

## Van Gölü Sediment Bakterilerinin Ağır Metal Karakterizasyonu

Tuğba ÖZAKTAŞ

Moleküler Biyoloji ve Genetik Bölümü, Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi, Van, Türkiye  
\*e-mail: tugbaozaktas@yyu.edu.tr

Geliş tarihi/Received:13/02/2020

Kabul tarihi/Accepted:25/02/2020

### Özet

Soda gölleri, pH değerinin yüksek olduğu (9,0 -12,0), yeryüzündeki doğal alkalın ortamlardır. Bu alanlar sıradışı jeokimyası nedeniyle, çok sayıda ekolojik ve ekonomik öneme sahip mikrobiyal topluluk barındırırlar. Van Gölü, büyük bir havzanın alçak kısmını kaplayan dünyanın en büyük soda gölüdür. Göl kendine has su kimyası ile diğer soda göllerinin içinde özel bir yere sahiptir. Dünya genelinde soda göllerindeki mikroorganizmalar üzerine yapılan çalışmalar her geçen gün artmaktadır. Ağır metaller mikro kirleticilerdir ve birikimleri özellikle sucul sistemleri tehdit etmektedir. Bakteriye komüniteler çevresel değişimlere karşı oldukça duyarlıdır. Şehirleşmenin ve sanayileşmenin getirdiği en kötü sonuçlardan biri olan ağır metal varlığı da bakteriler üzerinde negatif etki yaratmaktadır. Böyle bir stresin Van Gölü'nün doğal bakteri popülasyonunda nasıl bir etkiye neden olduğunu görmek için kadmiyum, bakır ve çinko varlığındaki sayısal değişimleri incelenmiştir. Buna göre gölün iki farklı kıyısından alınan örneklerde de paralel sonuçlar gözlenmiştir. Van Gölü sedimentinin kültüre edilebilen bakteri sayısı  $10^6$  KOB/g olarak bulunmuştur. Ağır metaller açısından değerlendirildiğinde ise her iki bölgede de en toksik metalin kadmiyum olduğu belirlenmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Soda gölleri, Van Gölü, Ağır metal, Kadmiyum, Bakır, Çinko

## Heavy Metal Characterization of Lake Van Sediment Bacteria

### Abstract

Soda lakes are alkaline ecosystems with high pH (9.0 -12.0). These ecosystems harbor considerably diverse microbial populations because of their unusual geochemistry. Lake Van, the largest soda lake on Earth, is located in the highlands of eastern Anatolia, Turkey. This lake differs from the other soda lakes with distinct hydrochemistry of its water. Studies on microbial communities of soda lakes have been increasing all over the world because of ecological and economic importance. Heavy metals are micro-pollutants and their accumulation threatens especially aquatic systems. Bacterial communities are quite sensitive towards the environmental changes. It is important to learn the effect of heavy metal stress on bacterial communities of Lake Van. Cadmium, copper and zinc were used to evaluate the changes of bacterial population. This study demonstrated that parallel results were observed in the samples obtained from two different regions of the lake. The number of bacteria that can be cultured in Lake Van sediment was found as  $10^6$  CFU/g and cadmium was the most toxic heavy metal in both regions.

**Keywords:** Soda lake, Lake Van, Heavy metal, Cadmium, Copper, Zinc

## Giriş

Soda gölleri, tuz olarak sodyum karbonat/ bikarbonat iyonlarının yoğun olduğu özel tuz gölleridir. Tuzluluk oranları buldukları yere bağlı olarak değişiklik göstermektedir (Grant ve ark. 1990; Sorokin ve ark. 2011). Bu tanıma uygun olarak Van Gölü dünyanın en büyük soda gölü ve üçüncü en büyük kapalı gölüdür (Landmann ve ark. 1996); bununla birlikte 450 m derinlikle dünyadaki en derin göldür (Reimer ve ark. 2009). Van Gölü suyu oldukça alkali (9,73 pH) olmasına karşın tuzluluk oranı diğer soda göllerinin aksine % 2,17 gibi düşük bir değerdedir; bu da çoğunlukla kalsiyum, sodyum, klor ve karbonat iyonlarından az bir miktarda da sülfat, potasyum ve magnezyum iyonlarından kaynaklanmaktadır (Kempe ve ark. 1991; Lopez-Garcia ve ark. 2005). Göl jeolojik konumu ve kendine has su kimyası ile diğer soda göllerinin içinde özel bir yere sahiptir.

