

Karasal karbonat çökellerinde mikrobiyal aktivitelerin rolü ve önemi; Virüs mü bakteri mi?

Ezher TAGLIASACCHI¹

Öz

Virüsler, bugünlerde dünyadaki tüm haber kanallarında yer alan, insan yaşamını ciddi şekilde tehlikeye atarak, on binlerce kişinin ölümüne neden olan ve hepimizi sosyal yaşamlarımızdan koparıp, bir anda insanları bildiği normallikten uzaklaştıran, izole eden kötücül bir varlığa dönüşmüştür. Peki virüslerin jeolojik geçmişleri hakkında neler biliyoruz? Fosil kayaçların kayıtlarında virüsler hala korunuyor mu? Eğer öyleyse, bu nasıl mümkün oluyor ve ne kadar geriye gidebiliyoruz? Bu çalışmada, virüs ve bakteri gibi mikrobiyallerin özellikle karasal karbonat oluşumlarındaki etki ve önemlerinden kısaca bahsedilmektedir. Jeolojik kayıtlarda bu virüs benzeri varlıklarının tespit edilmesi, eski yaşam izlerinin araştırılmasında da önemli bir yer tutmaktadır. Ayrıca, bu çalışmada, hidrotermal traverten ve akarsu tufaları gibi karasal karbonat örneklerinden elde edilecek olan virüs benzeri kayıtlarla sadece yaşadığımız dünyanın geçmişine ait değil, aynı zamanda farklı gezegenlerdeki geçmiş yaşam izleri hakkında önemli ipuçların elde edilebileceği net bir şekilde ortaya konmuştur.

1.Giriş

Karasal karbonatlar, en geniş kapsamlı tanımıyla, termal kaynaklar, nehirler, göller ve mağaralarda çökelen karbonat oluşuklarıdır (Fouke vd., 2000). Traverten ve tufa gibi karasal karbonatların paleoortamsal ve paleoklimsel açıdan önemli arşivler olduğu, bu oluşuklar üzerinde son 20 yıldır yapılan ayrıntılı çalışmalarla ortaya konmaya çalışılmaktadır (Pedley, 1990; Andrews vd., 1997; Andrews, 2006; Arenas-Abad vd., 2010; Toker vd., 2015; Toker, 2017; Tagliasacchi ve Kayseri-Özer, 2020). Bunun yanı sıra, günümüzde popüler hale gelmeye başlayan bir diğer önemli çalışma, karasal karbonat çökelleri oluşumunda etkili olan mikrobiyallerin ayrıntılı olarak araştırılmasıdır (Riding, 2000; Ferrari vd., 2002; Arenas vd., 2007; Fouke, 2011; Chafetz, 2013; Della Porta ve Reitner, 2020; Tucker, 2020). Karasal karbonat çökeliminde etkili oldukları bilinen mikrobiyaller, sadece dünya ölçeğinde değil, Mars gibi dünya dışı gezegenlerdeki eski yaşam izlerinin araştırılmasında da oldukça önemli bir role sahip olduğu düşünülmektedir (Onstott vd., 2018; Della Porta ve Reitner, 2020).

Bu çalışmada özellikle hidrotermal kökenli travertenler ve akarsu tufa çökellerinin oluşumunda mikrobiyal aktivitelerin öneminden kısaca bahsedilmiştir. Bunun yanı sıra, virüs ve bakteri oluşumlarına değinilerek karbonat oluşumlarındaki etkileri tartışılmıştır.

