

3. BÖLÜM

MÜSİLAJ OLUŞUMUNDA BAKTERİYOLOJİK YAKLAŞIMLAR; MARMARA DENİZİ ÖRNEĞİ

Gülşen ALTUĞ, Pelin Saliha ÇİFTÇİ TÜRETKEN

İstanbul Üniversitesi, Su Bilimleri Fakültesi, Deniz ve İçsu Kaynakları Yönetimi Bölümü, İstanbul, Türkiye
E-posta: galtug@istanbul.edu.tr

DOI: 10.26650/B/LS32.2023.002.03

ÖZ

Dünyada farklı coğrafyalarda gözlenen müsilaj farklı deniz alanlarında yapılan çalışmalarla araştırılmış ve günümüze kadar müsilajın oluşum mekanizmaları fiziksel, kimyasal ve biyolojik nedenlerle ilişkilendirilmiştir. Ancak denizlerde müsilaj oluşumunun sebepleri ve değişken çevresel faktörlerle ilişkisi günümüzde halen farklı bilimsel veriler ışığında araştırılmakta ve tartışılmaktadır. Deniz ekosistem döngülerinde ve organik maddenin dekompozisyonunda önemli yeri olan bakterilerin özellikle küresel iklim değişimine bağlı değişkenlerin oluşturduğu stres sürecinde müsilaj oluşumu gibi özel çevresel koşullara verdikleri stres yanıtları denizel ekosistem işleyişinin anlaşılması açısından önem taşımaktadır. Bu nedenle müsilajı bakteriyel mekanizmalarla birlikte ele almak ve çalışmaların bakteri enzim mekanizmaları ile ilişkilendirilmesi müsilaj oluşumunun anlaşılmasında önem taşımaktadır. İnsan kaynaklı kirlilik girdilerinin tüm dünyada müsilaj oluşumunun ortak bileşeni olarak sunulması müsilaj-bakteri ilişkilerinin de başlangıç noktasını oluşturmaktadır.

Bu çalışmada mikrobiyal mekanizmaların çevresel faktörlere bağlı olarak değişkenliği konusunda elde edilen karşılaştırmalı verilerle, denizlerde müsilaj oluşumu konusunda ekosistem döngülerinin önemli bileşeni olan bakteriyel süreçlere tanımlama getirilmiştir. Yayılı ve noktasal farklı kirlilik kaynaklarına sahip Marmara Denizi'nde 2000 yılından bu yana tarafımızdan yapılan indikatör ve patojen bakteri, heterotrofik bolluk, bakteri kompozisyonu, bakteriyel metabolik aktivite, çözünmüş karbonhidrat, bakteri izolatlarının substratlara verdikleri yanıtlar ve katabolik reaksiyonları verileri ile Marmara Denizi'nde 2008, 2010 ve 2021 yıllarında gözlenen müsilajda tarafımızdan yapılan bakteriyolojik çalışmalar karşılaştırılmıştır. Bu tanımlamaya bağlı olarak müsilaj oluşumu ortamda organik maddeyi ayrıştırmaya uygun katabolik aktiviteye sahip bakteri miktarının azalması ile ilişkilendirilmiştir. Sonuçta Marmara Denizi'nde müsilajın oluşumunda bakteriyel ilişkilerin tanımlanmasıyla müsilajın olmadan önlenmesine yönelik, bakteriyel enzim yanıtlarına göre geliştirilecek çevre dostu biyolojik çözümlere dikkat çekilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Marmara Denizi, Müsilaj, Bakteri, Bakteriyel Metabolik Aktivite, Bakteri Bolluğu, Bakteri Kompozisyonu

1. Deniz Ekosisteminde Bakterilerin Önemi

Ekosistem döngülerinde önemli rolleri olan bakteriler sağlıklı bir deniz ekosisteminde sağlıklı mikroflora ve sağlıklı heterotrofik aktivite yoluyla denizlere giren organik ve inorganik atıkları diğer canlıların değerlendirebileceği formlara dönüştürürken, olumsuz gelişebilecek çevresel koşullara bağlı olarak ortam şartlarında köklü değişikliklere de yol açabilmektedirler (Azam ve Cho, 1987; Heissenberger ve diğ.,1996).

Mikroorganizmalar diğer canlı topluluklarına göre deniz biyolojisi alanında bilimsel literatüre geç girmiştir ve mikrobiyal ilk veriler üretilmeyen birçok alan mevcuttur. Günümüzde bilim insanları tarafından küresel iklim değişimine bağlı olarak mikrobiyal davranışların alarm belirtisi olarak kullanılabilmesi uyarısı mikrobiyal mekanizmaların önemini özetlemektedir (Cavicchioli ve diğ., 2019). Yeryüzünün en geniş yüzey yaşam alanına sahip mikroorganizmalar yüksek çeşitlilikleri nedeniyle küresel ekosistem için önemlidir. Örneğin mikroorganizmalar deniz ekosisteminde yüzeyde karbondioksiti bağlayarak denizin nefes alması yanında besin elementlerinin dolaşımına hizmet etmekte, sağlıklı küresel ekosistem için biyosferin yaşam destek ünitesi olarak görev yapmaktadırlar (Maloy ve diğ., 2016; Cavicchioli ve diğ., 2019).