Yüksek pH değerlerinde (genellikle pH 9'dan büyük değerlerde) optimal büyüme gösteren organizmalara alkalifiller denir. Alkalifiller *Bacteria*, *Archaea*, *Eukarya* gibi üç domaine ait üyeleri de içerebilirler. Soda gölleri zorunlu alkalifiller ve alkali toleransı gösteren mikroorganizmalar için uygun koşulları sağlayan nadir doğal ortamlardır. Bu mikrobiyal topluluklar ekosistemdeki organik madde döngülerinde önemli rol oynamakla birlikte, enzimlerinin yüksek pH ve tuzluluk değerlerinde aktivite göstermesinden dolayı endüstriyel uygulamalar için de önem arz etmektedirler. Alkalifilik ve alkalitolerant bakterilerden elde edilen enzimler özellikle de proteazlar, lipazlar ve selülazlar gibi enzimler, biyoteknolojik olarak geliştirilmiş çamaşır deterjanları üretiminde, gıda endüstrisinde, ilaçlarda, tıbbi teşhislerde ve atık kontrolünde kullanılmaktadır (Grant ve ark. 1990; Sorokin ve ark. 2011). Bu nedenle bu doğal ortamlardaki mikrobiyal çeşitliliğin devamının sağlanması büyük önem arz etmektedir.

Metaller ve diğer atıklardan oluşan kirleticiler çok çeşitli kaynaklardan ortaya çıkabilmektedirler. Özellikle ağır metaller çevre koşullarına dayanıklı olmaları nedeniyle buldukları ekolojide birikerek yaygın kirlenme nedeni oluşturmakta ve kolaylıkla besin zincirine girerek canlılarda artan yoğunluklarda birikmektedirler. Sonuç olarak da biyolojik sistemlere yönelik etki göstererek canlıda toksisiteye sebep olmaktadır (Lin ve ark. 2013, Amin ve ark. 2015). Bakır (Cu) ve çinko (Zn) diğer birçok metal gibi sedimentlerde ve organizmalarda biriktiği bilinen ve yüksek miktarlarda da toksisite özelliklerine göre ilk sıralarda yer alan ağır metaller içerisinde yer almaktadır. Kadmiyum (Cd) ise düşük miktarlarda bile toksisiteye sahip ağır metaller arasındadır (Lin ve ark. 2013). Bu ağır metaller mikroorganizmaların enzimatik aktivitelerini inhibe eder, membran fonksiyonlarını engeller ve nükleik asitlerine zarar verirler. Uzun süre ağır metallerle maruz kalan mikroorganizmalar bu metallerle karşı çeşitli dirençlilik mekanizmaları geliştirerek ortamdaki varlıklarını devam ettirebilirler. Bakır ve çinko gibi bazı metaller mikroorganizmalar için düşük konsantrasyonlarda gerekli olmasına rağmen, mevcut olan her türlü maddenin belirli bir konsantrasyonu aşması her canlıda olduğu gibi mikroorganizmaların da yaşamının devamı için tehdit oluşturmaktadır (Choudhury ve Srivastava, 2001, Hall ve Anderson, 1999).

Mikroorganizmalar doğada farklı çevresel streslere maruz kalmaktadırlar. Karşılaştıkları stresler nedeniyle mikroorganizmalar yok olabildikleri gibi adaptasyon mekanizmalarını aktif hale getirerek yaşamlarını devam da ettirebilirler. Bu da stres kaynağının yoğunluğuna ve sürekliliğine bağlı olarak mikrobiyal çeşitlilikte kalıcı veya geçici değişikliklere sebep olabilmektedir. Bu çalışma ile şehirleşmenin getirdiği negatif