2. Hidrotermal Traverten Oluşumları

Terminolojik olarak hidrotermal travertenler, Pentecost (2005) tarafından termojen travertenler olarak tanımlanmış, genellikle bir basınç altında yeraltında çözünmüş yüksek karbondioksit konsantrasyonlarının büyük kütleli kayaları çözerek yüzeye çıkmasıyla meydana gelen bir hidrotermal devre sonucunda oluştuklarını belirtmiştir. Bu hidrotermal sistem içinde çökelen travertenlerin oluşumunda biyotik ve abiyotik faktörler oldukça etkilidir (Fouke, 2011) ve özellikle mikrop ve ortam arasındaki karmaşık ilişkinin hassas kayıtlarını yansıtmaları açısından da oldukça önemlidir (Riding, 2000; Pentecost, 2005; Fouke, 2011). Bu durum, hidrotermal travertenleri, yeryüzünde yaşamış olan eski mikrobiyal fosillerin araştırılmasında önemli bir yere koymaktadır (Pentecost, 2005; Fouke, 2011). Sülfür oksitleyen bakteriler, sülfat azaltıcı bakteriler, anoksijenik fototroflar ve oksijenik dahil olmak üzere geniş bir termofilik Archaea ve Bakteriler spektrumundan oluşan mikrobiyal matlar ile fotosentetik siyanobakteriler, diğer prokaryotlar ve ökaryotik algler, travertenlerin çökeliminde önemli rol oynamaktadırlar (Pedley, 1990; Farmer, 2000; Pentecost, 2005; Fouke, 2011; Capezzuoli vd., 2014; Gandin ve Capezzuoli, 2014; Della Porta ve Reitner, 2020). Günümüzde aktif olarak hidrotermal sistemlerinde yapılan sedimentolojik ve mikrobiyolojik araştırmalar, bu karasal ortamlarda çökelen traverten istiflerinin içerisinde, oldukça önemli paleobiyolojik bilgilerin depolanmış olduklarını göstermiştir (Farmer, 2000; Campbell vd., 2015; Della Porta ve Reitner, 2020). Mikrobiyal biyofilmler ve mikrobiyal matların ılık ve sıcak hidrotermal çıkış ortamlarında incelenmesi ve bunların silisli ve karbonat mineral çökelimleriyle etkileşimi, Dünya'daki erken yaşam formlarının anlaşılması açısından oldukça önemlidir.

3. Akarsu Tufa Çökelleri

Tufa çökelleri, daha gözenekli bir yapıya sahip, gevşek, hayvan ve bitki kalıntılarının yoğun olarak gözlemlendiği travertenlere göre göreceli daha soğuk

¹Pamukkale Üniversitesi Jeoloji Mühendisliği Bölümü, 20070 Kınıklı, Denizli

suların çökelttiği karbonat kayaçlarıdır (Andrews, 2006; Arenas vd., 2007; Pedley, 2009; Capezzuoli vd., 2014; Toker, 2017). Tufa oluşukları, inorganik (CO₂ basıncı, sıcaklık ve pH) ve organik (mavi-yeşil algler) işlemlerin bir sonucu olup, bu iki etmen de tufa çökelleri üzerinde oldukça etkilidir (Golubić vd., 2008; Arenas-Abad vd., 2010; Capezzuoli vd., 2014). Onkoidler ve stromatolitik yapılar, tufalarda mikrobiyal etkilerin gözlemlendiği belirgin litotipler olarak bulunmaktadır (Riding, 2000; Pentecost, 2005; Pedley, 2009). Akarsu tufa çökellerinde yaygın olarak gözlenen bu onkoidal yapılar, mikrobiyal aktivite ile tetiklenen yüzeysel karbonat çökelişimini etkiler ve bu mikrobiyal topluluklar, çökelmiş kristallerin büyümesi için bir bağlayıcı ortam sağlayan ortak bir hücre dışı polimerik maddeler (extracellular polymeric substances-EPS) biyofilmler ile yakından ilişkilidir (Pedley, 2009).

4. Virüs Mü Bakteri Mi?

Virüsler ve bakteriler genellikle birlikte tartışılmaktadır (Tucker, 2020). İkisi de patojendir - yani çok iyi bildiğimiz enfeksiyonlara neden olurlar - ve ikisi de birbirine bağlıdır. Ancak ikisi arasında önemli farklılıklar vardır. Bakteriler tek hücreli, prokaryot organizmalardır (yani çekirdeği olmayan), ancak içinde DNA ve organelleri içeren stoplazmanın bulunduğu bir hücre duvarına, organizmanın işlev görmesini sağlayan yapılara, çevreden enerji üretmesine (fotosentez yoluyla olduğu gibi) ve çoğunlukla ikili bölünme olarak bilinen bir süreçle (iki yavru hücreye bölünerek) eşeysiz olarak çoğalırlar. Virüsler ise canlı ve cansız organizmalar arasında bir yeredir. Genetik bilgi taşıyan nükleik asidin (RNA veya DNA) bulunduğu bir protein kabuğundan (kapsid adı verilen) oluşmaktadır. Virüsler aşırı derecede küçüktür, çoğunlukla 10 ila 300 nm (1000 nm = 1 mikron, µm) çapındadır ve çıplak gözle tamamen görünmezdir. Aslında, sadece bir elektron mikroskobu ile görülebilirler. Bunun yanı sıra bakterilerin bir mikrondan (yani bir mm'nin 1 /

