmakta, çimentolanma, taşlaşma geçirmektedir. Yüzeğe yakın alanlar zayıf çimentolu, mikrospar ve aragonit kristallerinden oluşmaktadır. Gözeneklilik oranı oldukça yüksektir. Çökme işlemi henüz taşlaşmamış, organik bileşimli çökelin ıslanmasıyla zayıf olan bağlarının kopmasıyla olmaktadır. Yeraltı suyu kirlenmesi, asit etkinliği ve karstik olaylar çökmeyi hızlandıran unsurlardır.

### **Tufa ve Travertenlerin Endüstriyel Özellikleri**

Türkiye’nin değişik yerlerinde tufa ve traverten bulunmakta olup, bunlar yapı malzemesi, süs eşyası, mermer, çimento hammaddesi ve kireç imalinde kullanılmaktadır. Travertenlerin petrografik ve mineralojik özellikleri incelenmelidir. Petrografik özellikler kaplama taşı, yapıtaşı ve süs eşyası yapımında önemli olmaktadır. Petrografik incelemeler ocak yeri seçimi, blok verimliliği, levhalar şeklinde dilimlenebilme, cilalanıp parlayabilme, dayanım ve kullanım yeri seçimi yönünden çok önemlidir. Tufa ve travertenlerin kimyasal bileşimleri onların endüstriyel hammadde olma kriterlerini vermektedir. Travertenlerin kimyasal bileşimleri genel olarak % 44.57- 55.12 CaO, % 0.16-9.30 SiO<sub>2</sub>, % 0.26-3.36 ΣFe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, % 0.48-1.62 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> ve % 0.31-1.45 MgO şeklindedir

Ayaz ve Gökçe’ye (1998) göre Sivas yöresinde bulunan travertenlerin CaO içerikleri, Antalya, Denizli ve Eskişehir yörelerinde bulunan travertenlere göre daha düşük, buna karşılık SiO<sub>2</sub> içerikleri ise çok yüksektir. Aynı fiziko-kimyasal özelliklerdeki yeraltı sularından oluşan travertenlerin farklı kimyasal bileşimler sergilemesi, çözünme bölgelerinin farklı jeolojik yapılar göstermesinden kaynaklanmaktadır. Travertenlerin genel kimyasal bileşimleri, çimento yapımı ve kireç imali için uygun özelliklerdedir.

Travertenler kaplama taşı, yapıtaşı, süs eşyası yapımı, çimento hammaddesi olma ve kireç imalinden başka yol sergi malzemesi, bahçe süslemesi olarak ta kullanılmaktadır. Travertenlerin kaplama taşı, yapıtaşı, süs eşyası yapımında kullanılabilmesi için belirli standartlarda olmaları gerekir. Bu alanlarda kullanılacak olan travertenler üzerinde; TS 699 (TSE, 1987), TS 6809 (TSE, 1989), ISRM (1978, 1981) ve MTA (1966) gibi çalışmalarda önerilen testler uygulanmalı ve elde edilecek sonuçlar, TS 1910 (TSE, 1977 a) ve TS 2513 (TSE, 1977 b)’de belirtilen kullanım şartları dahilinde yorumlanmalıdır. 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 basınç dayanımı, don sonu tek eksenli basınç dayanımı, eğilme dayanımı, darbe dayanımı, dona karşı dayanım, dayanım anizotropisi, kimyasal bileşim, açık hava tesirlerine dayanım, asitlere karşı dayanım ve paslanma gibi özellikleri belirlenmelidir. Bu alanda yapılan tüm çalışmalar, travertenlerin özellikle gözeneklilik özelliğinin belirleyici rol üstlendiğini göstermiştir. Gözenek miktarı

ve boyutlarının küçülmesi, başta dayanım olmak üzere hemen hemen tüm özelliklerin pozitif yönde sonuçlar vermesine neden olmaktadır.

Travertenlerin bazı endüstriyel özelliklerinin kullanım standartları TS 1910 ve TS 2513'de belirtilmiş olup, buna göre birim hacim ağırlığı en az  $2.30 \text{ g/cm}^3$ , gözeneklilik en fazla % 12, atmosfer basıncında ağırlıkça su emme yeteneği en fazla % 7.5, dona karşı dayanım en fazla % 5, tek eksenli basınç dayanımı en az  $350 \text{ kgf/cm}^2$ , eğilme dayanımı en az  $30 \text{ kgf/cm}^2$ , darbe dayanımı en az  $6 \text{ kg.cm/cm}^3$  ( $\text{kgf/cm}^2$ ) ve sürtünmeden dolayı hacimce aşınma kaybı ise en fazla  $15 \text{ cm}^3/50 \text{ cm}^2$  olmalıdır (TSE, 1977 a; TSE, 1977 b).