etkilerin Van Gölü bakteri komünitelerinde yarattığı değişikliklerin sayısal olarak belirlenmesi hedeflenmiştir. Bu kapsamda iki kıyı bölgesinden alınan sediment örnekleri ile ağır metal kaynaklı stres koşullarında bakteriyel komünitelerdeki sayısal değişim karşılaştırılmıştır. Şimdiye kadar Van Gölü'ndeki bakteriler ile yapılan kültüre dayalı çalışmalar ya belirli alkalifilik gruplar üzerine yapılan çalışmalar (Ateş ve ark. 2007; Avsar ve ark. 2016) ya da sayısal veri elde etme amaçlı yapılan mikroskopik çalışmalar (Kempe ve ark. 1991; Budakoğlu, 2009; Kallmeyer ve ark. 2015; Adhikari ve ark. 2016) ile sınırlı kalmıştır. Bu nedenle yapılan bu çalışmanın sonuçlarının Van Gölü kıyısındaki yoğun şehirleşmenin gölün doğal bakteri topluluklarını nasıl etkilediği hakkında bir fikir vermesi hedeflenmiştir.

## **Materyal ve Yöntem**

### **Örneklerin Alınması**

Örnekler Van Gölü' nün A- 38°55'30,9"N 43°37'53,4"E ve B- 38°33'12,4"N 43°18'34,0"E olmak üzere iki ayrı kıyı noktasından Mart, 2019 tarihinde alınmıştır. Steril kaplara alınan yüzey sediment örneklerinin en kısa sürede laboratuvara ulaştırılması sağlanmıştır. Bu süreçte örnekler buz üzerinde tutulmuş, laboratuvara ulaşınca da deneyler başlatılana kadar +4°C'de muhafaza edilmiştir.

### **Besiyeri ve Büyüme Koşulları**

Çalışmada nutrient agar (NA) besiyeri kullanılmıştır. Besiyerinin pH değeri 1 N'lik NaOH ile  $9 \pm 0,2$  olacak şekilde ayarlanmıştır. Ağır metal stokları Cd, Cu ve Zn tuzlarının ( $\text{CdCl}_2 \cdot 2,5\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ ) suda çözünmesi ve filtrasyon yöntemi ile steril edilmesi sonucu elde edilmiştir. Daha sonra bu tuz çözeltilerinden değişen konsantrasyonlarda NA besiyerine ilave edilerek farklı konsantrasyonlarda (200; 100; 50; 40; 20; 10; 5; 2,5; 1; 0,5; 0,25; 0,125 mM) ağır metal içeren besiyerleri elde edilmiştir. Tüm besiyerlerinde yayma ekimi tekniği kullanılmıştır. Sediment örnekleri PBS içinde seri seyreltme sonucu hazırlanmıştır. Uygun seyreltmelerden inoküle edilen örnekler  $28 \pm 2^\circ\text{C}$ 'de 48 saat inkübe edilmişlerdir. Her bir grup üçlü replika şeklinde çalışılmıştır.

### **İstatistiksel Analiz**

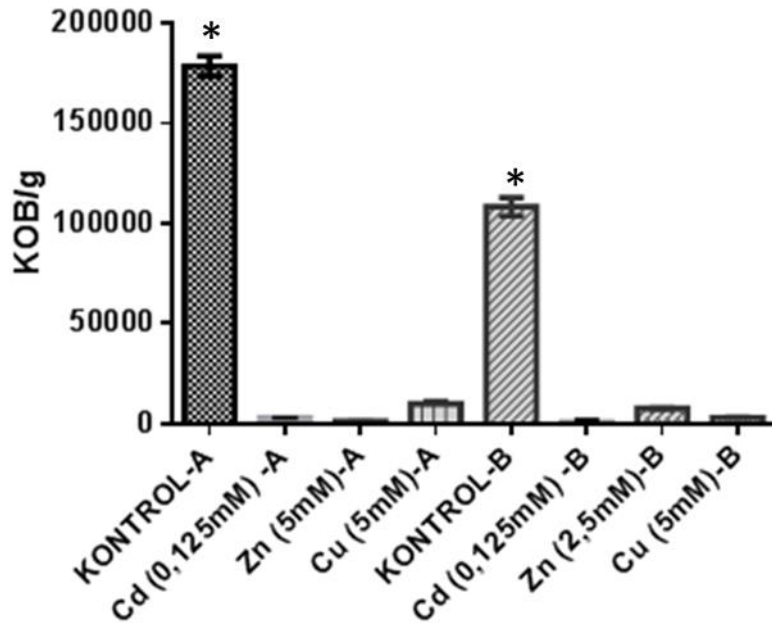
48 saat sonrasında elde edilen sayısal veriler koloni oluşturma birimi (KOB)/ g cinsinden ifade edilmiştir. Her bir grup için elde edilen üç ayrı KOB/g değerinin ortalaması alınmıştır. Kontrol gruplar ve ağır metal içeren gruplar arasındaki anlamlı farkların belirlenebilmesi için istatistiksel analiz yapılmıştır.  $P < 0,05$  olan farklar anlamlı olarak belirlenmiştir. İstatistiksel analizler için GraphPad Prism programı kullanılmıştır.

