



Predatör Prokaryotlardan *Bdellovibrio* ve Benzeri Organizmalar (BALOs), Habitatları ve Ekolojik Önemi

Abdurrahman Üsamer TAMER^{1*}, Dilek ŞEKER¹

¹Manisa Celal Bayar Üniversitesi Fen Edebiyat Fakültesi Biyoloji Bölümü, Manisa

*Sorumlu Yazar

E-posta: usametamer@hotmail.com

Geliş Tarihi : 3 Şubat 2019

Kabul Tarihi: 17 Ağustos 2019

Özet

Bütün canlılar arasında olduğu gibi prokaryotik canlılar arasında da predatörlük sözkonusu olabilir. Bunun en belirgin örneğini gram negatif bakterilerde predatör olarak yaşayan BALOs (*Bdellovibrio* ve benzeri organizmalar) oluşturur. Gram negatif özellikte olan hareketli ve virgül şekilli bu bakteriler, bazı gram negatif bakterilerin periplazmik boşluğu içinde farklı bir büyüme evresine sahiptir. Doğadan av olarak kullanılan başka bir bakterinin varlığına gerek duyularak izole edilmiştir. Bu predatör bakteri üyeleri insan, bitki ve hayvan için zararsız organizmalardır. Ekosistemlerin fiziksel, kimyasal ve biyolojik özelliklerinin doğası BALOs'un bazı tiplerini dışlamakta, bazılarını ise teşvik etmektedir. Bu derleme çalışmasının amacı predatör prokaryotlardan olan BALOs'a, buldukları habitatlara ve ekolojik önemlerine dikkat çekmektir.

Anahtar kelimeler: BALOs, Habitat, Predatör, Ekoloji

Bdellovibrio and Like Organisms (BALOs) from Predator Prokaryotes, Habitats and Ecological Importances

Abstract

As in all living things, there may be a predation to among prokaryotes. The most obvious example of this is the BALOs (*Bdellovibrio* and like organisms) that live as predators in gram negative bacteria. These's gram-negative, motile and vibroid bacteria have a different growth stage in the periplasmic space of some gram-negative bacteria. It is isolated from nature by necessity of another bacteria used as prey. These predator bacterial members are harmless organisms for human, plant and animal. The nature of the physical, chemical and biological properties of ecosystems excludes certain types of BALOs, while others promote them. The aim of this review is to draw attention to their habitats and their ecological importance of these predator bacteria.

Keywords: BALOs, Habitat, Predator, Ecology

GİRİŞ VE AMAÇ

Predatör enerji ve biyosentetik materyallerini diğer bir canlı hücreyi öldürdükten sonra ondan elde eden canlıdır. Bu canlıların bir bölümü prokaryotiktir. Taksonomik olarak tanımlanmış zorunlu (obligat) veya fakültatif predatör olan bakteriler 5 filum içindeki 15 familyada yer alırlar [16]. Stolp ve Petzold 1962 yılında, toprak süspansiyonlarından fitopatogen *Pseudomonas syringae* pv *phaseolicola* türünün fajlarını izole etmeye çalışırken tesadüfen, bir predatör bakteri olan *Bdellovibrio bacteriovorus* türünü keşfetmişlerdir [46]. Bakteriyal predasyon üç tipte gerçekleşmektedir. Ya hücre hücreye temas kurarak ava bağlanır, ayrıştırdığı ve özümlediği av moleküllerinin bulunduğu hücrenin dış yüzeyine bağlı kalırlar ki buna epibiyotik predasyon denir. İkinci tip olan endobiyotik predasyonda ise predatör avının periplazmasını ya da sitoplazmasını istila eder. Üçüncü tip ise av hücrelerini parçalamak için hidrolitik enzimler ve ikincil metabolitler üreten predatörlerin yeterli bir sayısına ihtiyaç duyulan saldırı grubu (wolf peak) predasyonudur [33].

En iyi tanımlanmış obligat veya fakültatif predatör bakteriler *Bdellovibrio* ve benzeri organizmalar (BALOs) olarak ifade edilen bir polifiletik grubu oluştururlar. Bir kısmı α -Proteobakteri (*Micavibrio* spp.) içinde incelenir. α -BALOs olarak ifade edilen *Micavibrio* cinsinde ise *Micavibrio admirantus* ve *Micavibrio aeruginosavorus* (*Pseudomonas aeruginosa*, *Burkholdaria cepacia*, *Klebsiella pneumoniae* türlerinin birçok klinik izolatu üzerinde) epibiyotik predatörler bulunmaktadırlar [37]. Diğerleri δ -Proteobakteri içindeki üç farklı familyada (*Bdellovibrionaceae*, *Bacteriovoraceae* ve *Halobacteriovoraceae*) toplanmıştır [22]. Ancak bu familyaların isimleri, içerdikleri cins ve türlerin durumunda günümüze kadar bazı değişiklikler olmuştur. Örneğin; *Bdellovibrio starii* türü *Peredibacter starii* haline dönüştürülmüştür [4]. *Bdellovibrio* spp.,

Bacteriovorax spp., *Peredibacter* spp. ve *Halobacteriovorax* spp. günümüzde δ -Proteobakteri içindeki geçerli cins isimleridir. 16S rDNA sekans analizleri sonucu periplazmik bir predatör olan *Bdellovibrio bacteriovorus* ve epibiyotik bir predatör olan *Bdellovibrio exovorus* *Bdellovibrionaceae* familyasına sokulmuştur. Deniz ekosisteminde belirlenen *Bacteriovorax marinus* türü *Halobacteriovorax marinus* gen nov., *Bacteriovorax litoralis* türü *Halobacteriovorax litoralis* comb. nov haline dönüştürülerek yeni oluşturulmuş olan *Halobacteriovoraceae* familyasına sokulmuştur [22]. Tam tanımlanamamış bir cins olarak 1983'de kayıtlara geçen *Vampirococcus* fotosentetik mor kükürt bakterilerinden olan *Chromatium minus* yüzeyinde belirlenmiştir [2]. *Chlorella* cinsi alglerde belirlenen bir diğer predatör bakteri önceleri *Bdellovibrio* olarak kayda geçen, ancak sonradan *Vampirovibrio* gen. nov. nakledilen *Vampirovibrio chlorellavorus* türüdür [11].

BALOs hücreleri tipik bir bakterinin 1/5'i kadar bir büyüklükte oldukları için dünyanın en küçük avcıları diye anılırlar. Gram negatif, virgül şeklinde, 0.2-0.5 μ m çapında ve 0.5-2.0 μ m uzunluğundadırlar. Genişliği normal bir bakteri flagellumunun 3-4 katı genişlikte, tek bir kutupsal flagellum ile hareket ederler [23]. Zorunlu aerobik olup, amino asitlerin ve asetatın oksidasyonundan yaşamsal enerjilerini sağlamalarının yanı sıra nükleotidleri, yağ asitlerini, peptidleri ve hatta bütün haldeki proteinleri parçalamaksızın doğrudan konakçıdan özümseyebilirler [26]. Optimum büyüme sıcaklıkları 28-30 °C'dir. Birçok farklı organizmada gelişebilen obligat, hem canlı hem de yapay besiyerlerinde gelişebilen fakültatif türleri de bulunur. Tüm suşlar kemoorganotrofturlar. Bu mikroorganizmalar katı kültürde bakteriyofajlar gibi, duyarlı bakteri ile birlikte oluşturdukları karışımın ekilmesi sonucu tek plak oluşumu meydana getirirlerken sıvı kültürde de optik yoğunlukta azalmaya sebep olurlar. Bu bakteriler çeşitli gram negatif

bakterilerin periplazmik boşluğu içinde farklı bir büyüme fazının varlığına sahiptirler [14]. Doğada başka bir bakterinin varlığına gerek duyularak çeşitli habitatlardan izole edilen bu organizma üyeleri insan, bitki ve hayvan için zararsız bakterilerdir.

Bu derleme çalışmasının amacı predatör vibroid mikroorganizmalardan BALOs'un izole edilebildikleri önemli habitatları ve bu habitatlarda bulunmalarının ekolojik önemini vurgulamak, ülkemizde predatör bakteriler hakkında henüz yeni başlayan çalışmalara, çalışmayı

planlayan araştırmacılara katkıda bulunmaktadır.

BALOs İzole Edilen Habitatlar

BALOs daha ziyade su ve toprakta yayılış gösterirler. Ancak deniz, körfez, deniz canlıları, tatlı ve tuzlu su göletleri, nehir ağzları, rizosfer, çeltik tarlası, insan ve hayvanların barsağı, kanalizasyon ve atık su arıtım sistemlerinden bu bakterilerin izole edildikleri bildirilmiştir [14 ve 58]. BALOs izole edilen bazı önemli habitatlar, izolasyonda kullanılan av mikroorganizmalarıyla birlikte Tablo 1'de gösterilmiştir.