Uyuz Çermik (Sivas) sahasındaki travertenler, az ve çok küçük gözenekli albatr yapılı, diğerleri ise bol ve orta-iri gözenekli kabuksu yapılı travertenleri temsil etmektedir (Ayaz, 1998). Buna göre, yüzey kaplama taşı olarak kullanılan kabuksu travertenlerin; birim hacim kütleleri  $2.34\text{-}2.56 \text{ gr/cm}^3$ , özgül kütleleri  $2.58\text{-}2.72 \text{ gr/cm}^3$ , hacimce su emme oranları % 3.60-4.35, doluluk oranları % 87.8-95.20, gözeneklilikleri % 4.80-12.2, sertlikleri 2.9-4 mohs, hacimce aşınma kayıpları  $6.97\text{-}11.61 \text{ cm}^3/50 \text{ cm}^2$ , tek eksenli basınç dayanımları  $422\text{-}470 \text{ kgf/cm}^2$ , eğilme dayanımları  $32.0\text{-}33.5 \text{ kgf/cm}^2$  ve darbe dayanımları ise  $6.4\text{-}7.6 \text{ kgf.cm/cm}^3$  aralıklarında değişmektedir.

Ayaz'a (1998) göre söz konusu travertenler, genel kimyasal bileşim ve petrografik özellikleri itibariyle çimento yapımı ve kireç imali için uygundur. Kireçtaşlarına göre daha yumuşak ve gevşek dokulu olduklarından öğütülmeleri kolaydır.

Travertenlerde jeokimyasal özelliklerin ortaya konulması için Sr, Si, Al, Fe, Mg, Na, Ti, K, Mn, P, Pb, Zn, Cu analizleri gerekmektedir. Damar tipi travertenlerden alınan örneklerde daha çok stronsiyum, göl ile ilişkili traverten ve tufalarda Al, K, Ti, Fe zenginleşmesi, buna karşın sırt ve damar tipi traverten örneklerinde ise Pb, Sb baskın bulunmaktadır.

Tufa ve travertenler çimento hammaddesi olarak kullanılmaktadır. Çimento başlıca Ca, Si, Al ve Fe 'li bileşiklerin sinterleşme sıcaklığına kadar pişirilmesiyle elde edilen yarı mamul madde olan klinkere % 3-5 oranında jips karıştırılıp, çok ince öğütülmesiyle elde edilen hidrolik bir bağlayıcıdır. Çimentonun ana hammaddesi kireçtaşı, marn, kil ve jipstir. Kireçtaşının öğütülmesi oldukça masraflı olduğundan daha kırılğan olan tufa ve travertenlerin kullanımı ekonomik olacaktır.

Kireç sanayi için yüksek CaO oranı aranır. % 90-95 oranında CaO içeren veya CaO oranı bu değerlere kadar zenginleştirilebilecek olan travertenler kireç imalinde kullanılırlar (Kırkoğlu, 1990). Tufaların gözenekli oluşu öğütmede kolaylık sağlamakta ve enerji maliyetini düşürmektedir.

## **Doğal Anıt Ve Milli Parklar Kapsamında Tufa Ve Travertenler**

Kırık ve çatlaklara bağlı olarak yeryüzüne çıkan sıcak su kaynakları çevresinde oluşan travertenlerin çevresinde bir çok medeniyet var olmuştur. Bunun nedeni travertenlerin işlenmeye, yontulmaya uygun olmaları ve yapı taşı, köprü, han, gibi çeşitli yapılarda kullanılmış olmalarıdır. Bu özelliklerinden dolayı traverten çevresinde genellikle tarihi yapıları görmekteyiz. Bunların bir çoğu koruma altına alınmıştır. Travertenler kültür ve tabiat varlıklarındandır.

Tarih öncesi ve tarihi devirler boyunca bilim, kültür, din ve güzel sanatlara tanıklık etmişlerdir.

Bunlar jeolojik devirlerde oluşmuş olup, tarih öncesi ve tarihi devirlere aittirler ve seyrak bulunmaları, özellikleri ve doğal güzellikleri bakımından korunması gerekli değerlerdir.

Travertenler tarih öncesinden günümüze kadar gelen çeşitli medeniyetlerin ürünü olup, yaşadıkları devirlerin sosyal, ekonomik, mimari ve benzeri özelliklerini yansıtan kent ve kent kalıntıları, önemli tarihi olayların cereyan ettiği yerlerdedirler ve korunmaları gerekir.

Eşsiz doğa güzelliğinde olması ve oluşumu zor şartlarda gerçekleştiğinden ve bir çok medeniyetlere tanıklık etme özelliğinden dolayı Pamukkale travertenleri (Denizli) doğal sit alanı içerisine alınmış ve UNESCO tarafından jeolojik ve kültürel koruma altına alınmıştır.