### **Bulgular**

Van Gölü'nün iki ayrı kıyı noktasından alınan sediment örneklerindeki kültüre edilebilen bakteri popülasyonu A ve B noktaları için sırasıyla  $1,8 \cdot 10^6 \pm 2,9 \cdot 10^4$  ve  $1,1 \cdot 10^6 \pm 2,7 \cdot 10^4$  KOB/g olarak bulunmuştur (Şekil1). Bu değerler ağır metal içermeyen

besiyerlerinden elde edilen değerler olduğu için ağır metal gruplarının kıyaslanmasında kontrol grubu olarak değerlendirilmişlerdir.

Bakteri komünitelerinin ağır metal kaynaklı stres koşullarındaki sayısal değişimini gözlemleyebilmek için Cd, Cu ve Zn tuzlarının değişen konsantrasyonlarını (200-0,125 mM) içeren besiyerlerindeki sayısal değişimlerine bakılmıştır. Örneklem noktası A ve B için ağır metal gruplarının kontrol gruplarına göre kıyaslanmaları şekil 1, 2 ve 3'te görülmektedir. A noktası için maksimum tolere edilebilen konsantrasyon değerleri (MTK, bakterilerin büyüme gösterdikleri en yüksek konsantrasyon değeri) Zn ve Cu için 5 mM (sırasıyla  $1,4 \cdot 10^3 \pm 3,0 \cdot 10^2$ ;  $1 \cdot 10^4 \pm 5,9 \cdot 10^2$  KOB/g) iken Cd için bu değer 0,125 mM ( $2,9 \cdot 10^3 \pm 2,8 \cdot 10^2$  KOB/g) olmuştur (Şekil 2). B noktasında ise Zn için 2,5 mM ( $7,8 \cdot 10^3 \pm 3,8 \cdot 10^2$  KOB/g) ve Cu için yine 5 mM ( $3,1 \cdot 10^3 \pm 2,1 \cdot 10^2$  KOB/g) iken Cd için 0,125 mM'dur ( $1,0 \cdot 10^3 \pm 3,6 \cdot 10^2$  KOB/g) (Şekil 3).