Tablo 1. Doğal ve insan yapımı biyotoplarda BALOs izolasyonu (11)

Orijin	İzolasyon basamakları	Av organizma	BALOs pfu/gr veya ml	Kaynakça
Acı sularındaki istridye kabukları	Diferansiyel santrifüjleme	<i>Vibrio parahaemolyticus</i>	9.4x10 ² den çok	Kelley et all.1997
Sahil deniz ve su kültürü çiftliği	Filtrasyon	Çeşitli gram - bakteriler	0-3,8x10 ²	Pan et all.1997
Toprak ve kanalizasyon	Filtrasyon	<i>E coli</i> 0157:H7, <i>Salmonella</i> sp.	N.D.	Fratamico and Cooke, 1996
Çin lahanası rizosferi	Filtrasyon	<i>Pseudomonas fluorescens</i>	10 ⁵ den çok	Elsherif and Grossmann, 1996
Sucul bitki yüzeyleri	Diferansiyel santrifüjleme	<i>Vibrio parahaemolyticus</i>	1.2x10 ² den çok	Williams et all. 1995
Mavi yengeç solungaçları	Diferansiyel santrifüjleme	<i>Vibrio parahaemolyticus</i>	2x10 ³	Kelley and Williams 1990
Acı gelgit göleti; tuzlu su akvaryumu	Doğrudan ekim	<i>Vibrio parahaemolyticus</i>	40; 10 ²	Schoeffield and Williams 1990
İnsan yapımı su gereçleri	Yoğunlaştırılmış örnek	<i>Legionella</i> spp.	Pozitif, belirtilmemiş	Richardson 1990
Pirinç tarlası, Japonya	1,2µm filtrasyon	<i>Xanthomonas oryzae</i>	0-10 ³	Uematsu, 1980
Nehir suyu, İngiltere	Sonuna kadar seyreltme	<i>E.coli</i>	0-3x10 ³ ; 2x10 ⁴ -5x10 ⁴ (kirlili)	Fry and Staples, 1976
Osaka Körfezi, Japonya	Belirtilmemiş	<i>Vibrio parahaemolyticus</i>	2x10 ⁴ -1,5x10 ⁶	Miyamoto and Kuroda, 1975
Oahu adası, Hawaii, USA	Filtrasyon	Çeşitli Gram - bakteriler	1-2x10 ²	Taylor et al. 1974
Kanalizasyon, İngiltere	Homojenizasyon	<i>Achromobacter</i> spp.	9x10 ²	Staples and Fry, 1973
Toprak, Avustralya	Filtrasyon	<i>Rhizobium</i> spp., <i>Agrobacterium</i> spp.	2-1,2x10 ³	Parker and Grove, 1970
Toprak, USA	Doğrudan ekim	<i>E.coli</i>	4,5x10 ⁴	Klein and Casida, 1967
Toprak, USA	Filtrasyon	Çeşitli Gram - bakteriler	4x10 ¹ -2x10 ²	Stolp and Starr, 1963

BALOs izolasyonlarında av olarak genellikle *E.coli* kullanılmıştır [7 ve 20]. Fakat izolasyon yapılan habitatın özelliğine göre bazen avın değiştirildiği görülmektedir. Rizosferden izolasyonda *Xanthomonas oryzae*, *Pseudomonas glycinea*, *Pseudomonas fluorescens*, *Rhizobium* spp. ve *Agrobacterium* spp.; tatlı-tuzlu su göletlerinden ve su canlılarından izolasyonda *Aeromonas hydrophila*, *Vibrio parahaemolyticus*, *Legionella* spp.; kanalizasyondan izolasyonda *Achromobacter* spp., *E. coli* ve *Salmonella* spp., *Caulobacter crescentus* kullanıldığı bildirilmiştir [7, 21, 50, 58].

BALOs, çok geniş ve spesifik olmayan hücrelerde predasyon göstermektedir. Bu bakterilerin litik özelliklere sahip olması ekolojik sistemde önemli bir rol oynamaktadır. Çok farklı ve değişik cinsten bulunan gram negatif bakterilere saldırabilirler. Bu patojenik gram negatif bakterilerin bazılarının insanları enfekte ettiği, bunun yanı sıra aralarında hayvan ve bitki patojenlerinin de olduğu kanıtlanmıştır [3]. Bu avcı bakteriler, birçok insan ve hayvan patojeni bakteriyi av olarak kullanma yetenekleri yüzünden "yaşayan antibiyotikler" olarak adlandırılmaktadır [30 ve 44]. Stolp ve Starr tarafından 1963'de yapılan çalışmada *Bdellovibrio bacteriovorus türünün*; *Erwinia amylovora*,

Erwinia carotovora, *Corynebacterium insidiosum*, *Corynebacterium poinsettiae*, *Agrobacterium tumefaciens*, *Bacillus polymyxa*, *Bacillus megaterium*, *Bacillus subtilis*, *Agrobacterium radiobacter*, *Escherichia coli*, *Aerobacter aerogenes*, *Pseudomonas polycolor*, *Acetobacter aceti*, *Staphylococcus aureus*, *Proteus mirabilis*, *Caulobacter* sp., *Pseudomonas aeruginosa*, *Arthrobacter atrocyaneus*, *Serratia marcescens*, *Sarcina lutea*, *Bacterium stewartii*, *Streptococcus lactis*, *Lactobacillus casei*, *Aeromonas* sp., *Rhizobium leguminosarum*, *Corynebacterium michiganense*, *Protaminobacter rubrum*, *Pseudomonas solanacearum*, *Aerobacter cloacae*, *Pseudomonas caryophylli*, *Rhodospirillum rubrum*, *Pseudomonas phaseolicola*, *Pseudomonas tabaci*, *Pseudomonas fluorescens* gibi insan, hayvan ve bitkilerde patojen olabilen veya bazı ortamlarda saprofitik olarak yaşayan türlere karşı predasyon yapabildiği gösterilmiştir [46]. Benzer çalışmalarla BALOs'un çeşitli bakteri türlerine karşı predasyonunun incelendiği anlaşılmaktadır [3, 4, 17, 29]. Bu araştırmaların sonuçları BALOs'un biyokontrol ajan potansiyeline sahip olduğunu göstermektedir.

BALOs Dağılımını Etkileyen Ekolojik Faktörler

BALOs yaygın olarak dağılım gösterdikleri coğrafik

bölgelerden ve bir çok ekosistemlerden elde edilmişlerdir. Çevresel örneklerle gerçekleştirilen moleküler biyolojik çalışmalar yeni BALOs klonlarının ortaya çıkarılmasında önem arz etmektedir [15]. Ancak her ekosistemde bu bakterilerin tüm suşlarının varlığı düşünülemez. Bazı ekosistemlerin fiziksel, kimyasal ve biyolojik özelliklerinin tabiatı BALOs'un bazı tiplerini dışlamakta, bazılarının ise sayıca artışına yol açmaktadır. Örneğin tatlı su ve topraklarda bulunan (F/T grubu) BALOs tolerans azlığı nedeniyle düşük tuz konsantrasyonlu ekosistemlerle sınırlı yayılma gösterirler.