## Deđinilen Belgeler ve Yardımcı Kaynaklar

- Acarlar, M., 1991, Van gölü doğu ve kuzeyinin jeolojisi, MTA Rapor No: 9495 (yayınlanmamış).
- Adolphe, J. P. ve Rofes, G., 1973, Les contrretonnements calcaires de la Levriere (Eure), Bull. A. F. E. Q., 2, 79-87.
- Alexandrowicz, S. W. ve Gerlach, T., 1983, Holocene travertine from Moszczenica near Bochnia (Poland). Stud. Geomorphol. Carpatho-Balcanica, 16, 83-97.
- Altuğ, A., 1997, Antalya traverteninde boya deneyleri, DSİ teknik raporu, No: 6 (yayınlanmamış).
- Altunel, E., 1994, Active tectonics and the evolution of Quaternary travertines at Pamukkale, Western Turkey, Unpublished Ph. D. Thesis University of Bristol.
- Altunel, E., ve Hancock, P. L., 1993a, Morphology and structurel setting of Quaternary travertines at Pamukkale, Western Turkey., Geol., J.,28,335-346.
- Altunel, E. ve Hancock, P.L., 1993b, Active fissuring and faulting in Quaternary travertines at Pamukkale, Western Turkey, Z. Geomorphology, Supply, 94, 285-302.
- Altunel, E., 1996a, Pamukkale travertenlerinin moffolojik özellikleri, yaşları ve neotektonik önemleri: MTA Dergisi, 118, 47-64.
- Altunel, E., 1996b, Pamukkale (Hierapolis) de arkeologlar tarafından yanlış yorumlanan jeolojik yapılar: Kendiliğinden oluşan kanal travertenler ve sırt tipi travertenler, Jeoloji Mühendisliği, S.49, 35-40.
- Andrews, J. E., Riding, R. ve Dennis, P. F., 1993, Stable isotopic compositions of recent freshwater cyanobacterial carbonates from the British Isles, local and regional environmental controls, Sedimentology, 40, 303-314.
- Atabey, E., 1997, Karbonat Sedimantolojisi, Jeoloji Mühendisleri Odası Yayını, 45. Ankara
- Atabey, E., 2002a, Çatlak sırt tipi laminal traverten-tufa çökellerinin oluşumu, mikroskopik özellikleri ve diyajenezi, Kırşehir, MTA Derg. 123, 91-97.
- Atabey, E., 2002b, Mut dolayında Pliyosen-Kuvaterner yaşlı travertenlerde gelişen oolit ve pizolit oluşumları, (İçel, Orta Toroslar), MTA Derg., 125, 59-63.
- Atabey, E., Atabey, N., Hakyemez, A., İslamoğlu, Y., Sözeri, Ş., Özçelik, N., Saraç, G., Ünay, E. ve Babayığıt, S., 2000, Mut-Karaman arası Miyosen havzasının litostratigrafisi ve sedimantolojisi, MTA Derg., 122, 53-72.
- Avşar, M., 1989, Çaldıran-Muradiye (Van)-Doğubeyazıt (Ağrı)-İran sınırı arasında kalan alanın genel jeolojisi, MTA Rapor No: 9759 (yayınlanmamış).
- Ayaz, M.E., 1998, Sıcak Çermik (Yıldızeli-Sivas) yöresindeki traverten sahalarının jeolojisi ve travertenlerin endüstriyel özellikleri, Cumhuriyet Üniv. Fen Bil. Ens. Doktora Tezi (yayınlanmamış).
- Ayaz, M.E. ve Gökçe, A., 1998, Sivas kuzeybatısındaki Sıcak Çermik, Sarıkaya ve Uyuz Çermik traverten yataklarının jeolojisi ve oluşumu, Cumhuriyet Üniv. Müh. Fak. Dergisi, Seri A-Yerbilimleri C.15, S.1, s.1-12.
- Ayaz, M.E. ve Karacan, E., 2000, Sivas batısındaki traverten oluşumlarının yapı ve yüzey kaplama taşı olarak kullanılabilirliklerinin incelenmesi, Jeoloji Mühendisliği, C.23-24, S.1, 87-99s.
- Bates, R. L. ve Jackson, J. A., 1980, Glossary of Geology, American Geological Inst. Falls Church, Virginia, 751p.
- Bathurst, R.G.C., 1975, Carbonate sediments and their diagenesis, 2<sup>nd</sup> edition, Amsterdam, Elsevier Pub. Co., 658 p.
- Bayarı, C.S. ve Kurttaş, T., 1997, Algae: An important agent in deposition of kasrtic travertines: Observations on natural-bridge Yerköprü Travertines, Aladađlar, Eastern Taurids, Turkey, Karst Waters and Environmental Impacts, Günay and Johnson (eds), Balkema, Rotterdam, 269-280.
- Benson, J. R. ve Hare, P. E., 1975, 0-Phthaldehyde: fluorogenic detection of primary amines in the picomole range. Comparison of fluorescamine and ninhydrin. Proc. Natl. Acad. Sci. USA., 72, 619-622.
- Brett, T. E. W., 1970, A study of Tufa deposition in the Band-e Amir Lakes of central Afghanistan. In: Afghanistan Exped. Rep. Univ. Bristol, 14pp.
- Buccino, S. G., D'Argenio ve Ferreri, V., 1978, I travertini della Bassa Velle del Tanagro