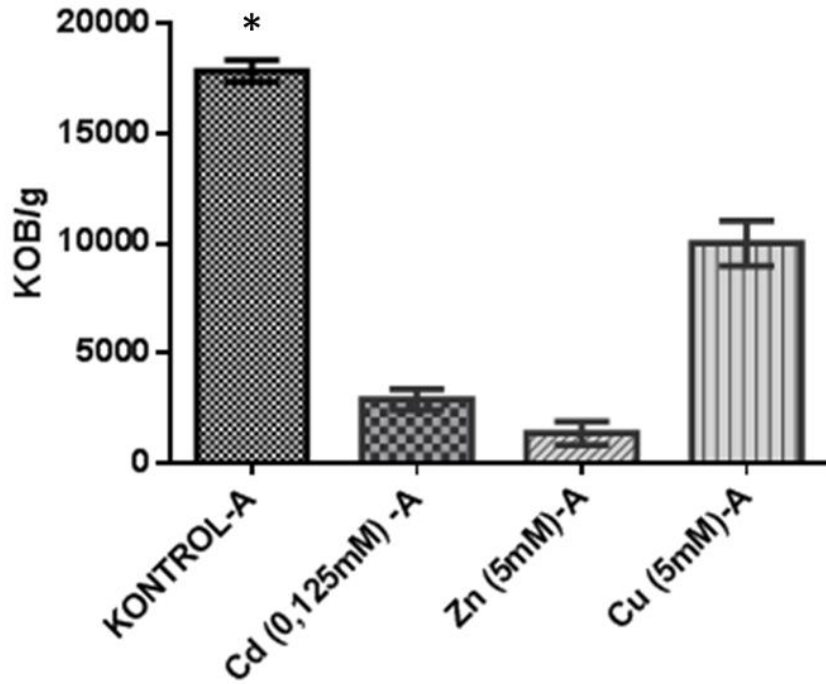


**Şekil 1.** Van Gölü'nün iki ayrı kıyı noktasından alınan sediment örneklerinde bakteriyel komünitelerin ağır metal varlığında ve yokluğunda sayısal olarak kıyaslanması.

\* Kontrol A ve Kontrol B'nin değerleri grafikte kolay okunması açısından 10 kat küçültülmüştür.

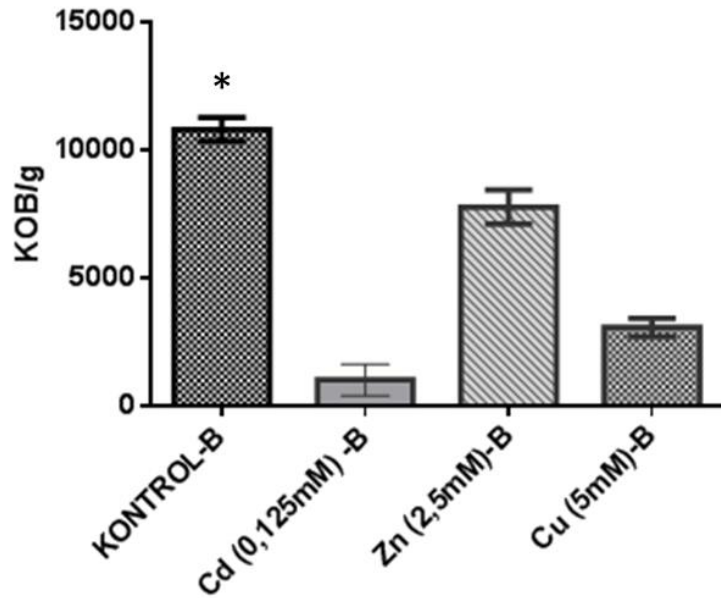
A noktası için Cu, Zn ve Cd varlığında elde edilen KOB/g değerleri kontrol grubundan istatistiksel olarak farklı (\*\*\*\*) bulunmuştur. Ayrıca Cu ve Cd (\*\*\*), Cu ve Zn (\*\*\*), Cd ve Zn (\*) grupları arasındaki farklar da istatistiksel olarak anlamlıdır (Şekil 2). B noktası için ise aynı şekilde ağır metal (Cu, Cd, Zn) grupları ile kontrol grubu arasındaki farklar istatistiksel olarak anlamlı (\*\*\*\*) bulunmuştur. Bununla beraber Cu ve Zn (\*\*\*), Cd ve Zn (\*\*\*), Cu ve Cd (\*\*) arasındaki farklar da istatistiksel olarak anlamlıdır (Şekil 3).

Bununla birlikte A ve B noktaları da ağır metaller ve kontrol grupları açısından kendi aralarında değerlendirilmiştir. Buna göre kontrol grupları (\*\*\*\*), Cu grupları (\*\*\*), Zn grupları (\*\*\*), ve Cd grupları (\*) arasındaki farklar da anlamlı bulunmuştur (Şekil 1).



Şekil 2. Van Gölü'nün A noktasından alınan sediment örneğinde bakteriyel komünitelerin ağır metal varlığında ve yokluğunda sayısal olarak kıyaslanması.

\* Kontrol A'nın değeri grafikte kolay okunması açısından 100 kat küçültülmüştür.



Şekil 3. Van Gölü'nün B noktasından alınan sediment örneğinde bakteriyel komünitelerin ağır metal varlığında ve yokluğunda sayısal olarak kıyaslanması.

\* Kontrol B'nin değeri grafikte kolay okunması açısından 100 kat küçültülmüştür.