1000'i) birkaç on mikrona kadar değişir. En büyük bakteri 750 µm'ye (3/4 mm) ulaşır ve sadece çıplak gözle görülebilir. Bakteriler üç temel şekilde bulunur: kokoid (küresel-elipsoidal), basil (çubuk şeklinde) ve spiral- filament şekilli. Virüsler ayrıca küresel, çubuk şekilli veya sarmal (spiral) gibi oldukça benzer şekillerde geniş bir yelpazede bulunur (Tucker, 2020).

Depolanma ortamlarına bakıldığında zaman, bakteriler, hemen hemen tüm ortamlarda, okyanuslarda, göllerde, nehirlerde, yüzey-yeraltı karasal yerlerde, sıcak ve soğuk iklimlerde, modern çökeltilerde, her tür kayalardaki çatlaklarda ve yerin derinliklerinde akışkan sıvının geçtiği kayaların kendisinde bulunur (Tucker, 2020). Ayrıca sıcak su kaynaklarında da görülürler. Ancak, bakterilerin olduğu her yerde virüsler de vardır; birçok bakterinin kendine özgü virüsü bulunmaktadır. Virüsler, bakterilere RNA'ları enjekte ederek çoğalmak için ihtiyaç duyarlar ve sonra yeni virüsler, bakteri hücresinde büyümeye devam ederler (Tucker, 2020).

Bakterilerin ve virüslerin bol olduğu belirli bir modern ortam vardır, bu ortam mikrobiyal matlardır (Şekil 1). Mikrobiyal matlar, birçok farklı bakteriden oluşur, ancak özellikle siyanobakteriler (mavi ve yeşil algler), kükürt ve sülfat indirgeyici bakteriler ve Archea'lar katmanlar halinde oluşarak bunların ilişkili bakteriyofajları boyunca gelişirler. Ek olarak, bu bakterilerin çoğu hücre dışı polimerik maddelerden (extracellular polymeric substances -EPS) oluşan bir müsülaj üretirler ve bu da maruz kaldıkları, aşırı ve değişken derecelerdeki sıcaklıkların düşmanca etkisinden korumaktadır. Bakteriler, virüsler, EPS ve diğer mikroorganizmalar (mantarlar, algler ve diatomlar gibi) tortu yüzeyinde genellikle siyah renkli bir biyofilm oluşturur ve mikrobiyal işlevler boyunca (fotosentez ve sülfat indirgeme dahil) biyofilm altında hapsolmuş yıkanmış tortul ve mineraller mikrobiyal matı çimentolayarak çökelirler (Tucker, 2020). Mikrobiyal matlar, stromatolitler olarak adlandırılan ve tufa çökellerinde de yaygın olarak gözlenen fasiyeslerde korunup taşlaşabilirler.