Tuzlu su Ekosistemleri

Amerika'nın Maryland Eyaletindeki Gunpowder Nehrinin su tuzluluğunun tatlı ($\leq 0,3$) ve tuzlusu ($\geq 0,5$) arasında dalgalandığı bir bölgeden alınan örneklerle yapılan çalışmada hem F/T grubu, hem de tuzlu su BALOs'u üretilmiştir [58]. Ancak tatlı su girişi yakınlarındaki deniz habitatlarında tatlı su BALOs'unu belirleme girişimlerinin başarısız olduğu rapor edilmiştir [48]. Denizel veya halofilik BALOs tuzlu su sistemlerinde yaygın olarak bulunur. Tuzlu su çevrelerinde gerçekleştirilmiş en eski BALOs çalışmaları okyanus ve denizlerden alınmış örneklerdir. Örnekler aynı su kütesinde bulunan tek bir bölge veya sınırlı sayıda bölgelerden alınmıştır. Deniz çevrelerinde BALOs'un ilk ve en kapsamlı çalışmalarından biri Pasifik Okyanusunda gerçekleştirilmiş olup keşfedilen BALOs'un sayısı (≤ 1 plak oluşturan birim (pfu)/ml su örneği) düşüktür [49]. Shilo tarafından Akdeniz'de gerçekleştirilmiş nümerik çalışmalarda bu bakteriyel predatörlerin 40-50 pfu/ml gibi yüksek bir sayıda olduğu gösterilmiştir [41]. Bu çalışmaların her ikisinde de su örnekleri kültüre alma öncesi mikrobiyal kontaminantları indirmek için filtrasyonla işlenmiş, örnekteki BALOs sayısı bu nedenle indirgenmiş olabilir. Su örnekleri BALOs sayısını indirgeyen metodlar uygulanmadan kültüre alındığında, tipik olarak predatörlerin nehir ağızlarında okyanus sahillerindeki suların daha yaygın oldukları açığa çıkmaktadır [58]. 1970'lerin sonrasında dünyanın geniş ve en üretken nehir ağız sistemlerinden olan Amerika'nın Atlas Okyanusu'na bakan Chesapeake Körfezi'nde BALOs'un dağılımı hakkında çalışmalar başlatılmıştır. Bu BALOs'un tuzlu sulardaki ilk kapsamlı coğrafik, nehir ağızında mekan ve zamana bağlı dağılımlarla ilişkili çalışmasıdır. Bulgular tuzluluğun ılımlı seviyede olduğu halinin orta bölgesinde elde edilen BALOs'un daha fazla sayıda olduğunu göstermiştir [52 ve 56]. Su kolonundaki BALOs yoğunluğu değişimleri Williams tarafından araştırılmış, su-hava yüzeyi mikro tabakasının su kolonunda en büyük BALOs konsantrasyonu (ml'de 10^6 plak oluşturan birimden fazla) içerdiği rapor edilmiştir [54]. Avustralya'da Büyük Engel Resifi'nde, tropikal deniz habitatlarından farklı üç çevrede suyun 1 m'sinde BALOs'un dikey dağılımında farklılıklar gözlemlenmiştir [48]. Mile Nehri ve Avustralya Sahilleri örnekleri arasındaki BALOs dikey dağılımındaki farklılıklar, muhtemelen iki bölgedeki BALOs özelliklerindeki ve/veya iki bölgenin çevresel özelliklerindeki farklılıklardan kaynaklanmaktadır.

2000 yılından önceki çoğu çalışmada elde edilen farklı türler veya suşlar arasında, özel tiplerin ayırd edilmesinde pratik, güvenilir, genetik veya biyokimyasal metodlar henüz bilinmediği için, farklılık olmadığı düşünülüyordu. Tuzlu su BALOs'u arasında bile özel genotipler veya suşlar henüz bilinmiyordu. Spesifik suşları ve dağılımlarını daha iyi tanımlamaya yönelik çabalar daha sonraki yıllarda başlatılmıştır [1, 34, 43].

Tatlı su ve Toprak Ekosistemleri

Bu ekosistemlerindeki BALOs %0,5'in üzerindeki tuz konsantrasyonlarına tolerans göstermediklerinden tatlı su, toprak ve kanalizasyon sistemlerinde bulunur, tuzlu sularda bulunmazlar. Özellikle nehirlerden izole edilen BALOs konsantrasyonu su kirliliğiyle ilişkilidir. Suyun yerleşim

sahalarına yakınlığına göre kirlilik ve BALOs sayısı artar. Ancak kuyu sularında bu bakteriler pek gözlenememiştir. BALOs'un tatlı sulardaki dağılımı Güney Galler'deki Ely Nehri'nde yürütülen çeşitli çalışmalarda ele alınmıştır. Nehrin atık su tesislerinden gelen atık kanalizasyon sularıyla kirlendiği düşünülmektedir [8, 9, 45].

Nehir sedimentlerinde BALOs dağılımıyla ilgili fazla çalışma bulunmamaktadır. Güney Gallerin yedi nehrinin sedimentlerindeki BALOs dağılımı, av olarak *Achromobacter* sp. kullanıldığında $5,5 \times 10^2 - 2,9 \times 10^4$ pfu/g olarak rapor edilmiştir [9]. Nehir suyu için rapor edildiği gibi, kirlenmiş nehir sedimentleri, kirlenmemiş sedimentlerine nazaran daha çok predatöre sahiptirler. Diğer taraftan predatörlerin aerobik olmaları sedimentlerin havayla temas eden üst kısımlarıyla sınırlı bulunmalarının muhtemel nedenini açıklar.

Sucul sistemlerde olduğu gibi BALOs topraklarda her yerde bulunur. Toprakta BALOs izolasyonu için av olarak *E. coli* suşları, *Azospirillum brasilense*, *Rhizobium* sp. dahil, bir dizi bakteri başarılı şekilde kullanılmıştır. Birleşik Devletleri'nin orta ve doğusundaki yerleşim bölgelerinden alınan 23 toprak örneğinin tamamından BALOs izole edildiği bildirilmiştir [20]. Bu çalışmada iki örnek bir belediye kanalizasyon atık işleme tesisinin atık sularıyla sulanan tarım alanından ve biri kanalizasyon işleme atık sularının döküldüğü bir derenin kıyısından alınmıştır. Bu bölgelerdeki sayımlar gram toprak başına $5 - 7 \times 10^4$ pfu arasında değişmektedir. İşlenmemiş kontrol örnek verimi 1×10^4 olarak belirlenmiştir. Diğer bölgelerdeki topraklardan izole edilen BALOs sayıları sırasıyla göl kenarı çimenlikleri ve çamlık alanlarda $< 1 \times 10^3$ pfu/g'dan 9×10^4 pfu/g olarak belirlenmiştir. İki toprak izolatu BALOs predasyon seviyesi tespiti için 25 *E. coli* serotipi ile topraktan ve diğer substratlardan izole edilmiş bakterilerden oluşan bir dizi bakteriyle test edilmiştir. İzolatlar test edilen 25 *E. coli* serotipinin hepsini avlayıp lizise uğrattığını gözlemlenmiştir. Diğer bakteriler için 2 BALOs izolatu, bir izolatu denenen 3 *Pseudomonas* türünü avlamasına karşın diğerinin avlamaması dışında aynı predasyon kalıbını vermiştir.

Yukardaki çalışmadan sonra Avustralya, Uganda, İsrail, Kanada ve Brezilya'da benzer çalışmalar yapılmıştır [58]. *Azospirillum brasilense* kullanılarak Brezilya topraklarından elde edilmiş BALOs izolatlarına duyarlılıkları bu bakteriyle birlikte *Pseudomonas fluorescens* ve *E. adhaerens* gibi birkaç bakteriyle denendiğinde bu bakterinin tercih edilen av olduğu, diğerlerinin dirençli oldukları rapor edilmiştir. İzolasyonda zenginleştirme tekniği kullanılmıştır. Sucul ortamlardan izolasyon çalışmalarında olduğu gibi topraktan predatörlerin izolasyonu ile ilgili kayıtlar herhangi bir karakter veya taksonomik ayırım olmaksızın tüm plak oluşturan birimler olarak predatörlerin kitlesel sayısını belirtmektedir [10].

İsrail toprak ve rizosfer örneklerinden farklı av bakteriler kullanarak izole edilmiş birkaç BALOs, oldukça farklı av duyarlılık şablonu açığa çıkarmıştır. Aynı toprak örneklerinden elde edilen pfu'ların sayısı av olarak kullanılan bakteri suşuna bağlı olarak değişiklik göstermiştir. *A. tumefaciens* ve *P. carotovorum* subsp. *carotovorum* av olarak kullanıldığında gram toprak başına BALOs sayısı sırasıyla $0,3 \pm 0,09 \times 10^3$ ila $5,2 \pm 0,85 \times 10^3$ arasında bulunmuştur. Rizosferden bildirilen BALOs sayısı av olarak *P. corrugata* kullanıldığında $23 \pm 1 \times 10^3$ pfu/gr'dır. Moleküler ve kültür tabanlı metodlar kullanıldığında toprak izolatları arasında üç farklı BALOs popülasyonu ortaya konmuştur. Bu toprak BALOs arasındaki çeşitliliğin ilk geniş kapsamlı rapordur [13]. Topraklarda tuzlu su BALOs'un varlığı pek bilinmemekte ise de son günlerde tuzlu bir topraktan deniz BALOs'u ile bir arada incelenen bir *Bacteriovorax* suşunun izole edildiği rapor edilmiştir [5].