## **Tartışma**

Van Gölü sedimentinin kültüre edilebilen bakteri sayısı  $10^6$  KOB/g olarak bulunmuştur. Aynı şekilde yine bir soda gölü olan Lonar gölünde de bu değer  $10^2$ - $10^6$  KOB/g olarak ifade edilmiştir (Joshi ve ark. 2008). Ağır metal varlığındaki sayısal değişimler de diğer çalışmalarla benzerlik göstermektedir. Şöyle ki eski bir bakır madeni yakınlarından alınan toprak örnekleri ile yapılan çalışmada (Llamado ve ark. 2013) MTK değerleri bu çalışmada da olduğu gibi Zn ve Cu'da, Cd'a göre daha yüksek bulunmuştur. Ancak MTK değerleri bu çalışmaya göre oldukça yüksek bulunmuştur. Maden atıkları ile kontamine olmuş başka bir alanda yapılan çalışmada (Zhang ve ark. 2007) da yine kültüre edilebilen bakteri sayısı bu çalışma ile benzer şekilde  $10^6$  KOB/g bulunmuş; ancak hem Cd varlığındaki popülasyon sayısı ( $10^5$  civarı) hem de MTK değeri (0,5 mM) bu çalışmadan elde edilen değerlerden daha yüksek bulunmuştur. Her iki çalışmanın sonucu da kontamine bir alanda yer alan canlıların bu ortamlara adapte olabilmek için direnç seviyelerini artırdıklarının bir göstergesidir. Dolayısıyla direkt metal kirliliğine maruz kaldığı bilinen alanlardaki toleransa göre Van Gölü tolerans sonuçlarının bu iki bölgeye göre daha düşük seviyede çıkması beklenen bir sonuçtur. Nehir sedimenti ile yapılan farklı bir çalışmada bakteri yoğunluğu  $10^3$ - $10^4$  KOB/g bulunmuş, Cd ile kontamine olmuş alanlarda ise bu sayının istatistiksel olarak anlamlı derecede düştüğü belirtilmiştir (Amin ve ark. 2015).

Bu çalışma ve benzer çalışmalarda göstermiştir ki Cd toksisitesi Cu ve Zn toksisitesine göre çok daha fazladır. Bakır tüm canlılar için gereklidir ve sucul yaşam için de bir mikrobendir. Aynı şekilde çinko da yine hücreler için gerekli olan metallere aittir. Ancak her ikisinin de düşük konsantrasyonları ne kadar gerekli ise yüksek konsantrasyonları da bir o kadar toksik etkiye sahiptir (Hall ve Anderson, 1999; Choudhury ve Srivastava, 2001). Ancak kadmiyum hücreler için gerekli bir metal değildir ve çok düşük konsantrasyonlarda bile toksik etkiye sahiptir (Trevors, 1986). Dolayısıyla çalışmadan elde edilen sonuçlar bu bilgilerle paralellik göstermektedir.

Deniz bakteri komüniteleri ile yapılan bir çalışma da ise Cu ve Zn içeren boyaların toksik etkisine bakılmış ve Cu içeren bileşiklerin Zn içerenlerden daha toksik olduğu bulunmuştur (Ohji ve ark. 2019). Bu çalışmada ise Zn, Cu'a göre daha toksik etki göstermiştir. Bu farklılık muhtemelen suyun kimyasından ve tuzluluk derecesinden kaynaklanmaktadır; çünkü özellikle bakır toksisitesinin sucul canlılar üzerinde farklılık gösterdiği hatta bu farklılığın değişik çevrelerdeki aynı canlılarda dahi gözlemlendiği daha önceki çalışmalarda da gösterilmiştir (Hall ve Anderson, 1999).

Çalışmanın sonuçları iki ayrı noktada da paralellik göstermesine rağmen birbirlerinden farklıdır. Bu farklılık muhtemelen örneklem alanlarındaki sedimentlerin değişik toprak yapısına sahip olmasından kaynaklanmaktadır. Sedimentler sucul sistemlerde organik ve inorganik materyallerin kaynağı yani birikim gösterdikleri alanlardır (Zahir ve ark. 2012; Liu ve ark. 2011). Dolayısıyla toprak yapısının bu birikim şekline hem besin kaynağı oluşturması açısından hem de toksik madde birikimi açısından farklılık yaratması şaşırtıcı olmayan bir sonuçtur.