Son yıllarda yeni teknoloji ve metotların özellikle moleküler tekniklerin kullanıldığı çalışmaların artmasıyla denizlerde besin zincirinde bakteriyel rollerin belirlenmesi ve heterotrofik aktiviteye yönelik bakteriyolojik mekanizmaların dolayısıyla deniz ekosistem işleyişinin anlaşılmasına yönelik önemli veriler sağlanmıştır (Taylor ve diğ., 2007; Bolhuis ve Cretoiu, 2016; Kumar ve diğ., 2019; Spang ve Offre, 2019; Ullah ve diğ., 2019; Catão ve diğ., 2019; Antunes ve diğ., 2019). Örneğin Karadeniz’de uzun yıllar anlaşılmasız oksijensiz tabakanın altında ölçülen azot fazlalığının nedeni ancak moleküler çalışmaların gelişmesi sonucunda kemoototrof Nitrosomonadaceae üyesi bakteri varlığının yüksek bulunması ile açıklanabilmiştir. Bakterilerin denizlerde ortam şartlarında önemli değişikliklere neden olması çevresel koşullara göre şekillenmektedir. Örneğin küresel iklim değişimine bağlı sıcaklık artışları biyolojik süreçlerin dışında su yoğunluğunu dolaylı olarak tabakalanma ve dolaşımı azaltmakta besin elementlerinin taşınımı bu durumdan etkilenmektedir. Atmosferik partiküller, akarsular, yağışlar, akıntılarla gelen besin maddesi girişleri de mikrobiyal toplulukların yapısını ve fonksiyonlarını etkilemektedir. Dolayısıyla çevresel faktörler ile ekosistem mekanizması arasındaki ilişkiyi çevresel faktörlere bağlı değişiklik gösteren bakteriyel topluluklar ve bakteriyel aktiviteye bağlı ekosistem fonksiyonları belirlemektedir. Sucul bakteriler, sıcaklık artışlarından en hızlı etkilenen organizma grubu olarak ekosistemi

tehdit eden unsurlara çabuk cevap vermeleri özellikleri açısından iklim değişikliğine bağlı sergileyecekleri stres yanıtlarına göre ekosistem işleyişine yönelik önem taşımaktadırlar. Bu verilere dayanarak deniz ekosisteminde bakterilerin özellikle küresel iklim değişimine yönelik uyarıların öne çıktığı koşullarda çevresel strese yönelik verdiği yanıtlar geleceğe yönelik verileri “geleceğin stres yanıtları” şeklinde sunmaktadır. Denizlere ulaşan organik maddelerin taşıdığı özelliklere bağlı olarak farklı mikrobiyal süksesyonlar mikrobiyal parçalanma sürecini yönetebilmektedir (Caruso, 2010; La Ferla ve diğ., 2005).

Denizel ortamlarda bulunan organik substrat ile bakteri bolluğu ve kompozisyonu arasındaki ilişkiler deniz ekosisteminin mikrobiyal işleyişini anlamamızda önemli veriler sunmaktadır. Denizel ekosistemlerin sürdürülebilir işleyişi organik madde döngüsündeki bakterilerin rolleri ile tanımlanmaktadır. Bu nedenle denizlerde müsilaj gibi oluşumlarda organik maddenin çözünmeden kalma nedeninin anlaşılmasında bakteriyel metabolik aktivite düzeyleri, bakteri kompozisyonu ve bolluğu, patojen bakteri dağılımı, ortam ekosistem döngülerinde rol alan bakterilerin substratlara verdikleri reaksiyonlara göre katabolik faaliyetlerinin tanımlanması önem taşımaktadır.

2. Müsilaj Oluşumunda Bakterilerin Rollerini; Marmara Denizi Örneği

İnsan kaynaklı kirlilik girdilerinin başında gelen evsel ve endüstriyel kökenli atıkların uzaklaştırılmasında dünyada uygulanan yaygın yöntem kirleticilerin seyreltme sağlaması amacı ile denizlere boşaltılmasıdır. Bu boşaltımın atık suların kirleticilerden arındırılması ile yapılması çevrenin korunmasını sağlarken, direkt boşaltım veya yetersiz arıtım sonrası boşaltım deniz ekosisteminin zarar görmesine neden olmaktadır. Başta tarım ve hayvancılık olmak üzere yayılı kaynaklı kirleticiler farklı meteorolojik ve coğrafi koşullar altında denizlere ulaşabilmekte kirletici kaynaklarda olan artışların ortamda azot fosfor gibi besin elementlerinin yükselmesine sebep olduğu bilinmektedir.

Mukuslu, partiküllü organik madde olarak bilinen (Precali ve diğ., 2005) deniz müsilajının farklı tanımlamaları yapılmıştır. Farklı denizel alanlarda Akdeniz, Batı Japonya, Tasman Körfezi ve Pasifik kıyılarında gözlenen (Alldredge ve Crocker, 1995; Fukao ve diğ., 2009; MacKenzie ve diğ., 2002; Danovaro ve diğ., 2009; Lancelot, 1995) müsilajın ilk kaydı 1729 yılı Adriyatik Denizi olarak yapılmıştır (Umani ve diğ., 2007).

Farklı biyotik ve abiyotik faktörlere bağlı olarak tanımlanan bu süreçlerde müsilajı tetikleyen koşullar olarak insan kaynaklı baskılar, iklimsel koşullar ve deniz suyunda bulunan besin elementi miktarlarında değişimler öne çıkmaktadır (Cozzi ve diğ., 2004; De Lazzari

ve diğ., 2008). Bu değişimler ortamda mikrobiyal doğal yapıya bağlı olarak bölgelere göre farklılık gösterecek bakteriyel yanıtlara bağlı süreçleri yani biyotik faktörlerin sonucunu oluşturmaktadır. Müsilaj içerisinde partiküllü organik maddelerin (polisakkaritlerin ve peptitlerin) büyük ölçüde salınımı bakteriyel aktivite için uygun bir ortam sunmakta olup bakteriler tarafından hızlı bir mikrobiyal bozunmayı beraberinde getirmektedir (Azam ve Long, 2001). Bakteriler tarafından hücre dışına salgılanan enzimler (ekso-enzimatik aktivite) burada devreye girmektedir.