İnsan Yapımı Su ve Lağım Sistemleri

Ham kanalizasyon sıvısı, aktive edilmiş çamur ve atık çamurda BALOs popülasyonlarının varlığı bilinmektedir. BALOs'un muhtemel kaynaklarından biri kanalizasyon sistemine giren insan ve hayvan dışkı materyalidir. Ayrıca lağım sistemi boruları ve tanklarına çevredeki sular ve topraktan predatörler girişi yapabilirler ve kanalizasyonda bulunan farklı bakteri suşlarının zengin bolluğunda hızla çoğalabilirler. Kanalizasyon sıvısında BALOs'un bol olduğu, sayılarının 900 pfu/ml'ye ulaştığı bildirilmiştir [45]. BALOs aynı zamanda insan yapımı su dağıtım sistemlerinde ve akvaryumlarda da belirlenmiştir. Duş üniteleri, soğutma kuleleri, evsel ve endüstriyel su sistemleri, kondansör/kompresörler, hastane kaloriferleri, dişçilik üniteleri ve diğer sistemler dahil 81 kaynaktan elde edilmiş 135 su örneği incelenmiş, örneklerin %57,8'inden BALOs izole edilmiştir. Çalışmada *Legionella pneumophila* tek av olarak kullanıldığından BALOs izolasyonunda diğer bakterilerin etkinliği için karşılaştırma olanağı bulunamamıştır [35]. BALOs izole edilen kaloriferlerin bu çalışmada 70 °C'den yüksek su sıcaklığı sağladığı belirlenmiştir. Bu durum BALOs için rapor edilen 30-35 °C'lik büyüme aralığını hayli aşmaktadır. Ancak bilindiği üzere kalorifer sistemlerinde ısının elde edildiği merkezden uzak noktalarda yüksek sıcaklıklara ulaşılamaz. Dişçilik ünitelerinin su dağıtım sistemlerinde BALOs'a uygun DNA klonlarının tespit edildiği bildirilmiştir [42]. Büyük olasılıkla bu sistemlerde BALOs'un doğrudan kaynağı ya gerekli suyun geldiği hazne veya boruların iç çeperinde yapılmış biyofilmlerdir. BALOs'un akvaryum tanklarında da buldukları görülmüştür [55]. Baltimor'daki Ulusal Akvaryumun üç farklı tankında BALOs varlığı kaydedilmiştir. Bütün akvaryum tankları muhtemelen BALOs içermeyen yapay deniz suyu ile doldurulmuş olmasına rağmen büyük olasılıkla tanklara yerleştirilen ahtapot, istakoz, köpek balığı, mercanlar gibi deniz canlılarından bulaşmıştır.

Biyofilm Ekosistemi

Biyofilm, BALOs'un yüksek miktarlarda buldukları bakteri topluluğunu temsil eder. Sucul sistemlerde BALOs belirlenmesi ve dağılımı çalışmalarının çoğunluğu su kolonu hedefine sahiptir. Bununla beraber su kolonundan başka biyofilm gibi sucul habitatlar da muhtemel BALOs aktivitesi ve çoğalması için optimal ekosistemlerdir. Biyofilmlerde BALOs belirlenmesi ilk kez Kelly ve ark. tarafından rapor edilmiştir [19]. Çalışmada Patuxent Nehrinde (Maryland, ABD) asılı bir sepetten alınan istiridye kabuklarının yüzeyindeki iyi gelişmiş epifaunadan hazırlanmış biyofilm süspansiyonları *Vibrio parahaemolyticus* av olarak kullanılarak doğrudan plakalanmayla predatörler elde edilmiştir. Biyofilmler BALOs için bakteri ve besince zengin kaynaklardan biridir. Predatörler için olumsuz çevre koşullarında biyofilm tabakası içinde korunarak canlılığını sürdürebilmek gibi diğer faydalar sunar. Kış aylarındaki soğuk peryotlarda su kolonunda bu organizmalar nadiren belirlenirken, biyofilmlerden BALOs elde edilmektedir [19]. Su fiskiyelerinin yumuşak dış yüzeyine yapılmış biyofilm incelenmiş ve çok sayıda BALOs barındırdıkları ortaya konmuştur. Daha sonraki bir çalışmada doğal nehir suyuna daldırılmalarını müteakip 30 dakika içinde önceden sterilize edilmiş cam yüzeyler ve kabuklarda BALOs tespit edilmiştir [19]. Bu veriler göstermektedir ki, sucul sistemlerde bir çok bakteri gibi BALOs serbest yüzmektense yüzeylerde birikmeyi tercih etmektedirler. Benzer çalışmaların sonuçları sucul hayvanların ve batık objelerin yüzeylerindeki biyofilm örneklerinde ve yüzey suyu mikrokatmanında yüksek sayıda BALOs bulunduğunu göstermektedir [58].

Hayvanlarda BALOs

Hayvanlarda BALOs kolonizasyonu ilgili ilk çalışma kurbağalarda Westergaard ve Kramer tarafından yapılmış, başarısızlıkla sonuçlanan bu çalışma adı geçen hayvanların

sindirim sisteminde BALOs varlığına dair şüpheleri ortaya koymuştur [51]. Kelley ve Williams, Maryland mavi yengeci (*Callinectes sapidus*)'nin barsaklarından sadece az sayıda BALOs izole edebilmişlerse de predatör bakterilerin yüksek miktarı hayvanların solungaçlarından elde edilmiştir. Yengeç solungaçlarının elektron mikroskopik görüntüleri BALOs'un çoğalmaları için uygun bakterilerin oluşturduğu yoğun bir biyofilmin varlığını ortaya koymuştur. Predatörler sadece doğal ortamlarından toplanan taze yengeçlerde (yaş dokunun gramı başına 14,8±24,2 pfu) değil, aynı zamanda deniz ürünleri marketlerinden satın alınanlarda da (yaş dokunun gramı başına 19,2±13,1 pfu) belirlenmiştir [18]. Schwudke ve ark., bazı hayvanların barsaklarından elde edilen BALOs izolatlarının karakterizasyonunu rapor etmişlerdir [40]. Görünüşe göre hayvan barsak sistemlerinde yüksek sayıda bakteri olmasına rağmen BALOs'un büyümesi için uygun olmayan bazı engelleyici faktörler mevcuttur. Bu faktörler arasında uygun olmayan sıcaklık, engelleyici kimyasallar veya toksinler, vs. sözkonusu olabilir. İnsanlar ve diğer hayvanlardaki BALOs hakkında daha ayrıntılı çalışmalara ihtiyaç vardır.

BALOs Dağılımının Seçici Determinantları

Her ne kadar BALOs çevrede adamakıllı yayılmış olsalar da bütün ekosistemler, habitatlar ve çevresel nişler bunları eşit miktarlarda barındırmadıkları gibi, çeşitli bölgelerden elde edilen suşlar ve sayıları bakımından oldukça geniş farklılıklar sözkonusudur. Bu ifade her ekosistemde özel predatör suşları için seçici veya destekleyici faktörlerin bulunmadığını düşündürmektedir. BALOs sayısını ve dağılımını etkileyen faktörler muhtemelen çok çeşitli ve karmaşıktır. Bu faktörler arasında besin kaynağı, oksijen, sıcaklık ve tuzluluk öncelikli gelir. Ayrıca engelleyici kimyasallar veya toksinler de etkili olmaktadır.

Dünyanın en geniş ve en üretken nehir ağzı sistemlerinden biri olan ABD'nin doğu sahillerindeki Chesapeake Körfezi'nde yapılan çalışmalarda sadece haliç ekosistemlerine dayalı BALOs'un farklı popülasyonları ortaya konmuştur. Bu gözlem haliç ekosistemlerinin özel predatör suşları için seçici olan veya destekleyen faktörlerin okyanus ve deniz çevrelerinde olmayabildiğini veya belki de haliç genotiplerinin okyanus çevresinde canlı kalamadığını veyahut okyanuslar, denizler ve tuz gölündeki genotiplerle rekabet edemediğini akla getirmektedir [57].

Tüm biyotada olduğu gibi BALOs dağılımını etkileyen en belirgin ve en önemli faktörlerden biri besin kaynağıdır. Tipik olarak predatörlerin avlarının bol olduğu yerlerde daha yoğun olması beklenir. Yüksek BALOs sayıları yüksek av popülasyonlarının bulunduğu bölgelerde olur. Bilindiği kadarıyla yabancı tip BALOs'un tek besin kaynağı av bakterileridir. Çalışılan çoğu BALOs suşunun geniş bir av aralığına sahip olduğu ve çoğu ekonoşe muhtemelen bulunan gram negatif bakterilerin çok farklı türlerini besin kaynağı olarak avlayabildikleri sözkonusudur. Ancak besin bolluğu farklı ekosistemlerde değişmektedir. Mesela, küçük kıyılar, nehirler ve göllerin sahil arazisinde bu bakterilerin sayıları açık okyanus sularından kitlesel olarak büyüktür. Nitekim Chesapeake Körfezi sularında okyanus sularınınkinden 1000 kat daha fazla BALOs rapor edilmiştir [57].