- (Campania) studio geomorphologico, sedimentologico e geochemico (with English abstract):  
Boll. Coc. It., 97, 617-646.
- Canik, B., 1978, Denizli-Pamukkale sıcak su kaynaklarının sorunları, Jeoloji Mühendisliği, 5, 29-33.
- Casanova, J., 1986, East African rift stromatolites, in: Frostick, I. E. Renaut, R. W., Reid, I., and Tieceleine, J. J., eds., Sedimentation in the African Rifts: geological Soc. Of London Spec. Publ.25, 201-210.
- Chafetz, H. S. ve Meredith, J. C., 1983, Recent travertine pisoliths (Pisoids) from Southeastern Idaho, USA: In: Coated Grains, Ed. By T. M. Peryt, 450-455, Springer-Verlag, Berlin.
- Chafetz, H. S. ve Folk, R. L., 1984, Travertines:depositional morphology and the bacterial constructed constituents, Sed. Petrology, 54, 289-316.
- Chafetz, H. S. ve Guidry, S. A., 1999, Bacterial shrubs, crystal shrubs, and ray-crystal shrubs: bacterial vs. abiotic precipitation: Sedimentary Geol., 126, 57-74.
- Chafetz, H. S., Rush, P. F. ve Utech, N. M., 1991, Microenvironmental controls on mineralogy and habit of CaCO<sub>3</sub> precipitates: an example from an active travertine system, Sedimentology,38, 107-126.
- Chafetz, h. S., Srdoc, D., Horvontincic, N., 1994, Early diagenesis of Plitvica Lakes waterfall and barrier travertine deposits, Geogr. Physique Quaternaire, 48, 247-256.
- Clark, I. D. ve Fontes, J. Ch. 1990, Palaeoclimateic reconstruction in northern Oman based carbonates from hypersaline groundwaters. Quat. Res. 33, 320-336.
- Clark, I. D., Fontes, J. Ch ve Fritz, P., 1992, Stable isotope disequilibria in travertine from high pH waters: laboratory investigations and field observations from Oman. Geochim. Cosmochim. Acta. 56, 2041-2050.
- Çağlar, K.Ö., 1961, Türkiye maden suları ve kaplıcaları, MTA Yay. No: 107, Ankara.
- Çakır, Y., 1991, Van Gölü kuzeyinin (Adilcevaz-Tatvan) jeolojik etüdü, MTA Rapor No: 9760 (yayınlanmamış).
- Çakır, Z., 1999, Along-strike discontinuity of active normal faults and its influence on Quaternary travertine deposition: Examples from western Turkey, Tr. J. Of Earth Sciences, 8, 67-80.
- Çekiçler Mermer, 2000, www.Cekicler.com.tr, Organize Sanayi, Eskişehir.
- Danilans, I. J., 1957, Golotsenovye Presnovodnye Izvestkovye Otlozheniya latvii. Akad. Nauk Latv. SSR. 152pp.
- Demirkıran, Z. ve Çalapkulu, F., 2001, Kaklık-Kocabaş travertenlerinin litolojik, morfolojik özellikleri ve sınıflandırılması, Mersem 2001, Türkiye III. Mermer Sempozyumu Bildiriler Kitabı, 17-31, TMMOB Maden Müh. Odası Afyon İl Temsilciliği.
- Dipova, N. ve Doyuran, V., 2003, Antalya tufası çökebilen zeminlerin oluşumu ve jeoteknik özellikleri, S.D. Ü. Müh. Mim. Fak. 20. Yıl Jeoloji Sempozyumu Bildiri Özleri, 226-227.
- Ekmekçi, M. Günay, G. ve Şimşek, Ş., 1995a, Morphology of rimstone pools, Pamukkale, Western Turkey, Cave Karst Sci., 22, 103-106.
- Ekmekçi, M., Günay, G., Şimşek, Ş., Yeşertener, C., Elkhatip, H. ve Dilsiz,C., 1995b, Pamukkale sıcak suların traverten çökeltme özelliklerinin CO<sub>2</sub> kaybı çökeltme kinematığı ilişkileri açısından irdelenmesi: Yerbilimleri, 17,101-113.
- Erol, O., 1967-1968, Cihanbeyli güneyinde, Boluk Gölü çevresindeki traverten konileri, Türk Coğrafya Dergisi, S. 24-25, 65-98.
- Eşder, T. ve Yılmaz, S., 1991, Pamukkale jeotermal kaynakları ve travertenlerin oluşumu, (Ed. N.Özer) Tıbbi Ekoloji ve Hidroklimatoloji Dergisi, Özel Sayı.
- Eusenstuck, M., 1951, Die kalktuffe und ihre molluskenfauna bei schmeiechen nahe Blaubeuren (Schwabische Alb), N. Jb. Geol. Palaont. Abh., 93, 247-276.
- Evans, J. E., 1999, Reconnection and implications of Eocene tufas and travertines in the Chadron formation, White River Group, Badlands of South Dakota: Sedimentology, 46, 171-789.
- Fodor, T., Scheuer, G. Ve Schweitzer, F., 1982, Comparison of freshwater carbonate rocks of the Transylvanian-Eastern Carpathian basin with those of hungary, Foldt. Kozl.112,241-259.
- Folk, R. L., 1993, SEM imaging of bacteria and nanobacteria in carbonate sediments and rocks, J. Sedim. Petrol., 63, 990-1000.
- Ford, T. D. ve Pedley, H. M., 1992, Tufa deposits of the world, J. Speleol., Soc. Jpn., 17, 46-63.
- Ford, T. D. ve Pedley, H. M., 1996, A review of tufa and travertine deposits of the world, Earth Sci.