## **Sonuç**

Gelişmeleri için gerekli olan optimum çevre koşullarındaki herhangi bir değişiklik bakteriler üzerinde stres yarattığından, bu stres koşulları ile baş edemeyen türler yok olabilmekte ve bunun yerine farklı türler baskın hale gelebilmektedirler.

Sedimentler de birikim özellikleri nedeni ile buldukları sucul sistemler için özellikle de ağır metal kirliliği açısından indikatör olarak düşünülebilirler. Dolayısıyla su kalitesinin de göstergesidirler. Aynı zamanda bakteri komüniteleri de sedimentte biriken çevresel stresin etkisini değerlendirmek açısından indikatör olarak rol oynayabilirler. Dolayısıyla bu çalışma sonunda elde edilen değerler literatürdeki benzer çalışmalarla da kıyaslandığında Van Gölü'nün ciddi bir ağır metal kontaminasyonu içermediğini gösterir niteliktedir. Ancak böyle net bir kanıya varabilmek için sediment ve su içeriğinin ağır metal ve diğer kirleticiler açısından daha kapsamlı bir analizinin yapılması ve de örneklem sayısının artırılarak farklı derinliklerden elde edilen değerlerle desteklenmesi gerekmektedir. Bu çalışma bu anlamda bir öncü çalışma olması açısından değer taşımaktadır.

### **Teşekkür**

Bu çalışma Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri (BAP) tarafından desteklenmiştir (FYL-2018-7188).

### **Kaynaklar**

- Adhikari, R., Glombitza, C., Nickel, J. C., Anderson, C. H., Dunlea, A. G., Spivack, A. J., Murray, R. W., D'Hondt, S., Kallmeyer, J. (2016). Hydrogen utilization potential in subsurface sediments. *Frontiers in Microbiology*, 7: 1-16. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2016.00008>
- Amin, M. H. M., Chowdhury, A. J. K., Yunus, K., Nordin, N. F. H. (2015). Spatial and temporal distribution of bacterial communities and heavy metals (Cr, Cd and Pb) composition in sediments along Pahang River, Malaysia. *Jurnal Teknologi*, 77: 71-76. <https://doi.org/10.11113/jt.v77.6710>
- Ateş, Ö., Öner, E. T., Arıkan, B., Denizci, A. A., Kazan, D. (2007). Isolation and identification of alkaline protease producer halotolerant *Bacillus Licheniformis* Strain BA17. *Annals of Microbiology*, 57: 369-375. <https://doi.org/10.1007/BF03175075>
- Avşar, C., Yeğin, Z., Civek, S., Berber, I. (2016). The genetic heterogeneity of facultative alkaliphilic *Bacillus* species isolated from soda lake. *Fresenius Environmental Bulletin*, 25: 4103-4110.
- Budakoğlu, M. (2009). Comparison of recent siliceous and carbonate mat development on the shore of hyper-alkaline Lake Van and Mt. Nemrut Soğuk Lake, NE Anatolia, Turkey. *Geomicrobiology Journal*, 26: 146-160. <https://doi.org/10.1080/01490450802675027>
- Choudhury, R., Srivastava, S. (2001). Zinc resistance mechanisms in bacteria. *Current Science*, 81: 768-775. <https://www.jstor.org/stable/24106396>
- Grant, W. D., Mwatha, W. E., Jones, B. E. (1990). Alkaliphiles: ecology, diversity and applications. *FEMS Microbiology Reviews*, 75: 255-270. <https://doi.org/10.1111/j.1574-6968.1990.tb04099.x>
- Hall, L. W., Anderson, R. D. (1999). A deterministic ecological risk assessment for copper in European saltwater environments. *Marine Pollution Bulletin*, 38: 207-218. [https://doi.org/10.1016/S0025-326X\(98\)00164-7](https://doi.org/10.1016/S0025-326X(98)00164-7)
- Joshi, A. A., Kanekar, P. P., Kelkar, A. S., Shouche, Y. S., Vani, A. A., Borgave, S. B., Sarnaik, S. S. (2008). Cultivable bacterial diversity of alkaline Lonar Lake, India. *Microbial Ecology*, 55: 163-172. <https://doi.org/10.1007/s00248-007-9264-8>