Yüksek sayıda BALOs'un seçilmesinde etkili olan diğer bir önemli faktör bakteriyal komünitelerin kompozisyonudur. Bütün bakteriler bütün BALOs suşlarına duyarlı olmadığı gibi predatörlerle ona duyarlı bakteriler arasında bile predasyonları için tercih nedenleri olabilir. Bu durumda bakteriyal topluluklardaki organizmaların kompozisyonu BALOs popülasyonunun hem niteliksel hem sayısal özelliklerini etkiler. BALOs suşlarının tercihli predasyonu laboratuvar ve arazi çalışmalarıyla ortaya konmuştur [36]. Tercihli predasyon çevresel izolatlarda da gözlenmiştir. ABD'nin Büyük Tuz Gölündeki BALOs'un

okyanus suyundan izole edilen bakterilerden ziyade gölden izole edilen bakterileri av olarak tercih ettikleri rapor edilmiştir [34]. Tercihli predasyonun kanıtı aynı zamanda farklı bakteriyel yapıya sahip toplulukların olduğu toprakta ve yakın rizosferde bildirilmiştir [13]. Araştırmacılar hem moleküler hem de kültürel yöntemler kullanarak BALOs popülasyonlarının iki habitatta farklılık gösterdiğini ortaya koymuşlar, restriksiyon analizleriyle toprak BALOs'unun iki ribotip olduğunu, halbuki rizosferden elde edilen predatörlerin *B. bacteriovorus* W'nin ribotipiyle aynı olduğunu göstermişlerdir.

BALOs'un coğrafik dağılımına ilaveten mevsimsel dağılım farklılıkları da söz konusudur. Mevsimsel dağılımlarıyla ilgili ilk bilgi Chesapeake Körfezi'nin bir alt halichi olan Patuxent Nehrinde yürütülmüş çalışmaların sonuçlarıdır [53]. Bu sonuçlara göre en çok sıcak aylarda BALOs elde edilmiştir. Hem su hem de sediment örneklerinde predatörlerin hem elde edilme frekansı hem de elde edilen predatörlerin sayıları geç yaz ve ilk soğuk aylarda belirgin bir şekilde yüksektir. Daha soğuk aylarda sayıları azalmış ve sıklıkla BALOs elde edilememiştir. Bütün mevsimlerde elde edilme sayıları ve bulunma frekansı sedimentte su kolonuna göre yüksek bulunmuştur. Su sıcaklığı ilkbahar ve yaz aylarında arttığından organizmaların çoğalmaları için şartlar uygun hale dönüşmekte, su kolonunda tekrar popülasyon oluşturulmaktadır. İlkbahar ve erken yaz aylarında su ısındığında gösterilmiştir ki, BALOs sayıları ilk önce sedimentte ve daha sonra su kolonunda artmaktadır [38]. Ayrıca çalışmalar BALOs'un 10 °C'nin daha aşağısında büyüme ve canlılık göstermediklerini ortaya koymuştur. Dolaylı bir etki olarak sıcaklık BALOs avları üzerinde etkili olabilir. *Vibrio parahaemolyticus* ve diğer *Vibrio* türleri BALOs için tercih edilen bir av olup, Chesapeake Körfezi'nde mevsimsel bir dağılım sergiledikleri belirtilmiştir [58]. BALOs popülasyonlarına mevsimlerin etkileri Avustralya'nın daha sıcak tropikal sularında Sutton ve Besant tarafından incelenmiştir. Yaklaşık ortalama su sıcaklığı çalışma bölgelerinde kışın 23 °C'nin altındaki bir sıcaklıktan, yazın 29 °C'nin üzerindeki sıcaklık aralığındadır. Bu Patuxent Nehri'nde ve Chesapeake Körfezi'nde tipik olarak görülen <2 °C'den 30 °C'ye değişen sıcaklıktan oldukça yüksektir. Chesapeake Körfezi'ndeki BALOs sayılarında 15-25 °C arasında artış gösterirken tropikal sularda 23 °C'de sayılar belirgin şekilde azalmaktadır [48]. Tropikal sulardan izolatlara ile Chesapeake Körfezi'nden elde edilenler arasındaki diğer farklılık büyüme sıcaklığı aralığıdır. Bütün tropikal izolatlarda 35 °C'de büyürken, laboratuvar ortamında ılımlı iklimten elde edilen suşlar tipik olarak 35 °C'de büyümüşlerdir. Bu veriler tropikal izolatlardan ılımlı iklimlerden olan izolatlardan aksine daha yüksek sıcaklıklara adaptasyon geliştirebildiklerini düşündürmektedir [58].

Yukarıda açıklandığı gibi tuzluluk tatlı su ve tuzlu su BALOs dağılımını yöneten büyük belirleyicilerden biridir. Alt popülasyonların dağılımı Chesapeake Körfezi'ndeki çalışmalarda gösterildiği gibi tuzluluk oranıyla kontrol edilmiş görünmektedir. Buna rağmen BALOs Chesapeake Körfezi'nin tüm bölgelerinden elde edilebilmiştir [56]. Farklı halich BALOs genotipi tuzluluğun <5 ppt ile 15 ppt aralığında olduğu halichin orta ve üst kuzey bölgesiyle sınırlı gibi görünmektedir. Güney alt körfezden ve ağız bölgesinde ki tuzluluk en yüksektir (20-30 ppt arasında) ve okyanus suyu etkisi en büyüktür. Bu bölge tipik olarak okyanus ve denizlerde bulunan BALOs genotiplerinin bulunduğu bölgedir. Tuzcul BALOs'un çoğunluğunun okyanus izolatlardan olduğu gözlemlenmiştir. Daha önce yüksek tuzlu tuzla havuzlarından elde edilen BALOs suşlarının okyanus suları yakınlarından elde edilen izolatlara gibi düşük tuzlulukta büyüme tolerans göstermedikleri gözlemlenmiştir [56]. Bu gözlemler Chesapeake Körfezi sularından izole edilmiş tuzlu su BALOs alt popülasyonlarının

dağılımında, tolerans ve azlığında büyüme, tuzluluğun rolünün önemini doğrulamaktadır. Her ne kadar tuzluluk Chesapeake Körfezi genotipi ayrımı için önemli seçici faktör olsada, okyanus çevrelerinden tür ve yoğunluğa farklı olan körfezler ve diğer halichlerde bakteriyel kompozisyonu etkileyen başka faktörler söz konusudur.

BALOs'un dağılımı muhtemelen oksijenin bulunabilirliğine de bağlıdır. Nitekim anaerobik koşullarda av hücreleriyle aşılandığında BALOs'un büyüyemediği rapor edilmiştir [39]. Nehir sedimentlerinin ancak 5 cm üstünde BALOs elde edilebilmiştir [9]. Ancak araştırmacılar BALOs'un kısıtlanmasını sedimentin üst bölgelerinde oksijen ihtiyacından ziyade koliformlar ve diğer gram negatif heterotrof bakterilerin yetersizliğine (12 cm aşağı derinlikte elde edilirler, 2 cm altında hafif azalır) bağlamışlardır. Maryland'daki Patuxent Nehri'nden elde edilen sediment örneklerinde benzer dağılım (BALOs sadece sedimentin 7.7 cm üstünde bulunur) rapor edilmiştir.

Toprak, rizosfer ve total kök ekstresindeki bakteriyel popülasyon farklılığı sıralanmış bölgelerde gözlemlenen farklı BALOs popülasyonlarının seçilmesinden sorumlu olabilir. Son çalışmalar dominant rizobakteriyel popülasyonların bitki büyümesiyle değiştiğini ve bunun da *Bdellovibrio* spp. rizosfer popülasyonlarını değiştirdiğini göstermiştir [12].

BALOs – Diğer bakteriler arası ilişkiler

BALOs'un avlarıyla fiziksel ilişkisi avın metabolik etkinliklerini felce uğratan ve onu hızla öldüren bir saldırıyla başlatılır. Başlangıçta ektoparazit ve bazı raporlarda hücre duvarını geçmeden avını lizise uğratan predatörlerin suşları olarak tanımlanmalarına rağmen çoğu BALOs intraperiplazmik özelliğindedir [59]. Predasyon predatörlerin enerji ve anabolizma için besin elde etmede tek bilinen mekanizması olduğu gibi BALOs'un hayat döngüsünün ve çoğalmasının canlı bir parçasıdır. Gram negatif bakteriler bu predatörler için bilinen tek besin kaynağıdır. BALOs'un bazı suşları gram negatif bakterilerin geniş bir spektrumu ile ilişkili olup onları avlamasına rağmen diğer suşlar sadece seçilmiş birkaç tür organizmayı avlar görülmektedir. Bununla birlikte bütün gram negatif organizmalar BALOs predasyonuna duyarlı değildirler. Laboratuvar ortamında hücre yapay ortamlarda veya hücre tipi gram negatif organizmalar dışında, ökaryotik hücreler dahil, olduğunda BALOs'u büyüme girişimleri başarılı olmamıştır. Bir bakteriyi BALOs'a duyarlı kılan veya predatörlerin bazı bakterilere saldırmasını ve diğerlerine saldırmasını sağlayan faktör nedir? Avı av olmayan hücrelerden ayırmak için BALOs'un bazı av tanıma mekanizmalarına sahip oldukları düşünülüyor ise de henüz durum tam açıklanamamıştır [58].