- Review, 41, 117-175.
- Ford, T.D. ve Cullingford, C.H.D., 1976, The science of sepeology, Academic press, 320p., London.
- Freytet, P. ve Plet, A., 1991, Les formations stromatolitiques (Tufs Calcaires) recentes de la region Tournus (Saone et Loire), *Geobios*, 24(2), 123-139.
- Geurts, M. A., 1976, Formation des travertins postglaciaires en Belgique. In: T. Vogt (Ed.) Colloque Types Croutes et leur Repartition Regionalis. Univ. Louis Pasteur, Strassbourg pp, 76-79.
- Golubic, S., 1969, Cyclic and noncyclic mechanisms in the formation of travertine : verh. Int. Ver. Theor. Angew. Limnol, 7, 956-961.
- Golubic, S., Violante, C., ferreri, V. ve D'Argania, B., 1993, Algal control and early diagenesis in Quaternary travertine formation (Rocchetta a Volturna, Central Apennines). In: F. Barratolo et al. (Eds.). Studies on Fossil Benthic Algae. Boll. Soc. Palaeontol. Ital. Spec. Publ., 1. Mucchi, Modena. Pp 231-247.
- Guo, L. ve Riding, R., 1992, Aragonite laminae in hot water travertine crusts, Rapolano Terme, Italy: *Sedimentology*, 39, 1067-1079.
- Goudie, A. S., Viles, H. A. ve Pentecost, A., 1993, The Late Holocene tufa decline in Europe. *The Holocene*, 3, 181-186.
- Griffiths, H. ve Pedley, H. M., 1995, Did changes in late last Glacial and Early Holocene atmospheric CO2 control rates of tufa precipitation? *The Holocene*, 5, 283-242.
- Gökçe, A., 1995, Maden yatakları, Cumhuriyet Üniv. Yay. No: 59, 307s.
- Guo, L. ve Riding, R., 1994, Origin and diagenesis of Quaternary travertine shrub fabrics, Rapolano Terme, central Italy: *Sedimentology*, 41, 499-520.
- Guo, L. ve Riding, R., 1998, Hot-spring travertine facies and sequences, Late Pleistocene, Rapolano Terme, Italy: *Sedimentology*, 45, 163-180.
- Guo, L. ve Riding, R., 1999, Rapid facies changes in Holocene fissure ridge hot spring travertines, Rapolano Terme, Italy, *Sedimentology*, 46, 1145-1158.
- Guo, L. Andrews, J., Riding, R., Dennis, P. ve Dresser, Q., 1996, Possible microbial effects on stable carbon isotopes in hot-spring travertines, *J. Sedimentary Research*, 66, 468-473.
- Hamilton, W.R., Woolley, A.R. ve Bishop, A.C., 1980, Minerals, rocks and fossils, Barcelona.
- Heimann, A. ve Sass, E., 1989, Travertines in the north Hula Valley , Israel, *Sedimentology*, 36, 95-108.
- Hennig, G. J., Grun, R. Ve Brunnacker, K., 1983, Speleothems, travertines and paleoclimates, *Quat. Res.* 20, 1-29.
- Holland, H.D. ve Malinin, S.D., 1979, The solubility and occurrence of non-ore minerals, In: H.L. Hubbard, D. A., 1985, Annotated bibliography of the Valley and Ridge travertine marl deposits of Virginia, *Virginia Minerals*, 31, 9-12.
- Irian, G. ve Müller, 1968, Mineralogy, petrology and chemical composition of some calcareous tufa from the Schwabische Alb Germany, in G. Muller and G. M. Friedman, eds. Recent developments in carbonate sedimentology in central Europe, Springer Verlag Pub. 157-171.
- ISRM, 1978, Suggested method for the quantitative description of discontinuities in rock mass; *Geo. 10 Standart of Lab. And Field Test.*, *Int. J. Rock Mec. Min. Sct. Jeomec*, Abs. Tr. V. 15, pp. 319-368.
- ISRM, 1981, Basic geotechnical description of rock masses; International Society of Rock Mechanics Commission on the Classification of Rock and Rock Masses, *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences and Geomechanical Abstract*, 18, 85-110.
- İMMİB, 2003, Mermer kataloğu, İMMİB yayımı, İstanbul.
- İnan, N., 1985, Antalya travertenlerinin oluşumu ve özellikleri, *Jeoloji Mühendisliği*, S. 24, 31-37.
- Jacobson, R. L. ve Usdowski, E., 1975, Geochemical controls on a calcite precipitating spring, *Contrib. Mineral. Petrol.* 51, 65-74.
- Jones, B. ve Renaut, R. W., 1995, Noncrystallographic calcite dendrites from hot-spring "deposits at Lake Bogoria, Kenya: *J. Sed. Research*, A65, 154-169.
- Julia, R., 1983, Travertines. In: P. A. Scholle, D. G. Bebout and C. H. Moore (Editors), *Carbonate Depositional Environments*. Am. Assoc. Petrol. Geol. Mem. 33, 64-72.
- Kemp, S. Ve Emeis, K., 1985, Carbonate chemistry and the formation of the Plitvica Lakes, In: E.