Deniz ortamına giren besin elementlerinin milimetrik düzeyde ölü organizma parçaları, partiküler organik madde ve mikroorganizmalarla birlikte hareketi ile su kolonu boyunca doğal olarak deniz dibine doğru akması deniz çökelleri / deniz karı (marine snow) olarak tanımlanmaktadır. Normal koşullarda besin elementlerinin vertikal dağılımına katkı sunan heterotrofik aktiviteyi kuvvetlendiren bu oluşum bakteriyel aktivitenin mikrobiyal bozunmayı sürdürdüğü ve diğer organizmaların kullanabileceği formlara dönüştürdüğü organik maddenin ayrışması mikrobiyal mekanizmaları en iyi örnektir. Ancak su sıcaklığında artış, durağan su koşulları ve belirli trofik koşullar altında organik maddenin parçalanmasının yavaşlaması deniz karı denilen çökellerin birleşerek büyümesine, yüzergezer bir biyokütle olan müsilaj yapıyı oluşturmaya neden olmaktadır. Müsilajın verimli bir biçimde parçalanmasının sağlanması için yüksek oranda bakteri bolluğu gerekmektedir (Del Negro ve diğ., 2005). Milimetreden cm'ye değişen büyüklükte ve ölü organizma matriksi içinde çeşitli organizmalara ait partikülleri taşıyan (Silver ve diğ.,1978) deniz çökelleri sağlıklı mikrobiyal bozunma döngüsünün olduğu ekosistemlerde doğal süreç içinde oluşumlarını müsilaj gibi organik polimerlerin birikimi ile oluşan yapılara izin vermeyecek şekilde sürdürmektedirler. Mikroorganizmaların bu partiküllere tutunması (bağlı bakteriler) bakteri ile beslenen canlılar için besin kaynağı oluşturmaktadır. Bu oluşum içerisinde bulunan çözünmüş madde deniz suyundaki serbest bakteriler için de bir besin kaynağı oluşturmaktadır. Ancak besin elementleri, organik madde varlığı, bakteriyel kullanım ve bakteriyel bozunma arasındaki dönüşüm dengesinin bozulması farklı fiziksel, kimyasal ve biyolojik koşullar altında organik polimerlerin çözünmeden kalması durumuna yani müsilaj oluşumuna yönelik süreçleri başlatabilmektedir. Müsilajın başlangıcını hazırlayan bu süreç ortama giren besin elementlerindeki artışa bağlı olarak fitoplanktonun aşırı artışı, azot ve fosforda belirgin değişimlere bağlı polisakkarit sızması ile şekillenmektedir (Heissenberger ve diğ., 1996; Leppard ve diğ., 1996; Altuğ ve diğ., 2010a; Turk ve diğ., 2010; Altuğ ve diğ., 2021 a,b).

Aşırı artış gösteren fitoplanktonun ölümü ortama giren çözünmüş karbonhidrat yükünün artmasına katkı sağlarken (Urbani ve diğ., 2005), bakteriyel atıkların artışı ortamdaki

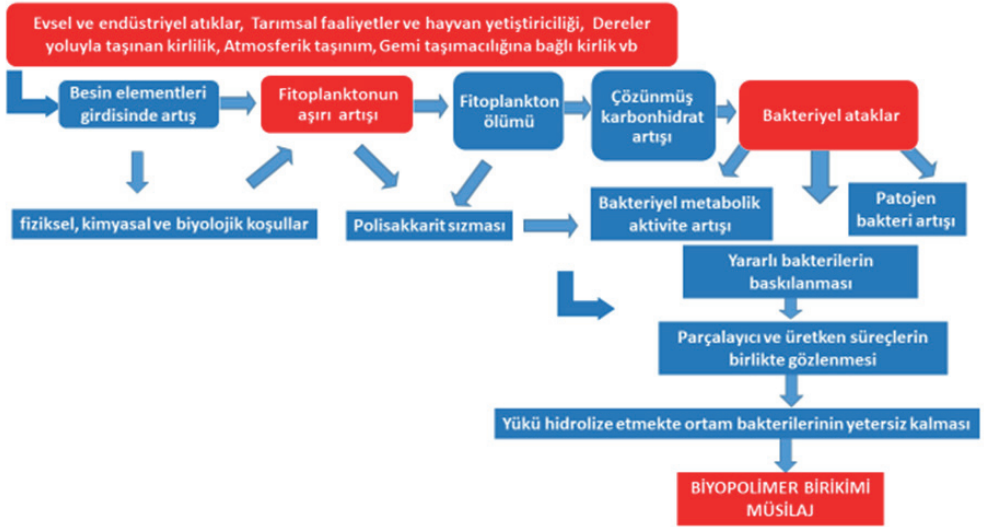
mukuslu yapıyı kuvvetlendirmektedir. Burada iyi gelişmiş bir bakteri topluluğunun kurulduğunu ve parçalayıcı ve üretken süreçlerin bir arada var olduğu görülmektedir (Schiaparelli ve diğ., 2003). Su kolonu içindeki tüm biyolojik ve kimyasal karaktere göre değişen yükü sünger gibi bünyesine toplayabilen bu yapı yüksek bakteriyel metabolik aktivite ile gerçekleşen bakteriyel ataklara maruz kalmasına rağmen ortamdaki organik maddenin ayrışmasında yetersiz kalmakta ve organik maddenin çözünmeden kalması ile başlayan müsilaaj yapının oluşumunu hazırlamaktadır. Bu durum yüksek bakteriyel metabolik aktivite varlığında elde edilen Marmara Denizi bakteriyolojik çalışma verileri ile Bölüm 3 de detaylandırılmıştır.

Su sıcaklığındaki artış ve su hareketliliği müsilaaj yapının oluşumunu hızlandırırken farklı fiziksel kimyasal ve biyolojik koşullar süreci belirlemektedir. Süreci etkileyen biyotik ve abiyotik koşullar farklı çalışmalarla rapor edilmiştir (Mecozzi ve diğ., 2005; Passow ve diğ., 2001; Verdugo ve diğ., 2004; Umani ve diğ., 2007; Turk ve diğ., 2010). Ortamdaki besin elementleri ve ani tuzluluk farklılıkları fitoplankton ve/veya bakteriyoplankton tarafından üretilen ekstraselüler sıvıların üretimi ile ilişkilendirilmiştir (Passow ve diğ., 2001; Simon ve diğ., 2002). Müsilaajın oluşum sürecinde mukuslu yapıyı artıran fitoplanktonun farklı türleri ve toksin üreten formların varlığı çalışmalarıyla gösterilmiştir (Radic ve diğ., 2005; Balkis ve diğ., 2013; Balkis-Özdelice ve diğ., 2021).