Diğer bakterilerle BALOs ilişkilerinin ilginç yönlerinden biri, doğada olduğu gibi bir çok av suş ve türler bulunduğu predatörlerin yanıtıdır. BALOs ve diğer bakteriler karışık popülasyon halinde iken predatörlerin herhangi bir tercihte bulunmadıkları, rastgele bir şekilde predasyonun ortaya çıktığı düşünülmüş ise de bazı araştırmacılar, BALOs'un çeşitli bakteriyel türlerine doğru yönlendirilmiş hareketini ölçen bir kemotaksi deney sistemi yardımıyla olayı denemişler, elde edilen veriler *Bdellovibrio*'nun av hücrelerini bulmak için kemotaksiden yararlanmadığını göstermiştir [47]. Ancak Lambert ve ark.'nın son çalışmasında, predatörlerin avlarına yönlendirilmesinde kemotaksinin küçük bir rol oynayabileceği öne sürülmüştür [24]. Karışık bakteriyel popülasyonlarında farklı avcı-av ilişkisi türler konusu olabilir. Bazı bakteriler predatör için orijinal av olmak için yarışırken, diğerleri predatörün predasyon aktivitesini artırmakta, ötekiler ise predasyon aktivitesini engellemektedir. Rogosky ve ark., BALOs'un hücreleri yıkanmış eşit miktarda *E. coli* ve *Pantoea agglomerans* (önceki adı *Erwinia herbicola*) hücre süspansiyonuna aşılandığında predatörün *Pantoea*'yı tercihen avladığını; karışık hücre süspansiyonları *E. coli*

ve *Serratia marcescens*, *E. coli* ve *Enterobacter* (sırasıyla) içerdiğinde BALOs'un *Serratia* ve *Enterobacter* hücrelerini tercih ettiğini bildirmiştir [36]. Diğer taraftan predatörlerin bağlanma hızında da farklılıklar gözlemlenmiştir. Örneğin *Pantoea agglomerans* türüne predatör çok hızlı bağlanmış (4 dk sonra predatör hücrelerin %91'i bağlanmaktadır), *Salmonella enterica* türü kullanıldığında (20 dk sonra predatörlerin sadece %12'si bağlanmaktadır) en düşük bağlanma yüzdesi sergilemiştir [36]. Veriler bağlanma veriminin predasyon verimi ile tutarlı olduğunu göstermiştir. Hızlı bağlanma daha çok tercih edilen av ile gerçekleşir. Bu çalışmaların sonuçları açıkça göstermektedir ki BALOs'un avlarıyla ilişkileri rastgele bir çarpışmayla başlatılmamakta, aksine rastlantısal olmayan bir mekanizmayla başlatılmaktadır, yani predatörler bazı av tanıma araçlarına sahiptirler.

Doğada BALOs rolü

Doğadaki BALOs rolü ilginç ve tartışmalı bir konudur. Predatör bakterilerle ilgili sunulan ilk rapor [46]'dan beri, doğada duyarlı bakteriyal popülasyonların kontrolünde bu organizmaların bir rol oynayabileceği, arzu edilmeyen bakterilerin biyolojik kontrolünün bir ajanı gibi bunlardan yararlanılabileceği tartışılıyordu. Her ne kadar fajlar bakterilerin öldürülmesinden sorumlu baş aktörler olarak dikkat çekiyor idiyse de, BALOs da önemli katkıda bulunuyorlardı. Son yıllarda yapılan birçok çalışmanın sonuçları, çevrede BALOs'un mikrobiyal komünitenin aktif, dinamik üyeleri olduğunu ortaya koymuştur [34]. Doğada BALOs yaygınlığı, sadece saldırdığı ve çoğaldığı bakteri popülasyonları üzerinde kontrol uygulayan, predatörler için potansiyel oluşturan av bakterilerini öldürmeleriyle açıklanabilir. BALOs'un predatör davranışı, av bakterilerle ve çevredeki birçok mikroorganizmaların predatörlere duyarlılıklarına bağlıdır. Halofilik BALOs için tercih edilen av *Vibrio* türleridir ve belki bu cins doğada predasyonla kontrol edilebilen tek genus olabilir [48].

BALOs'un bakteriyal mortaliteye katkısı bir çok faktöre bağlıdır. En kritik olan faktör bolluğudur. Diğer bir önemli gösterge buldukları habitatta duyarlı bakterilerin oranı ve tipidir. Bakteriyal mortalitede BALOs rolünün araştırılmasında, gıda ağı dinamikleri ve belirli ortamlarda komünite yapısının şekillenmesi, farklı suşlar veya türlerle ortaya konan predatör popülasyonda çeşitlilik dikkate alınmalıdır. Bu özel bir genotipin örneğiyle özel bir habitat olan Amerika'daki Chesapeake Körfezi ve bazı diğer haliçlerde gösterilmiştir [57].

Doğada BALOs'un rolü, bir yandan düzgün tasarlanmış çalışmaların eksikliği, diğer yandan çevresel örneklerde bu predatör bakterilerin kesin belirlenmesi, izlenmesi, sayılması ve tayini için gerekli araçların yokluğuyla ilişkili olarak araştırmacıların dikkatinden kaçmıştır. Acaba bakteriyal mortalitenin ne kadarı BALOs'a atfedilebilir? Hangi fonksiyonel gruplar daha etkili olabilir? Hangi etkileri çevresel işlemlerde besinlerin döngüsü, ekosistemlerin enerjisi ve ekosistem fonksiyonlarına dahil olan bakterilerle bir arada gerçekleşir? BALOs'un doğal çevredeki aktiviteleri üzerine ortaya atılan bu hipotezlerde şimdilik bazı veriler mevcuttur [58].

Biyolojik ve Çevresel Sistemlerde Bakteriyal Kontrol Ajanları Olarak BALOs

Predasyon av için ölümcül bir olay olduğuna göre predatörler biyolojik kontrol ajanları olarak ilgi çekicidirler. Hayvanlardaki enfeksiyonların azaltılmasında BALOs'un etkinlikleri hakkındaki çalışmaların ilk çarpıcı örneği 1972'de Nakamura tarafından gerçekleştirilmiştir. Araştırmacı *Shigella flexneri* ile enfekte tavşanların gözlerine *B. bacteriovorus* süspansiyonlarını inoküle ettiğinde enfeksiyonun tamamen ortadan kalktığını veya oldukça indirgenliğini gözlemlenmiştir [31]. Yakın tarihte Markelova tarafından yürütülen bir çalışmada ise ölümcül olabilen

kolera hastalığı etmeni *Vibrio cholerae* türünün kontrolünde *Bdellovibrio* suşlarının önemli bir potansiyele sahip olduğu, çevre ve halk sağlığını korumada bu bakterilerin kullanılabilecekleri gösterilmiştir [30].

Edao tarafından yürütülen bir tez çalışmasında insan ve hayvanların gastrointestinal yollarından alınan dışkı örneklerinde BALOs varlığı rapor edilmiş, bir çok farklı evcil hayvanların sağlık durumu ile predatör bakterilerin varlığı arasında bir ilişki olduğu, enteritik ve pnömonik hastalıklı hayvan popülasyonlarında BALOs'a rastlanma oranında belirgin bir düşüş olduğu ortaya konmuştur [6]. Bu predatörlerin *Pseudomonas*, *Pasteurella* ve *Campylobacter* gibi patojenik enterobakterileri kontrol yetenekleri sebebiyle barsak mikroflorasında etkili olabilecekleri düşünülmüştür [40]. Ancak bütün hayvan sindirim sistemlerinde durumun görünürde böyle olmadığı, BALOs'un intragastrik tüp yoluyla zorla beslenen hayvanların, balık ve kurbağaların barsak florasının bütünlüyci elemanlarından olmadığı gösterilmiştir. Araştırmacılar beslenme yolunda patojenik gram negatif bakterilerin BALOs tarafından tamamen lizisinin mümkün olmadığı kanısına varmışlardır [51].

BALOs aynı zamanda çevredeki bakterilerin sayısını azaltmada kullanılabilir. Pratik örneklere besin hazırlama ve tarımda kullanılan makineler dahildir. Domestik atık su tesisinin kirli atık suyunda gram negatif bakterilerin canlı sayısını predatörlerin önemli ölçüde azalttıkları kaydedilmiştir [25]. BALOs'un çevre ve kirli havuz, balık çiftliği ve akvaryumlar gibi sınırları belli sularda su kalitesinin artırılmasına yönelik potansiyeli dikkate değerdir [58].