- Degens, S. Kemp and R. Herrera (Eds.): Transport of Carbon and Minerals in Major World Rivers, Part 3. Mitt. Geol. Palaont. Inst. Univ. Hamburg, 58, 351-383.
- Kırıkoğlu, M.S., 1990, Endüstriyel hammaddeler, İ.T.Ü. Yay., Sayı: 1418.
- Klappa, C. F., 1979, Calcified filaments in Quaternary calcrets: Organo-mineral interactions in the subaerial vadose environment, *Sedimentary Petrology*, 49, 955-968.
- Koçak, A., 1976, Denizli-Pamukkale ve Karahayıt kaplıcalarının hidrojeolojik etüdü, MTA Rapor no: 5670 (Yayımlanmamış).
- Krumbein, W.C. ve Garrels, R.M., 1952, Origin and classification of chemical sediments in term of pH and oxidation-reduction potentials, *J.Geol.*, 60, 1-33.
- Logan, B.W., Holfman, P. ve Gebelein, C.D., 1974, Algal mats, cryptalgal fabrics and structures, Hamelin Pool, Western Australia, *AAPG Mem.*, 22, 140-194.
- Manfre, L., Masi, U., ve Turi, B., 1976, La composizione isotopica dei travertini del Lazio *Geol. Romana*, 15, 127-174.
- Marker, M. E., 1973, Tufa formation in the Transvaal, South Africa, *Z. Geomorphology, N. F.*, 17, 460-473.
- MTA, 1966, Türkiye Mermer Envanteri, MTA Yay., No.134, 174 s., Ankara.
- Nicod, J., 1981, Repartition, classification, relation avec les milieux karstiques et karsification. In: *Formations Carbonatees externes: Tufs et Travertins. Actes Coll. Assoc. Geogr. Fr. Pp.* 173-176
- Okay, A. C., 1976, Mineralbilim, İ. Ü. Yayını.
- Ordenez, S. ve Garcia del Cura, M. A., 1983, Recent and Tertiary fluvial carbonates in central Spain. In: J. D. Collinson and J. Lewin (Eds.): *Ancient and Modern fluvial Systems. Int. Assoc. Sediment. Spec. Publ.* 6, 485-497.
- Ordenez, S., Gonzales-Martin, J. A. ve Garcia del Cura, M. A., 1986, Sedimentacion carbonatica actual y paractual en las Lagunas de Ruidera. *Rev. Mat. Proc. Geol. Univ. Complutense, Facultad Cienc. Geol.* 4, 229-255.
- Öktü, G., 1980, Hidrojeoloji, MTA Derlemesi, Ankara.
- Özüpek, S. ve Çevik, L.M., 1964, 1/500 000 ölçekli Türkiye jeoloji haritası, MTA Yayını, Ankara.
- Özkul, M., Varol, B. Ve Alçıçek, M. C., 2002, Denizli travertenlerinin petrografik özellikleri ve depolanma ortamları, *MTA Dergisi*, 125, 13-29.
- Özpınar, Y. M., Heybeli, H., Semiz, B., Baran, H. A. Ve Koçan, B., 2001, Kocabaş ve Denizli travertenlerinin jeolojik, petrografik özellikleri ve oluşumunun incelenmesi, teknik açıdan değerlendirilmesi, *Mersem 2001, Türkiye III. Mermer Sempozyumu Bildiriler Kitabı*, 133-148, TMMOB Maden Müh. Odası Afyon İl Temsilciliği
- Pazdur, A. ve Pazdur, M. F., 1986, 14C dating of calcareous tufa from different environments. *Radiocarbon*, 28, 534-538.
- Pazdur, A., Pazdur, M. F., Szulc, J., 1988a, Radiocarbon dating of Holocene calcareous tufa in Southern Poland, *Radiocarbon*, 30, 133-151.
- Pazdur, A., Pazdur, M. F., Starkel, L. Ve Szulc, J., 1988b, Stable isotopes of Holocene calcareous tufa in Southern Poland as paleoclimatic indicators. *Quat. Res.* 30, 177-189.
- Pedley, H. M., 1980, The occurrence and sedimentology of a Pleistocene travertine in the Fiddien Valley, Malta. *Proc. Geol. Assoc.* 91, 195-202.
- Pedley, H. M., 1990, Classification and environmental models of cool freshwater tufas, *Sedimentary Geol.*, 68, 143-154.
- Pedley, H. M., 1992, Freshwater (phytoherm) reefs: the role of biofilms and their bearing on marine reef cementation. *Sedimentary Geol.*, 79, 255-274.
- Pedley, M., Andrews, J., Ordenez, S., Angela Garcia del Cura, M., Antono Gonzales Martin, J. ve Taylor, D., 1996, Does climate control the morphological fabric of freshwater carbonates? A comparative study of Holocene barrage from Spain and Britain, *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 121, 239-257.
- Pentecost, A., 1990, The formation of travertine shrubs: Mammoth Hot Springs, Wyoming, *Geol. Mag.*, 127, 159-168.
- Pentecost, A., 1993, British travertine a review. *Proc. Geol. Assoc.* 104, 23-39.
- Pentecost, A., 1995, Quaternary travertine deposits of Europe and Asia Minor. *Quat. Sci. Rev.* 14, 1005-1028
- Pentecost, A. ve Lord, T., 1988, Post glacial tufas and travertines from the Craven District of Yorkshire, *Cave Sci.* 15 (1), 15-19.