Heterotrofik bakteriler müsilaaj agregatlarının birincil hidrolizörleri olarak tanımlanmıştır. Müsilaajda heterotrofik bakteri ve patojen bakteri varlığına yönelik çalışmalar rapor edilmiştir. Adriyatik Denizi'nde müsilaaj içeren deniz suyu örneklerinde yüksek heterotrofik bakteri varlığı, bentik bölgede müsilaajda yüksek bakteriyel aktivite bildirilmiştir (Serratore ve diğ., 1995; Schiaparelli ve diğ., 2007; Giani ve diğ., 2005). Adriyatik Denizi başta olmak üzere farklı denizel alanlarda müsilaaj örneklerinde rapor edilen bakteri varlığı ve bakteriyel aktivite verileri (Serratore ve diğ., 1995; Danovaro ve diğ., 2005; Pugnetti ve diğ., 2005; Urbani ve diğ., 2005; Umani ve diğ., 2005, 2007; Zoppini ve diğ., 2005) müsilaajın verimli bir biçimde degradasyonunun sağlanması için yüksek oranda bakteri bolluğu gerektiğini desteklemektedir.

Benzer şekilde 2008, 2010 ve 2021 yıllarında Marmara Denizi'nde müsilaaj örneklerinde çevresindeki deniz suyundan alınan örneklere göre Bölüm 3' de detaylandırıldığı gibi yüksek heterotrofik bakteri ve indikatör bakteri varlığı bildirilmiştir (Altuğ ve diğ., 2010a; 2021). Bununla beraber, Marmara Denizi'nde bakteriyel mekanizmaya yönelik olası döngüyü, müsilaajın herhangi bir türün varlığına bağlı kalmaksızın gerçekleştiği, bu sürece farklı türlerin eşlik edebileceği, bu türlerin polisakkarit sızması veya hücre dışı salgılar gibi

metabolik karakterlerine bağlı olarak müsilaj artışına katkı sağlayabileceği ancak bu türlerin varlığının tek başına müsilaj oluşum sebebi sayılamayacağı, farklı fiziksel, kimyasal, biyolojik koşullar eşliğinde ortama giren besin elementlerindeki artışa bağlı fitoplanktonik artışta olan yükselme ve bu yükü hidrolize etmekte ortam bakterilerinin yetersiz kalması hipotezi ile tanımlanmaktadır (Şekil 1).



Şekil 1: Marmara Denizi'nde Müsilaj oluşumunu hazırlayan koşulların bakteriyel mekanizma ile olası ilişkisi

Şekil 1' de özetlenen döngü 2007-2008 yılında İzmit Körfezi'nde 2008 yılı Ekim ve Kasım aylarında Prens Adaları çevresinde ve Mart 2010 da Bandırma Körfezi'nde olmak üzere Marmara Denizi'nde görülen müsilaj ve çevresindeki deniz suyundan alınan örneklerde ve 2021 yılında Marmara Denizi'nde yoğun olarak daha geniş alanlarda gözlenen müsilaj örneklerinde yapılan heterotrofik aerobik bakteri, bakteriyel metabolik aktivite, indikatör bakteri, bakteri kompozisyonu ve çözünmüş karbonhidrat analizlerine yönelik veriler Marmara Denizi'nde müsilaj öncesi çalışmalarda elde edilen bakteriyolojik verilerle değerlendirilerek oluşturulmuştur (Altuğ ve Bayrak, 2003; Aktan ve diğ., 2008; Altuğ ve diğ., 2013; Altuğ ve diğ., 2010a, 2010b, 2010c; Çardak ve diğ., 2015; Hulyar ve Altuğ, 2020; Altuğ ve diğ., 2021a, 2021b). Şekil 1 de ortaya koyulan müsilajın bakteriyel mekanizma ile ilişkisi aşağıda başlıklar altında detaylandırılmıştır.

3. Marmara Denizi'nde Müsilaj ve Bakteriyel Metabolik Aktivite İlişkisi

Mikroorganizmaların yoğunlukları ve aktivitelerini etkileyen birçok çevresel faktör olduğu bilinmektedir. Deniz ortamında bakteriyel metabolik aktivite yüzdesi, ekosistem döngülerinde yer alan aktif bakteri düzeyini ifade etmektedir. Metabolik olarak aktif bakteriler, sitoplazmik membran, nükleoplazma, sitoplazma barındıran yani sağlıklı bir intraselüler yapıya sahip (intact-cell) sağlıklı metabolik aktivite sergileyen bakteri hücreleri olup, sistem döngülerine ekolojik katkı sunma potansiyelleri vardır. İnaktif bakteriler ile kısmen zarar görmüş veya tamamen içi boş hücreler kastedilmekte olup, hayalet hücre (ghost cell) olarak da tanımlanmaktadır (Heissenberger ve diğ., 1996; Stoderegger ve Herndl, 2001). Standart metotlar aktif ve inaktif bakteri arasındaki farkı ayıramamaktadır. Denizlerde toplam bakteri sayısının sağlıklı intaselüler yapı gösteren ve tam bir eksopolisakkarit kapsülle çevrili sayısına oranı bulunarak metabolik olarak aktif bakteri düzeyi tespit edilebilmektedir. Ortamda besin elementlerinin artışına bağlı olarak bakteriyel metabolik aktivite düzeyinin arttığı bildirilmiştir (Stoderegger ve Herndl, 2001; Altuğ ve Bayrak, 2003; Çardak ve diğ., 2015).