Araştırmalar bu bakterilerin atık su tesislerinde kullanılan membran biyoreaktörlerindeki filtreler üzerinde oluşan biyofilm tabakasını yok ettiğini ve gram negatif bakterilerin sayısını azalttığını göstermiştir [17 ve 32]. Bir başka çalışmada ise bu bakterilerin deterjanlar, ağır metaller ve pestisitler gibi çevre kirleticilerini etkilediği görülmüştür [28]. Ekolojik açıdan tehlikeli kirletici maddelerin (üre, fenol, diüron ve kadmiyum iyonları) çeşitli konsantrasyonlarında bu bakterilerin fizyolojik aktiviteleri incelenmiş, kirleticiler varlığında elimine olmadıkları, aksine bu maddeler üzerinde fizyolojik etkileri bulunduğu gösterilmiştir [27]. Başka bir çalışmada ise bu bakterilerin bitki hastalıklarına yol açan bakterilerle mücadelede kullanılabileceği bildirilmektedir [50]. Bu da bizlere bu predatör bakterilerin başarılı predasyonunun, ileride endüstri, sağlık, tarım ve biyosavunmada verimli amaçlar için kullanılabileceğini göstermektedir.

SONUÇ VE ÖNERİLER

Her ne kadar BALOs'un zorunlu predatör oldukları varsayılmış ise de doğada ava bağlı olmadan varlıkları da gösterilmiştir. Bu olasılık reddedilmemeli, bu konudaki çalışmalar da teşvik edilmelidir. BALOs'un bakteri popülasyonlarını kontrolde kullanımı hakkında çevresel ve birkaç hayvan, bitki üzerindeki çalışmalar ümit vericidir; ancak sıcaklık, tuz konsantrasyonu, oksijen vb. diğer faktörlerin etkilerinin de dahil edildiği adamaklı tasarlanmış çalışmalara ve verilere ihtiyaç vardır.

Toksik kirleticilerin BALOs üzerindeki etkileri hakkındaki çalışmalar bu grup bakterilerin bunlardan pek etkilenmediklerini hatta bu gibi maddeleri parçalayabildiklerini ortaya koymuştur. Çevre kirliliğinin artılmasında yardımcı oldukları belirlenmiş ise de bu konudaki çalışmalar henüz yeterli değildir. Probiyotik ve terapötik ajan olarak BALOs'un değerlendirilmesiyle ilgili yapılan bazı çalışmalar ümitvari sonuçlara sahiptir. Ancak bu konulardaki çalışmalar arttırılmalıdır. İnsan, hayvan ve bitkilerdeki hastalık etmenleriyle savaşmada bunlardan yararlanılabileceği unutulmamalıdır.

Ülkemizde BALOs ile ilgili birkaç çalışma [32 ve 60] mevcut ise de bu çalışmalar kültür koleksiyon merkezinden edinilen bir suş ile gerçekleştirilmiş, atık sularda kirlilik giderimiyle ilgili çalışmalardır. Aslında BALOs ülkemizin değerlendirilmesi gerekli bir potansiyeli olarak görülmeli ve bu potansiyeli ortaya çıkaracak olan izolasyon çalışmaları başlatılmalıdır.

KAYNAKLAR:

- [1] Baer, M.L., Ravel, J., Piñeiro, S.A., Guether-Borg, D. and H.N. Williams. Reclassification of saltwater *Bdellovibrio* sp. as *Bacteriovorax marinus* sp. nov. and *Bacteriovorax litoralis* sp. nov. *Int J Syst Evol Microbiol* 54:1011–1016 (2004).
- [2] Clarke, K.J., Finlay, B.J., Vicente, E.L., Jorens, H. and M.R. Miracle. The complex life-cycle of a polymorphic prokaryote epibiont of the photosynthetic bacterium *Chromatium weissii*. *Archives of Microbiology*, 159: 498-505 (1993).
- [3] Dashiff, A., Junka, R.A., Libera, M. and D.E. Kadouri. Predation of human pathogens by the predatory bacteria *Micavibrio aeruginosavorus* and *Bdellovibrio bacteriovorus*. *J. Appl. Microbiology* 110:431-444 (2011).
- [4] Davidov, Y., and E. Jurkevitch. Diversity and evolution of *Bdellovibrio*-and-like organisms (BALOs), reclassification of *Bacteriovorax starrii* as *Peredibacter starrii* gen. nov., comb. nov., and description of the *Bacteriovorax-Peredibacter* clade as *Bacteriovoracaceae* fam. nov. *Int J Syst Evol Microbiol*, 54:1439-1452 (2004).
- [5] Davidov, Y., Friedjung, A. and E. Jurkevitch. High diversity of *Bdellovibrio*-and-like organisms (BALOs) in soil revealed by culture-dependent and culture-independent methods. *Environ Microbiol* 8:1667–1673 (2006).
- [6] Edao, A. Research on the occurrence and importance of *Bdellovibrio bacteriovorus* in the gastrointestinal tract of humans, animals as well as in the natural environment. Dissertation, University of Leipzig, Germany (2000).
- [7] Fratamico, P.M. and P.H. Cooke. Isolation of *Bdellovibrios* that prey on *Escherichia coli* 0157:H7 and *Salmonella* species and application for removal of prey from stainless steel surfaces. *J. Food Saf.* 16:161-173 (1996).
- [8] Fry, J.C. and D.G. Staples. The occurrence and role of *Bdellovibrio bacteriovorus* in a polluted river. *Water Res* 8:1029–1035 (1974).
- [9] Fry, J.C. and D.G. Staples. Distribution of *Bdellovibrio bacteriovorus* in sewage works, river water, and sediments. *Appl Environ Microbiol* 31:469–474 (1976).
- [10] Germida, J.J. Isolation of *Bdellovibrio* spp. that prey on *Azospirillum brasilense* in soil. *Can J Microbiol* 33:459–461 (1987).
- [11] Gromov, B.V. and K.A. Mamkayeva. Proposal of a new genus *Vampirovibrio* for chlorellavorus bacteria previously assigned to *Bdellovibrio*. *Microbiologia*, 49: 165-167 (1980).
- [12] Herschkovitz, Y., Lerner, A., Davidov, Y., Okon, Y. and E. Jurkevitch. *Azospirillum brasilense* does not affect population structure of specific rhizobacterial communities of inoculated maize (*Zea mays*). *Environ Microbiol* 7:1847–1852 (2005).
- [13] Jurkevitch, E., Minz, D., Ramati, B. and G. Barel. Prey range characterization, ribotyping, and diversity of soil and rhizosphere *Bdellovibrio* spp. isolated on phytopathogenic bacteria. *Appl Environ Microbiol* 66:2365–2371 (2000).
- [14] Jurkevitch, E. The Genus *Bdellovibrio*, Chapter 3.4.2, in: *Prokaryotes*, 7:12-30, DOI: 10.1007/0-387-30747-8_2 (2006).
- [15] Jurkevitch, E. and Y. Davidov. Phylogenetic Diversity and Evolution of Predatory Prokaryotes. In: *Predatory Prokaryotes-Biology, Ecology and Evolution*, Jurkevitch E, (ed), Springer-Verlag Berlin Heidelberg. pp 11-56 (2006).
- [16] Jurkevitch, E. Predatory Behaviors in Bacteria-Diversity and Transitions, *Microbe*, 2 (2): 67-73 (2007).
- [17] Kadouri, D., Venzon, N.C. and G. A. O'Toole. Vulnerability of Pathogenic Biofilms to *Micavibrio aeruginosavorus*, *Applied and Environmental Microbiology*, 73 (2): 605-614 (2007).
- [18] Kelley, J.I. and H.N. Williams. *Bdellovibrios* in *Callinectes sapidus*, the blue crab. *Appl Environ Microbiol* 58:1408–1410 (1992).
- [19] Kelley, J., Turng, B., Williams, H. and M. Baer. Effects of temperature, salinity and substrate on the colonization of surface in situ by aquatic *bdellovibrios*. *Appl Environ Microbiol* 63:84-90 (1997).
- [20] Klein, D.A. and L.E.Jr. Casida. Occurrence and enumeration of *Bdellovibrio bacteriovorus* in soil capable of parasitizing *Escherichia coli* and indigenous soil bacteria. *Can. J. Microbiol.* 13:1235-1241 (1967).
- [21] Koval, S.F., Hynes, S.H., Flannagan, R.S., Pasternak, Z., Davidov, Y. and E. Jurkevitch. *Bdellovibrio exovorus* sp.nov., a novel predator of *Caulobacter crescentus*. *International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology* 63:146-151 (2013).
- [22] Koval, S.F., Williams, H.N. and O.C. Stine. Reclassification of *Bacteriovorax marinus* as *Halobacteriovorax marinus* gen. nov., comb. nov. and *Bacteriovorax litoralis* as *Halobacteriovorax litoralis* comb. nov.; description of *Halobacteriovoracaceae* fam. nov. in the class Deltaproteobacteria. *International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology*, 65: 593-597 (2015).
- [23] Krieg, N.R. and J.G. Holt. *Bergey's Manual of Systematic Bacteriology*. Vol.1-4, Williams & Wilkins, Baltimore (1984).
- [24] Lambert, C., Smith, M.C.M. and R.E. Sockett. A novel assay to monitor predator-prey interactions for *Bdellovibrio bacteriovorus* 109 J reveals a role for methyl-accepting chemotaxis proteins in predation. *Environ Microbiol* 5:127–132 (2003).
- [25] Lambina, V.A., Ledova, L.A. and N.S. Situkhina. Participation of *Bdellovibrio* in sewage self-purification processes. Translated from *Mikrobiologiya* 50:140–146 (1981).
- [26] Madigan, M.T. and J.M. Martinko. *Brock Mikroorganizmaların Biyolojisi*, Çeviri Editörü: Çökmüş C., Palme Yayıncılık, ISBN: 9786055829629, (2010).
- [27] Markelova, N.Y. Effect of Toxic Pollutants on *Bdellovibrio*. *Proc. Biochem*, 37:1177-1181 (2002).
- [28] Markelova, N.Y. and I.A. Gariev. Predatory Bacteria *Bdellovibrio*: Survival Strategy. *Process Biochem.* 40 (3-4): 1089-1094 (2005).
- [29] Markelova, N.Y. Predacious bacteria, *Bdellovibrio* with potential for biocontrol. *International Journal of Hygiene and Environmental Health*, 213 (6): 428-431 (2010).
- [30] Markelova, N.O. The Potential of *Bdellovibrio* for the Biocontrol of the Infectious Agent *Vibrio cholerae*, *Avicenna J. Environ Health Eng.* 2 (2), e4541 (2016).
- [31] Nakamura, M.P.D. Alteration of *Shigella* pathogenicity by other bacteria. *Am J Clin Nutr* 25: 1441–1451 (1972).
- [32] Özkan, M., Çelik, M.A., Karagöz, P., Yılmaz, H. and Ç. Şengezer. Activity of *Bdellovibrio* on Sludge bacteria and its potential use for cleaning of Membrane Bioreactors, PH 02, *New Biotechnology, Environmental Biotechnology*, 31S,133. <http://dx.doi.org/10.1016/j.nbt.2014.05.1941> (2014).
- [33] Perez, J., Munoz, A.M., Torres, F.S.T. and J.M.