- Pentecost, A. ve Tortora, P., 1989, Bagni ti Tivoli, Lazio: a modern travertine-deposition site and its associated microorganisms. *Boll. Soc. Geol. Ital.* 108, 315-324.
- Pentecost, A. ve Viles, H., 1994, A review and reassessment of travertine classification. *Geogr. Phys. Quaternaire*, 48, 305-314.
- Pentecost, A., Bayarı, S. ve Yeşertener, C., 1997, Phototropik microorganisms of the Pamukkale travertine, Turkey; their distribution and influence on travertine deposition: *Geomicrobiology Journal*, 14, 264-283.
- Pia, J., 1933, Die rezenten Kalksteine, *Tschernmarks Min. Petr. Mitt. Erg. Bd.*
- Preiss, W.V., 1976, Basic field and laboratory methods for the study of stromatolites, In *Stromatolites*, Walter, M.R. (ed.), 5-13 p., Amsterdam.
- Romana, R., Tedaucchi, A. ve Voltaccio, M., 1987, Uranium series dating of some travertines from the southwestern flank of Mt Etna. *Rend. Soc. Ital. Mineral. Petrol.*, 42, 249-256.
- Salomon, J. N., 1981, Les tufs de la vale L'onilhay et des Sept-Lacs. In: *Formations carbonates externes: tufs et travertins. Actes. Coll. Assoc. Geogr. Fr.* Pp 145-150.
- Schneider, J., 1977, Carbonate construction and decomposition by epilithic and endolithic micro organisms in salt and freshwater. In: E. Flügel (Ed.), *Fossil Algae*, Springer, Berlin, pp. 248-260.
- Schneider, J., Schroder, H. G. Ve Le Campion-Alsumard, T., 1983, Algal micro reefs-coated grains from freshwater environments. In: T. M. Peryt (Ed.). *Coated Grains*, Springer, Berlin, pp. 284-298.
- Smart, P. L., 1991, Uranium series dating. In: P. L. Smart and P. D. Francis (Eds.). *Quaternary dating Methods-a User's Guide. Quat. Res. Assoc. Tech. Guide. 4*, London, pp. 45-83.
- Sobat, A., Brnek-Kostic, A. ve Movcan, J., 1985, Plitvice, Plitvice National Park, Yugoslavia, 94pp.
- Srdoc, D., Obelic, B., Horvatincic, N., Culiberg, M., Sercelj, A. Ve Slipecevic, A., 1985, radiocarbon dating and pollen analysis of two peak bogs in the Plitvica National Park. *Acta Bot. Croatica*, 44, 41-46.
- Srdoc, D., Chafetz, H. S. ve Utech, N., 1989, Radiocarbon dating of travertine deposits, Arbuckle Mountains, Oklahoma, *Radiocarbon*, 31, 619-626.
- Sweeting, M.M., 1973, *Karst landforms*, Columbia University press, Newyork, 172 p.
- Sweeting, M. M., 1995, *Karst in China*. Springer, Berlin. 265 pp.
- Sykes, G., 1991, Amino-acid dating. In: P. L. Smart and P. D. Francis (Ed.). *Quaternary Dating Methods-a User's Guide. Quat. Res. Assoc. Tech. Guide, 4*, London, pp . 161-176.
- Symoens, J. J. Duvigneaud, P. Ve van den Bergen, C., 1951, Apercu sur la vegetation des tuffs calcaires de la Belgique. *Bull. Soc. R. Bot. Belg.* 83, 329-352.
- Szulc, J., 1983, Genesis and classification of travertine deposits. *Przepl. Geol.* 31, 231-236.
- Şahinci, A., 1986, Yeraltı suları jeokimyası, Dokuz Eylül Üniv., Müh.-Mim. Fak. MM/Jeo-86 Ey 99.
- Taylor, D. M., Griffiths, H. I., Pedley, H. M. Ve Prince, I., 1994, Radiocarbon dated Holocene polen and ostracod sequences from barrage tufa dammed fluvial systems in the White Peak, Derbyshire, U. K. *The Holocene*, 4, 356-364.
- Tekin, E., Kayabalı, K., Ayyıldız, T. ve İleri, O., 2000, Evidence of microbiologic activity in modern travertines: Sıcak Çermik Geothermal Field, Central Turkey, *Carbonates and Evaporites*, Volume: 15, Number: 1, 18-27.
- Tekin, E. Ve Ayyıldız, T., 2001, Sıcakçermik jeotermal alanındaki (Sivas KB, Türkiye), güncel traverten çökellerinin petrografik özellikleri, *Türkiye Jeoloji Bülteni*, 44, 1, 1-13.
- TSE, 1977 a, TS 1910 - Kaplama olarak kullanılan doğal taşlar, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- TSE, 1977 b, TS 2513 - Doğal yapı taşları, Türk Standardları Enstitüsü, Ankara.
- TSE, 1987, TS 699 - Tabii yapı taşları-muayene ve deney metodları, Türk Standardları Enstitüsü, Ankara.
- TSE, 1989, TS 6809 - Mohs sertlik cetveline göre sertlik tayini; Türk Standardları Enstitüsü, Ankara.
- Türkiye Maden Suları, 1976, Türkiye maden suları 5. İ.Ü. Tıbbi Ekoloji ve Hidro-Klimatoloji Kürsüsü, İstanbul.
- Türkiye Mermerleri Kataloğu, 1990, İstanbul Maden İhracatçıları Birliği, 19 s.
- Vaudour, J., 1994, Evolution Holocene des travertines de vallee dans le midi Mediterraneeen *Francais. Geogr. Phys. Quat.* 48, 315-326.
- Viles, H., 1988, *Biogeomorphology* Blackwell, Oxford, 365pp.
- Viles, H. A. ve Goudie, A. S., 1990, Tufas, travertines and allied carbonate deposits. *Prog. Phys. Geogr.* 14, 19-41.