Marmara Denizi'nde müsilajdan ve çevresindeki deniz suyundan alınan örneklerde yapılan çalışmalarda bakteriyel metabolik aktivite düzeyleri referans istasyonlar ve müsilajın olmadığı zamanlarda kaydedilen metabolik aktivite düzeyleri ile karşılaştırıldığında yaklaşık 4 kat daha yüksek bulunmuş bu durum müsilaj gibi ekosistem hassasiyetinin mikro düzeyde etkilendiği oluşumlarda sıra dışı bakteriyel atakların olduğunu göstermiştir. Aşırı artış gösteren fitoplanktonun ölüm fazına geçmesi ve ortamda polisakkarit sızmasına bağlı çözünmüş karbonhidrat miktarının artması bilinen bir durumdur. Bakteriyel atakların oluşum nedenleri ise aşağıda detaylandırıldığı gibi ortamda çözünmüş karbonhidrat konsantrasyonunun artışı ile ilişkilendirilmiştir.

Sıcaklık ve metabolik olarak aktif bakteriler arasında tespit edilen önemli pozitif korelasyon bakteriyel aktivite ve çevresel değişken parametreler ilişkisinin ve dolayısıyla bakteriyel bolluk varyasyonları süreçlerinin anlaşılmasına katkı sunmaktadır (Çardak ve diğ., 2015). Bu değişkenlere göre farklı çalışmalarda değişen bakteriyel metabolik aktivite yüzdeleri tespit edilebilmektedir. Müsilaj döneminde tespit edilen yüksek metabolik aktif bakteri düzeyleri ile karşılaştırılması amacıyla Marmara Denizi'nde 2000 yılından bu yana yapılan farklı çalışmalarda deniz suyunda ve müsilajda tespit edilen bakteriyel metabolik aktivasyon düzeyleri en düşük ve en yüksek rakamlar ve referans istasyon dikkate alınarak Tablo 1' de özetlenmiştir.

Tablo 1: Marmara Denizi ve Boğazlarda 2000 yılından bu yana Tespit Edilen Bakteriye Metabolik Aktivite Düzeyi Özet Bilgiler

Marmara Denizi ve Boğazlarda Deniz Suyunda Tespit Edilen En Düşük ve En Yüksek Bakteriye Metabolik Aktivite Düzeyleri (%)				
İstasyon	Derinlik	Aktif Bakteri % En Düşük	Aktif Bakteri % En Yüksek	Kaynak
İstanbul Boğazı	20 m	10.4	12.3	Altuğ ve Bayrak, 2003
İstanbul Boğazı	40 m	22	47	Çardak ve diğ., 2015
İstanbul Kıyısı	0-30 cm	10.4	24	Altuğ ve diğ., 2020
Bandırma Körfezi	40 m	16	36	Altuğ ve diğ., 2007
Erdek Körfezi	30 m	10	30	Altuğ ve diğ., 2007
Kapıdağ Y.adası	35 m	14	30	Altuğ ve diğ., 2007
Çanakkale Boğazı	50 m	10	30	Altuğ ve diğ., 2007
Çanakkale Boğazı	25m	12	33	Çardak ve diğ., 2015
Güney Marmara	50 m	9	36	Altuğ ve diğ., 2020
Müsilaj Örneklerinde Tespit Edilen Bakteriye Metabolik Aktivite Düzeyleri (%)				
İstasyon	Bakteriye Metabolik Aktivite	Müsilaj Dönemi	Kaynak	
Bandırma Körfezi	72,5	Mart 2010	Altuğ ve diğ., 2010a	
Adalar Çevresi	77	Kasım 2008	Altuğ ve diğ., 2010a	
Deniz Suyu Müsilaj Çevresi	37	Kasım 2008	Altuğ ve diğ., 2010a	
Deniz Suyu Referans İstasyon	22	Kasım 2008	Altuğ ve diğ., 2010a	

3.1. Marmara Denizi Bakteri İzolatlarının Metabolik Özellikleri ve Müsilaj İlişkisi

Kültüre edilebilir saflaştırılmış bakteri izolatlarının metabolik özelliklerinin tanımlanması ve karşılaştırılması, VITEK 2 Compact 30 mikro tanımlama sistemi kullanılarak gerçekleştirilmektedir. Tanımlama kartlarında karbon kaynağı kullanımı, enzimatik aktiviteler, inhibisyon ve dirençlilik özellikleri belirlenmektedir (Pincus, 2006).

Gram-Negatif, Gram Pozitif ve Bacilli İzolatlar için metabolik tanı testlerinde kullanılan substratlar Tablo 2'de gösterilmiştir.

Tablo 2: Gram-Negatif, Gram Pozitif ve Bacilli İzolatlar için metabolik tanı testlerinde kullanılan substratlar

Substratlar	GN	GP	BCL	Substratlar	GN	GP	BCL
ARGININE DIHYDROLASE 1 (ADH1)		+		L-ARABITOL (IARL)	+		
ARGININE DIHYDROLASE 2 (ADH2s)		+		L-HISTIDINE assimilation (IHISa)	+		
ADONITOL (ADO)	+			L-LACTATE assimilation (ILATa)	+		
ALPHA-GALACTOSIDASE (AGAL)	+		+	L-LACTATE alkalinisation (ILATk)	+	+	
Glutamyl Arylamidase pNA (AGLTp)	+	+	+	L-MALATE assimilation (IMLTa)	+		
ALPHA-GLUCOSIDASE (AGLU)	+	+	+	myo-INOSITOL (INO)			+
Alanine ARYLAMIDASE (AlaA)		+	+	INULIN (INU)			+
ALPHA-MANNOSIDASE (AMAN)		+	+	L-RHAMNOSE (IRHA)			+
D-AMYGDALIN (AMY)		+		KANAMYCIN RESISTANCE (KAN)			+
Ala-Phe-Pro-ARYLAMIDASE (APPA)	+	+	+	LACTOSE (LAC)		+	
L-Aspartate ARYLAMIDASE (AspA)		+	+	LYSINE DECARBOXYLASE (LDC)	+		
BACITRACIN RESISTANCE (BACI)		+		Leucine-ARYLAMIDASE (LeuA)		+	+
BETA-Alanine arylamidase pNA (Balap)	+			LIPASE (LIP)	+		
BETA-GALACTOSIDASE (BGAL)	+	+	+	L-Lysin-ARYLAMIDASE (LysA)			+
BETA GALACTOPYRANOSIDASE (BGAR)		+		METHYL-B-D-GLUCOPYRANOSIDE (MBdG)		+	
BETA-GLUCOSIDASE (BGLU)	+		+	METHYL-A-D-GLUCOPYRANOSIDDE acidification (MdG)			+
BETA-GLUCORONIDASE (BGUR)	+	+		METHYL-D-XYLO-SIDE (McX)			+