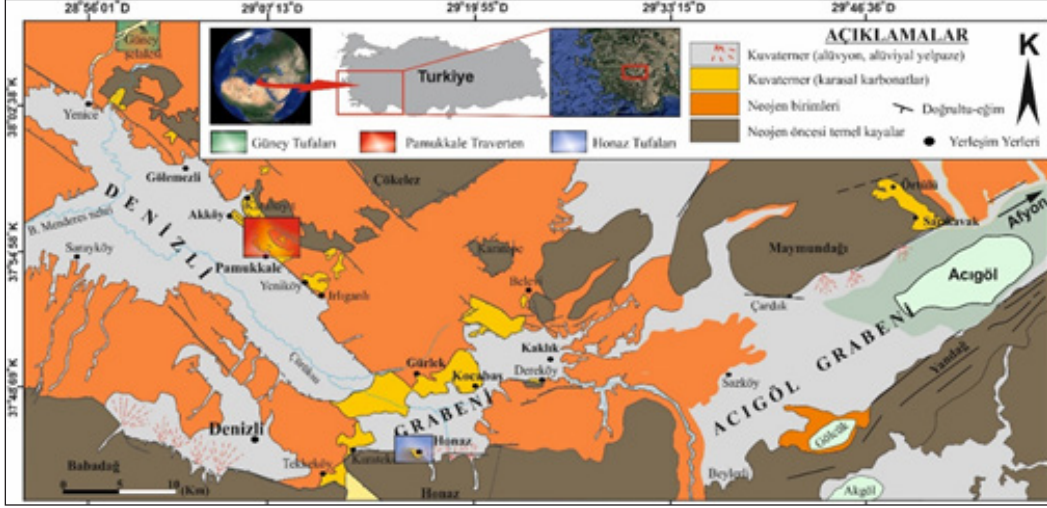


Şekil 1- Mikrobiyal mat karbonat tabakalarındaki mineralize olmuş virüs oluşukları (Pacton vd., 2014'ten alınmıştır).

5. Güncel ve Fossil Mikrobiyal Kayıt İçeren Traverten ve Tufa Lokasyonları; Denizli Örneği

Güneybatı Türkiye’de yer alan belli başlı traverten ve tufa örnekleri içerisinde en dikkate değer olan yer Denizli yöresindeki karasal karbonat oluşuklarıdır (Şekil 2). KB-GD uzanımı Denizli Grabeni

kenarlarında yüzlek veren, aktif tektonizmaya güçlü bir ilişkiye sahip travertenlere Pamukkale ve çevresindeki travertenler örnek olarak verilebilir (Şekil 3). Ayrıca buradaki aktif/güncel traverten havuzcuklarındaki mikrobiyal aktivitelerin varlığı da bu çökellerin oluşumuna önemli katkı sağlamaktadır (Şekil 3). Bunun yanı sıra tufa çökelleri açısından



Şekil 2- Denizli yöresindeki Kuvaterner yaşlı belli başlı karasal karbonat çökelleri (traverten ve tufa) ve mikrobiyal oluşumların gözlemlendiği aktif ve fossil traverten ve tufa örnek yerleri (Honaz, Pamukkale ve Güney lokasyonları) (Sun, 1990; Şenel, 1997; Özkul vd., 2013; Tokar vd., 2015; Tokar, 2017; Tagliasacchi ve Kayseri-Özer, 2020).



Şekil 3- (a) Pamukkale traverten havuzlarının görünümü; (b-e) Pamukkale traverten havucuklarında güncel mikrobiyal oluşumların yakından görünümüleri; (f) Karahayıt mevkiindeki sıcak su çıkışı; (g) Karahayıt kırmızı sıcak su çıkışlarındaki yeşil renkli mikrobiyal matlar.

bölgede iki önemli lokasyon dikkat çekmektedir. Bu lokasyonlardan biri, Denizli'nin kuzeyinde Güney ilçesi yakınlarında halk arasında 'Güney Şelalesi' olarak adlandırılan mevkii verilebilir (Şekil 2). Büyük Menderes Nehri'nin doğu yamacında kaynak önlerinde oluşan şelale tipi ile baraj/teras sistemi içinde gelişen akarsu tufaları oldukça güzel tufa oluşumlarıdır (Özkul vd., 2010). Fosil tufa çökellerinde mikrobiyal etkiler sonucu oluşmuş olan stromatolitik yapılar, arazide belirgin olarak gözlenmektedir (Şekil 4g). Bir diğer lokasyon, Denizli ilinin doğusunda yer alan Honaz ilçesinde yer alan tufa çökelleridir (Şekil 2). Bu tufa çökelleri, bölgedeki aktivitesini koruyan Honaz fayı'nın yakınlarında yüzlek vermektedir (Şekil 2, 4).