- Violante, C., Ferreri, V., D'Argenio, B. ve Golubic, S., 1994, Quaternary travertines at Rocchetta a Volturna (Isernia, Central Italy): Facies analysis and Sedimentary Model of an Organogenic system: In: Field Trip A1 Guidebook for the 15th International Association of Sedimentology Regional Meeting, Ischia, Italy. Pp. 3-23.
- Weijermars, R., Mulder-Blanken, C. W. ve Weigers, J., 1986, Growth rate observation from the moss-built Checa travertine terrace, central Spain: Geol. Mag., 123, 279-286.
- Wilson, J. L., 1975, Carbonate facies in geologic history, Springer-Verlag, Berlin Heidelberg New York, 474p.
- Wolf, K.H., 1965, Gradational sedimentary products of calcareous algae, Sedimentology,5, 1-37.  
www.graybishop.com  
www.Mchenry.edu  
www.wildflowers.cdrom.com
- Yoshimura, K., Urata, K., Kano, A., Inokura, Y. ve Honda, Y., 1996, Tufa in limestone areas in Southwest Japan. J. Speleol. Soc. Jap., 20, 19-26.

**Not:** Tufa ve Travertenlerin genel özellikleri, sınıflaması, oluşum ortamlarıyla ilgili bu bilgiler; TMMOB Jeoloji Mühendisleri Odası Yayını: 75, "Eşref Atabey, 2003, Tufa ve Traverten" kitabından özetlenerek alınmıştır. Geniş bilgi için kitaptan yararlanılabilir.

**NOT: Her hakkı saklıdır. Lütfen kaynak göstermeden alıntı yapmayınız.**

**Yazıların kısmen ve tamamen kaynak göstermeden alıntı yapıldığı tesbit edildiğinde, alıntı yapan hakkında hukuki işlem yapılacaktır.**