Tablo 2: Gram-Negatif, Gram Pozitif ve Bacilli İzolatlar için metabolik tanı testlerinde kullanılan substratlar

Substratlar	GN	GP	BCL	Substratlar	GN	GP	BCL
BETA-GLUCURONIDASE (BGURr)		+		MALONATE (MNT)	+		
BETA-MANNOSIDASE (BMAN)			+	MALTOTRIOSE (MTE)			+
BETA-ACETYL-GLUCOSAMINIDASE (BNAG)	+		+	%6.5 NaCl ortamda büyüme (NaCl 6.5%)		+	+
BETA-XYLOSIDASE (BXYL)	+		+	N-AECETYL-D-GLUCOSAMINE (NAG)		+	+
CYCLODEXTRIN (CDEX)		+	+	Beta-N-NCETYL-GALACTOSAMINIDASE (NAGA)	+		
CITRATE (SODIUM) (CIT)	+			NOVOBIOCIN RESISTANCE (NOVO)		+	
COUMARATE (CMT)	+			O/ 129 RESISTANCE (O129R)	+	+	
D-CELLOBIOSE (dCEL)	+			ORNITHINE DECARBOXYLASE (ODC)	+		
D-GALACTOSE (dGAL)		+	+	FERMENTATION/ GLUCOSE (OFF)	+		
D-GLUCOSE (dGLU)	+		+	OLEANDOMYCIN RESISTANCE (OLD)			+
D-MALTOSE (dMAL)	+	+		OPTOCHIN RESISTANCE (OPTO)		+	
D-MANNITOL (dMAN)	+	+	+	PHOSPHORYL CHOLINE (PHC)			+
D-MELEZITONE (dMLZ)			+	Phenylalanine ARYLAMIDASE (PheA)			+
D-MANNOSE (dMNE)	+	+	+	PHOSPHATASE (PHOS)	+	+	
D-RAFFINOSE (dRAF)		+		PHOSPHATIDYLINOSITOL PHOSPHOLIPASE C (PIPLC)		+	
D-RIBOSE (dRIB)		+	+	PALATINOSE (PLE)	+		+
D-SORBITOL (dSOR)	+	+		POLYMIXIN_B RESISTANCE (POLYB_R)		+	+

Tablo 2: Gram-Negatif, Gram Pozitif ve Bacilli İzolatlar için metabolik tanı testlerinde kullanılan substratlar

Substratlar	GN	GP	BCL	Substratlar	GN	GP	BCL
D-TAGATOSE (dTAG)	+		+	L-Proline ARYLAMIDASE (ProA)	+	+	+
D-TRHALOSE (dTRE)	+	+	+	PUTRESCINE 6,5 % NaCl (PSCNa)			+
D-XYLOSE (dXYL)		+		PULLULAN (PUL)		+	
ELLMAN (ELLM)	+		+	PYRUVATE (PVATE)			+
ESCULIN hydrolsis (ESC)			+	L-Pyrrolydonyl-ARYLAMIDASE (PyrA)	+	+	+
Glu-Gyl-Arg-ARYLAMIDASE (GGAA)	+			SACCHAROSE/SUCROSE (SAC)	+	+	
GAMMA-GLUTAMYL-TRANSFERASE (GGT)	+			SALICIN (SAL)		+	
Glycine ARYLAMIDASE (GlyA)	+		+	SUCCINATE alkalination (SUCT)	+		
GLYCOGEN (GLYG)			+	TETRAZOLIUM RED (TTZ)			+
H2S PRODUCTION (H2S)	+			Tyrosine ARYLAMIDASE (TyrA)	+	+	+
5-KETO-D-GLUCONATE (5KG)	+			UREASE (URE)	+	+	

GN: Gram-Negatif izolat; GP: Gram Pozitif izolat BCL: Bacilli izolat

Müsilaj gözlenen ve gözlenmeyen dönemlerde gerçekleştirilen farklı çalışmalarımızda Marmara Denizi'nden izole edilen bakterilerin metabolik özellikleri test edildikleri substratlara verdikleri reaksiyonlarla tanımlanmıştır. Bu reaksiyonlar aynı zamanda bakteri izolatlarının deniz ortamında sahip oldukları ekolojik işlevleri anlamamızda yol gösterici olmaktadır. Müsilajdan izole edilen bakterilerde karbonhidrat katabolizmasında yer alan bakterilerin bolluğu ve protein, lipit ve karbonhidrat katabolizmasına yönelik substratlara yüksek oranda pozitif reaksiyonları dikkat çekmektedir. Müsilaj örneklerinde tespit ettiğimiz yüksek çözünmüş karbonhidrat düzeyleri bu döngüyü desteklemektedir. Örneğin, 2007 yılında Marmara Deniz'i'nde Adalar çevresi ve Bandırma Körfezi'nde gözlenen müsilaj örneklerinde çözünmüş karbonhidrat konsantrasyonu 45-57 mg/L iken referans istasyondan alınan deniz suyunda 1 mg/L olarak kaydedilmiştir (Altuğ ve diğ., 2010a).