- Kallmeyer, J., Grewe, S., Glombitza, C., Kitte, J. A. (2015). Microbial abundance in lacustrine sediments: a case study from Lake Van, Turkey. *International Journal of Earth Sciences*. 104: 1667-1677. <https://doi.org/10.1007/s00531-015-1219-6>
- Kempe, S., Kazmierczak, J., Landmann, G., Konuk T., Reimer A., Lipp A. (1991). Largest known microbialities discovered in Lake Van, Turkey. *Letters to Nature*, 349: 605-608. <https://doi.org/10.1038/349605a0>
- Landmann, G., Reimer, A., Lemcke, G., Kempe, S. (1996). Dating late glacial abrupt climate changes in the 14,570 yr long continuous varve record of Lake Van, Turkey. *Palaeo*, 122, 107-118. [https://doi.org/10.1016/0031-0182\(95\)00101-8](https://doi.org/10.1016/0031-0182(95)00101-8)
- Lin, Y. C., Chang-Chien, G. P., Chiang P. C., Chen, W. H., Lin, Y. C. (2013). Multivariate analysis of heavy metal contaminations in seawater and sediments from a heavily industrialized harbor in Southern Taiwan. *Marine Pollution Bulletin*, 76: 266-275. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2013.08.027>
- Liu, G., Rajendran, N., Amemiya, T. Itoh, K. (2011). Bacterial community structure analysis of sediment in the Sagami River, Japan using a rapid approach based on two-dimensional DNA gel electrophoresis mapping with selective primer pairs. *Environmental Monitoring and Assessment*, 182: 187–195. <https://doi.org/10.1007/s10661-010-1868-7>
- Llamado, A. L., Raymundo, A. K., Aggangan, N. S., Pampolina, N. M., Cadiz, N. M. (2013). Enhanced rhizosphere bacterial population in an abandoned copper mined-out area planted with *Jatropha* interspersed with selected indigenous tree species. *Journal of Environmental Science and Management*, 16: 45-55.
- López-García, P., Kazmierczak, J., Benzerara, K., Kempe, S., Guyot F., Moreira D. (2005). Bacterial diversity and carbonate precipitation in the giant microbialites from the highly alkaline Lake Van, Turkey. *Extremophiles*, 9: 263-274. <https://doi.org/10.1007/s00792-005-0457-0>
- Ohji, M., Harino, H., Langston, W. J. (2019). Differences in susceptibility of marine bacterial communities to metal pyrithiones, their degradation compounds and organotin antifouling biocides. *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom*, 99: 1033-1039. doi:10.1017/S0025315418001169
- Reimer, A., Landmann, G., Kempe, S. (2009). Lake Van, Eastern Anatolia, hydrochemistry and history. *Aquatic Geochemistry*, 15: 195-222. <https://doi.org/10.1007/s10498-008-9049-9>
- Sorokin, D. Y., Kuenen, J. G., Muyzer, G. (2011). The microbial sulfur cycle at extremely haloalkaline conditions of soda lakes. *Frontiers in Microbiology*, 2: 44, 1-16. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2011.00044>
- Trevors, J. T., Stratton, G. W., Gadd, G. M. (1986). Cadmium transport, resistance, and toxicity in bacteria, algae, and fungi. *Canadian Journal of Microbiology*, 32: 447-464. <https://doi.org/10.1139/m86-085>
- Zahir, M. S. M., John, B. A., Kamaruzzaman, B. Y. ve ark., (2012). The distribution of selected metals in the surface sediment of Langkawi Coast, Malaysia. *Oriental Journal of Chemistry*, 28: 725-732.
- Zhang, H., Yang, M., Shi, W. Zheng, Y., Sha, T., Zhao, Z. W. (2007). Bacterial diversity in mine tailings compared by cultivation and cultivation-independent methods and their resistance to lead and cadmium. *Microbial Ecology*, 54, 705–712. <https://doi.org/10.1007/s00248-007-9229-y>