6. Sonuçlar ve Öneriler

Bu çalışmada, karasal karbonat çökellerinden (hidrotermal travertenler ve akarsu tufa çökelleri)

kısaca bahsedilmiş ve bu çökellerden elde edilen veriler ışığında, sağlıklı bir şekilde paleoklimsel ve paleoortamsal yaklaşımların yapılabilmesinin yanı sıra paleobiyolojik kayıtlar hakkında da önemli ipuçları verebileceği üzerinde durulmuştur. Son 20 yıldır hızla artarak devam eden, Kuvaterner dönemine ışık tutması açısından önemli bir yere sahip olan karasal karbonat çalışmaları, günümüzde yeni bir boyut kazanarak bu çökellerin varlığında etkili mikrobiyal oluşumlara ağırlık verilmeye başlanmıştır. Özellikle son dönemlerdeki bilimsel yayınlarda bu karasal karbonatların (güncel veya fosil) bünyesinde barındırdıkları virüs ve bakteriler mercek altına alınmış, böylelikle dünyamızda ve diğer gezegenlerde eski yaşam izlerinin bu küçük organizmaları incelemekten geçtiğinin önemi vurgulanmıştır.

Ayrıca bu çalışmada, GB-Türkiye'de Denizli ve çevresinde, bu tür araştırmaların yapılabilceği



Şekil 4- (a-b) Şelale tipi Honaz tufa çökellerinin arazideki görünümü; (c-e) Kaklık mağarasından görüntüler, küçük traverten havuzcukları ve güncel mikrobiyal oluşuklar; (f) Güney şelale tufa oluşumunun arazideki görünümü; (g) Güney mevkisinde gözlenen stromatolitik tufa yapısının yakından görünümü.

potansiyel karasal karbonat çökel alanları da gösterilmiştir. İleriki dönemlerde, çoklu-disiplinli araştırmalarla karasal karbonatların oluşumunda etkili, çevre ve iklim değişimlerine duyarlı bu mikrobiyal oluşukların (virüs ve bakterisi) üzerine daha fazla odaklanılacağı düşünülmektedir.

Katkı Belirtme

Bu çalışma, yazarın proje ortağı (Project Collaborator) olarak yer aldığı, Mayıs 2020 yılında Varşova Üniversitesi (Polonya) tarafından kabul edilen OPUS 18, (Proje No: 2019/35/B/ST10/02190) no'lu "Viral proxies from modern carbonate environments/Modern karbonat ortamlarında viral oluşumlar" başlıklı Uluslararası projeden esinlenilerek hazırlanmıştır. Yazar, bu makale çalışmasının redaksiyon ve inceleme aşamalarında öneri ve düzeltmeleri ile katkı sağlayan Doç. Dr. Huriye Demircan'a içtenlikle teşekkür eder.

Değinen Belgeler

- Andrews, J.E. 2006. Palaeoclimatic records from stable isotopes in riverine tufas: synthesis and review. *Earth-Science Reviews*, 75, 852104.
- Andrews, J.E., Riding, R., Dennis, P.F. 1997. The stable isotope record of environmental and climatic signals in modern terrestrial microbial carbonates from Europe. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 129, 171-189.
- Arenas, C., Cabrera, L., Ramos, E. 2007. Sedimentology of tufa facies and continental microbialites from the Palaeogene of Mallorca Island (Spain). *Sed. Geol.*, 197, 1-27.
- Arenas-Abad, C., Vázquez-Urbez, M., Pardo-Tirapu, G., Sancho-Marcén, C. 2010. Fluvial and associated carbonate deposits. In: Alonso-Zarza, A.M., Tanner, L.H. (Eds.), *Developments in Sedimentology: Carbonates in Continental Settings: Facies, Environments and Processes*. Elsevier, Amsterdam, pp. 133-175.
- Campbell, K.A., Guido, D.M., Gautret, P., Foucher, F., Ramboz, C., Westall, F. 2015. Geysirite in hot-spring siliceous sinter: window on Earth's hottest terrestrial (paleo) environment and its extreme life. *Earth-Science Reviews* 148, 44-64. DOI: 10.1016/j.earscirev.2015.05.009
- Capezzuoli, E., Gandin, A., Pedley, M. 2014. Decoding tufa and travertine (fresh water carbonates) in the sedimentary record: The state of the art. *Sedimentology*, 61, 1-21.
- Chafetz, H. S. 2013. Porosity in bacterially induced carbonates: Focus on micropores. *AAPG bulletin* 97(11):2103-2111
- Della Porta, G., Reitner, J. 2020. The influence of microbial mats on travertine precipitation in active

hydrothermal systems (Central Italy). *BioRxiv*, <https://doi.org/10.1101/2020.07.29.226266>