Müsilajdan izole edilen bakterilerin aşağıdaki başlıklarda detaylandırılan karbonhidrat katabolizmasına yönelik pozitif reaksiyonları bize bu ataklara verilen bakteriyel yanıtları “yüksek polisakkarit varlığına olan bakteriyel afinite” olarak tanımlamaktadır. Örneğin 2021 Mayıs ayında 8 istasyondan alınan müsilaj örneklerinde toplam çözülmüş karbonhidrat konsantrasyonu Küçükçekmece Lagününün Marmara Denizi bağlantı noktası / Menekşe sahilinde en düşük 50 ± 1.1 (mg/L), en yüksek Pendik Marina örneklerinde 85 ± 2.0 olmak üzere ortalama 68 ± 0.5 mg/L olarak, deniz suyunda ortalama 29.5 ± 0.3 olarak kaydedilmiştir (Altuğ ve diğ., 2021b).

2021 Mayıs ayında Marmara Denizi Küçükçekmece, Yenikapı, Zeytinburnu, Bostancı, Pendik, Dragos sahil alanlarından alınan müsilaj örneklerinden izole edilen bakterilerin % 70 den fazlası Alfa-Galaktosidaz; Alfa Glikosidaz; Beta Galaktosidaz; Beta-Glikosidaz; Beta-Glukuronidaz; Beta-N-Asetil-Glikozaminidaz; D-Glikoz; D-Maltoz; D-Manitol; D-Mannoz; Beta-N-Asetil-Galaktozaminidaz; Fermantasyon/Glikoz, Sakkaroz/Sükroz olmak üzere substratlara pozitif reaksiyon vererek karbonhidrat katabolizmasında yer alan enzim aktiviteleri sergilemişlerdir (Altuğ ve diğ., 2021b).

Müsilaj örneklerinde tespit edilen yüksek oranlarda çözülmüş karbonhidrat değerleri, yüksek bulunan bakteriyel metabolik aktivite düzeyinin sebebini açıklamaktadır. Müsilaj örneklerinde tespit edilen yüksek bakteriyel metabolik aktivasyon yüzdesi müsilaj olmayan dönemlere kıyasla müsilajda bakteriyel ataklara bağlı sıra dışı koşullara işaret etmektedir.

4. Marmara Denizi’nde Heterotrofik Bakteri Bolluğu, Patojen Bakteri ve Müsilaj İlişkisi

Heterotrofik bakteriler, ortamda patojen bakteri olduğunun göstergesi olan indikatör bakteri verilerine destek sağlayan, denizel alanlarda bakteri varlığını ortaya koyan, bakteriyolojik kirlilik verilerini tamamlayarak çevresel durum göstergesi verileri olarak kullanılabilir. Özellikle uzun süreli izleme verileri belirli alanlara yönelik bakteriyolojik eğilimleri ortaya çıkarabilir. Marmara Denizi’nde müsilajdan ve çevresindeki deniz suyundan izole edilen heterotrofik aerobik bakteri sayısı, patojen bakteri varlığını gösteren indikatör bakteri sayısı ve tür kompozisyonlarına yönelik verilerimiz 2000 yılından bu yana müsilajın olmadığı dönemlerde Marmara Denizi’nden izole edilen bakteri verileri ile karşılaştırıldığında müsilajın bakteri varlığı ile ilişkisi daha net anlaşılmaktadır.

Marmara Denizi’nde 2000 yılından bu yana farklı çalışmalarla (Şekil 2, 3) rapor ettiğimiz bakteriyolojik veriler (Altuğ ve Bayrak, 2003; Aktan ve diğ., 2008; Altuğ ve diğ., 2010b; 2012; 2013; 2016; Çardak ve diğ., 2015; Hulyar ve Altuğ, 2020) müsilaj oluşumunun

yaşandığı 2007-2008 ve 2021 yılında müsilağdan ve çevresindeki deniz suyundan elde edilen örneklerden elde edilen bakteri verileri (Aktan ve diğ., 2008; Altuğ ve diğ., 2010a; Altuğ ve diğ., 2021b) ile karşılaştırıldığında müsilağ örneklerinde bakteri düzeyleri daha yüksek bulunmuştur.

İndikatör bakteri düzeyleri ortamda patojen bakteri varlığının göstergesi kabul edilirken toplam heterotrofik aerobik bakteri sayısının müsilağ örneklerinde daha yüksek tespit edilmiş olması müsilağın gözlemlendiği dönemde ortamda artan çözünmüş karbonhidrat konsantrasyonu ölçümleri ile gösterildiği üzere organik madde yükünün artışının sonucu olarak değerlendirilmiştir.