- Dorado. Bacterial predation: 75 years and counting. *Environmental Microbiology*, doi:10.1111/1462-2920.13171, 18(3), 766-779 (2016).
- [34] Pineiro, S.A., Sahaniuk, G.E., Romberg, E. and H.N. Williams. Predation pattern and phylogenetic analysis of *Bdellovibrionaceae* from the Great Salt Lake, Utah. *Curr Microbiol* 48:113–117 (2004).
- [35] Richardson, I.R. The incidence of *Bdellovibrio* spp. in man-made water systems: coexistence with legionellas. *J Appl Bacteriol* 69:134–140 (1990).
- [36] Rogosky, A.M., Moak, P.L. and E.A. Emmert. Differential Predation by *Bdellovibrio bacteriovorus* 109J. *Current Microbiology* 52 (2) 81-85 (2006).
- [37] Rotem, O., Pasternak, Z. and E. Jurkevitch. *Bdellovibrio* and Like Organisms. In: Rosenberg E, De Long E.F, Lory S., Stackebrandt E., Thompson F. (eds) *The Prokaryotes*. Springer Verlag Berlin Heidelberg, pp 3-17 (2014).
- [38] Sánchez-Amat, A. and F. Torrella. Isolation and characterization of marine and salt pond halophylic bdellovibrios. *Can J Microbiol* 35:71–778 (1989).
- [39] Schoeffield, A.J., Williams, H.N., Turng, B. and W.A.J. Falkler. A comparison of the survival of intraperiplasmic and attack phase bdellovibrios to reduced oxygen. *Microb Ecol* 32:35–46 (1996).
- [40] Schwudke, D., Strauch, E., Krueger, M. and B. Appel. Taxonomic studies of predatory *Bdellovibrios* based on 16S rRNA analysis, ribotyping and the *hit* locus and characterization of isolates from the gut of animals. *System Appl Microbiol* 24:385–394 (2001).
- [41] Shilo, M. Predatory bacteria. *Science J.* 2: 33-37 (1966).
- [42] Singh, R.O., Stine, C., Smith, D.L., Spitznagel, J.K., Labib, M. and H. Williams. Microb diversity of biofilms in dental unit water systems. *Appl Environ Microbiol* 69:3412–3420 (2003).
- [43] Snyder, A.R., Williams, H.N., Baer, M.L., Walker, K.E. and O.C. Stine. 16S rDNA sequence analysis of environmental *Bdellovibrio*-and-like organisms (BALO) reveals extensive diversity. *Int J Syst Evol Microbiol* 2089–2094 (2002).
- [44] Sockett, R.E. and C. Lambert. *Bdellovibrio* as therapeutic agents: a predatory renaissance? *Nat. Rev. Microbiol.* 2: 669-675 (2004).
- [45] Staples, D.G. and J.C. Fry. Factors which influence the enumeration of *Bdellovibrio bacteriovorus* and sewage and river water. *J Appl Bacteriol* 1–11 (1973).
- [46] Stolp, H. and M.P. Starr. *Bdellovibrio bacteriovorus* gen. et sp.n., a predatory, ectoparasitic and bacteriolytic microorganisms. *Antonie van Leeuwenhoek*, 29: 217-248 (1963).
- [47] Straley, S.C. and S.F. Conti. Chemotaxis by *Bdellovibrio bacteriovorus* toward prey. *J.Bacteriol.* 132 (2) 628-640 (1977).
- [48] Sutton, D.C. and P.J. Besant. Ecology and characteristics of *Bdellovibrios* from three tropical marine habitats. *Marine Biol.* 119: 313-320 (1994).
- [49] Taylor, V.I., Baumann, P., Reichelt, J.L. and R.D. Allen. Isolation, enumeration and host range of marine *Bdellovibrios*. *Arch. Microbiol.* 98:101-114 (1974).
- [50] Uematsu, T. Ecology of *Bdellovibrio* parasitic to rice bacterial leaf blight pathogen, *Xanthomonas oryzae*. *Rev. Plant Protec. Res.* 13:12-26 (1980).
- [51] Westergaard, J.M. and T.T. Kramer. *Bdellovibrio* and the intestinal flora of vertebrates. *Appl Environ Microbiol* 34:506–511 (1977).
- [52] Williams, H.N. Cultural, immunologic and ecologic studies of marine *Bdellovibrios* isolated from the Atlantic Ocean and Chesapeake bay. Dissertation, University of Maryland Health Science Library, Baltimore (1979).
- [53] Williams, H.N., Falkler, W.J. and D.E. Shay. Seasonal distribution of *Bdellovibrios* at the mouth of the Patuxent River in the Chesapeake Bay. *Can J Microbiol* 28:111–116 (1982).
- [54] Williams, H.N. The recovery of high numbers of *Bdellovibrios* from the surface water microlayer. *Can. J. Microbiol* 33:572-575 (1987).
- [55] Williams, H.N., Toon, S., Faulk, E. and W.A.J. Falkler. The incidence of *Bdellovibrios* in an artificial environment: The National Aquarium in Baltimore. *Can J Microbiol* 33:483–488 (1987).
- [56] Williams, H.N. A study of the occurrence and distribution of marine *Bdellovibrios* in estuarine sediment over an annual cycle. *Microb Ecol* 15:9–20 (1988).
- [57] Williams, H.N., Stine, O., Sahaniuk, G.E. and S.A. Pineiro. Diverse genotypes of halophilic *Bdellovibrionaceae* in oceans, seas, estuaries and a salt lake. Abstr of 2005 Meeting of Amer Soc Limnol Ocean The Oceanogr Soc.4 (2005).
- [58] Williams, H.N. and S. Piñeiro. Ecology of the Predatory *Bdellovibrio* and Like Organisms. In: *Predatory Prokaryotes Biology, Ecology and Evolution*, Edouard Jurkevitch (ed.), Springer Berlin Heidelberg, pp 213-248 (2007).
- [59] Yair, S., Yaacov, D., Susan, K. and E. Jurkevitch. Small eats big: ecology and diversity of *Bdellovibrio* and like organisms, and their dynamics in predator-prey interactions. *Agronomic* 23:433–439 (2003).
- [60] Yılmaz, H., Çelik, M.A., Şengezer, Ç. and M. Özkan. Use of *Bdellovibrio bacteriovorus* as Biological Cleaning Method for MBR Systems. 2nd International Conference on Emerging Trends in Engineering and Technology (ICETET) May 30-31, London, UK. p:192-196. <http://dx.doi.org/10.15242/IIIE.E0514531> (2014).