- Farmer, J.D. 2000. Hydrothermal systems: doorways to early biosphere evolution. *GSA Today* 10, 1-9.
- Ferrari, S. G., Italiano, M. C., Silva, H. J. 2002. Effect of a cyanobacterial community on calcium carbonate precipitation in Puente de Inca (Mendoza, Argentina). *Acta Bot. Croat.* 61 (1), 1-9.
- Fouke, B.W. 2011. Hot-spring Systems Geobiology: abiotic and biotic influences on travertine formation at Mammoth Hot Springs, Yellowstone National Park, USA. *Sedimentology*, 58, 170-219.
- Gandin, A., Capezzuoli, E. 2014. Travertine: Distinctive depositional fabrics of carbonates from thermal spring systems. *Sedimentology*, 61, 264-290.
- Golubić, S., Violante, C., Plenković-Moraj, A., Grgasović, T. 2008. Travertines and calcareous tufa deposits: an insight into diagenesis. *Geologia Croatica* 61(2-3):363-378.
- Onstott, T. C., Ehlmann, B. L., Sapers, H., Coleman, M., Ivarsson, M., Marlow, J.J., Neubeck, A., Niles, P. 2018. Paleo-Rock-Hosted Life on Earth and the Search on Mars: a Review and Strategy for Exploration. *arXiv:1809.08266*
- Özkul, M., Gökgöz, A., Horvatinić, N. 2010. Depositional properties and geochemistry of Holocene perched springline tufa deposits and associated spring waters: a case study from the Denizli Province, Western Turkey. *Geological Society, London, Special Publications*, 336, 245 - 262.
- Özkul, M., Kele, S., Gökgöz, A., Shen, C., Jones, B., Baykara, M.O., Förizs, I., Németh, T., Chang, Y., Alççek, M.C. 2013. Comparison of the Quaternary travertine sites in the Denizli extensional basin on their depositional and geochemical data. *Sediment. Geol.* 294, 179-204.
- Pedley, H. M. 1990. Classification and environmental models of cool freshwater tufas. *Sedimentary Geology*, 68, 143-154.
- Pedley, H.M. 2009. Tufas and travertines of the Mediterranean region: a testing ground for freshwater carbonate concepts and developments. *Sedimentology*, 56, 221-246.
- Pentecost, A. 2005. *Travertine*. Springer, Berlin, 445.
- Riding, R. 2000. Microbial carbonates: the geological record of calcified bacterial-algal mats and biofilms. *Sedimentology*, 47, 179-214.
- Sun, R.S. 1990. *Denizli-Uşak Arasının Jeolojisi ve Linyit Olanakları İzmir, Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü, Rapor No. 9985, Ankara (yayımlanmamış)*.
- Şenel, M. 1997. 18p. *Denizli-J9 Quadrangle, 1:100.000 Ölçekli Jeoloji Haritası ve açıklamaları Maden*

Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü Yayınları,
Ankara.

- Tagliasacchi, E., Kayseri-Özer, M.S. 2020. Multidisciplinary approach signals of the non-marine carbonates: The case of the Sarıkavak tufa deposits (Afyon, SW-Turkey). *Quaternary International*, 544, 41-56.
- Toker, E. 2017. Quaternary fluvials tufas of Sarıkavak area, southwestern Turkey: Facies and depositional systems. *Quaternary International, Non-marine Carbonates, Special Issue 437*, 37-50.
- Toker, E., Kayseri-Özer, M.S., Özkul, M., Kele, S. 2015. Depositional system and palaeoclimatic interpretations of Middle to Late Pleistocene travertines: Kocabaş, Denizli, SW Turkey. *Sedimentology*, 62, 5, 1360-1383.
- Tucker, M. 2020. Fossil viruses. *Fossil explained 77. Geology Today*, 36, 4, 156-160.