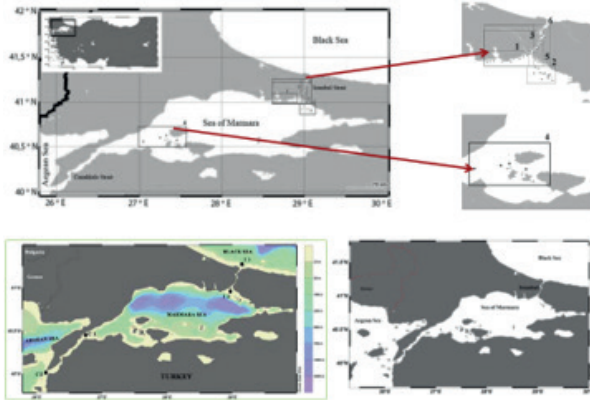
2007-2008 yılında İzmit Körfezi'nde (Aktan ve diğ., 2008), 2010 yılı Mart ayında Bandırma Körfezi'nde (Altuğ ve diğ., 2010a), 2021 yılında Marmara Denizi genelinde (Altuğ ve diğ., 2021 a, b) müsilağın gözlemlendiği dönemlerde elde edilen bakteriyolojik veriler müsilağ olayı sürecinde ortamdaki bakteriyolojik kirlilik düzeyinin ve bakteriyel aktivitenin arttığını göstermektedir. Marmara Denizi'nde 2000-2010 yılları arasında yaptığımız bakteriyolojik çalışmalarda toplam kültür edilebilir heterotrofik aerobik bakteri düzeyi 10^5 - 10^8 koloni oluşturan birim: KOB /100 mL aralığında kaydedilmiştir. 2010 sonrasında zaman zaman bölgesel düşüşler kaydedilse de özellikle kıyasal alanlarda indikatör bakterilerin sürekliliği ve sıklıkla Su Kirliliği Yönetmeliğine göre sınır değerlerin üzerinde olduğu bildirilmiştir (Şekil 2) (Hulyar ve Altuğ 2020). Marmara Denizi'nde heterotrofik aerobik bakteri bolluğu 0–30 cm ile 50 metre arasında önemli bir fark göstermemiş yüzey suyundan derinlere inildikçe bakteri sayısında lokal düşüşler kaydedilirken, yüzey suyu, haloklin tabakası ve ara tabakadaki bakteri bolluğu birbirine benzerlik göstermiştir. Bu durum müsilağın olmadığı zamanlar için organik madde birikiminin ara tabakada yığılmasının bir sonucu olarak değerlendirilmiştir. Yine müsilağın olmadığı zamanlarda İstanbul Boğazı, Bandırma Körfezi, Çanakkale Boğazı gibi bölgelerde bakteri bolluğunun yüzeyde dip sularına göre daha yüksek kaydedilmesi bölgesel derin deşarj ve partiküler kirlilik varlığı ile ilişkilendirilmiştir (Altuğ ve diğ., 2010b). 2021 yılı Mayıs ve Haziran aylarında Marmara Denizi'nde yoğun olarak gözlenen müsilağdan farklı noktalarda alınan örneklerde yaptığımız bakteriyolojik analizlerde bugüne kadar kaydedilen ve yukarıda bahsedildiği gibi belirli nedenlerle ilişkilendirilen lokal bakteri artışlarının müsilağın gözlemlendiği su kolonu boyunca yerini 10-1000 kat aralığında artan bakteri bolluğuna bıraktığı tespit edilmiştir.

Marmara Denizi'nde geçmiş çalışmalarımızda su kolonunda farklı derinliklerde ve 0—30 cm yüzey sularında en sık rastlanan Gamma Proteobacteria üyesi bakteriler müsilağ örneklerinde de yaygın bulunmakla beraber müsilağın olmadığı dönemlere kıyasla müsilağ örneklerinde

yüksek çeşitlilik ve patojen bakteri varlığı öne çıkmaktadır. 2021 Mayıs ayında Marmara Denizi Küçükçekmece, Yenikapı, Zeytinburnu, Bostancı, Pendik, Dragos sahil alanlarından alınan müsilaj örneklerinde örnekleme istasyonuna göre düzeyleri farklılıklar gösterse de, *Vibrio vulnificus*, *Vibrio alginoliticus*, *Enterobacter cloacea*, *Klebsiella oxycota*, *Klebsiella pneumonia*, *Kocuria kristinae*, *Aeromonas hydrophila*, *Streptococcus pneumoniae*, *Micrococcus luteus*, *Bacillus cereus*, *Staphylococcus aureus*, *Pseudomonas luteola* gibi aralarında patojen bakterilerin yer aldığı türler kaydedilmiştir (Altuğ ve diğ., 2022, yayın aşamasında).



Şekil 2: Derelerden Marmara Denizine ulaşan bakteriyolojik kirliliğe örnek, Çırpıcı Deresi, Zeytinburnu (Hulyar ve Altuğ, 2020)



Şekil 3: Müsilaj Olmayan Dönemlerde Marmara Denizi, İstanbul ve Çanakkale Boğazlarında Bakteriyolojik Çalışmaların Yapıldığı İstasyonlar (Altuğ ve diğ., 2007; Altuğ ve diğ., 2010b; Çardak ve diğ., 2015).

Marmara Denizi noktasal kirlilik kaynakları arasında olan akarsular yoluyla taşınan bakteriyolojik Çırpıcı Deresi'nin (Zeytinburnu) Marmara Denizi'ne döküldüğü nokta 2×10^6 KOB/100 ml olarak kaydedilmiştir (Hulyar ve Altuğ, 2020). Oysa 2021 yılı Mayıs ayında Bostancı sahilinde müsilağda kaydedilen en yüksek heterotrofik bakteri düzeyi yaklaşık 10^8 kat olarak ($74 \times 10^{14} \pm 1.24$ KOB/ml) çok daha yüksek düzeyde kaydedilmiştir. 2021 yılında müsilağın görüldüğü dönemde farklı noktalardan alınan müsilağ örneklerinde ortalama heterotrofik bakteri düzeyi $63 \times 10^{12} \pm 1.79$ KOB/ml olarak kaydedilmiştir (Altuğ ve diğ., 2021a).



Şekil 4: Mayıs 2021 Marmara Denizi'nde müsilağ örnekleme yapılan bazı istasyonlardan görüntüler (Altuğ ve diğ., 2021a)

Deniz bakteri türlerinin dağılım ve bollukları çevreye özel koşullara göre dinamiktir ve koşullara göre değişkenlik gösterebilir. Marmara Denizi'nde müsilağın gözlenmediği farklı zamanlarda yapılmış çalışmalarda patojen bakteri varlığına yönelik veriler ve patojenlerin göstergesi indikatör bakteri verileri rapor edilmiştir (Altuğ ve diğ., 2010c; 2012; 2013; Hulyar ve Altuğ, 2020; Altuğ ve diğ., 2020; 2021a; Sivri ve diğ., 2012; 2014). Ancak müsilağın oluşum aşamasında önceki bölümlerde bahsedilen, bakterilerin organik maddeye afinite ile oluşturduğu atakların yanında, serbest yaşamaktan çok yüzeye tutunma eğilimleri olması müsilağ kütleli bakteriler için cazip kılmaktadır. Müsilağın partiküler maddeye tutunma eğiliminde olan bakterileri toplayarak biyokütleye kattığı göz önüne alınmalıdır. Bu durumda müsilağ-patojen ilişkisi müsilağın mikrobiyal çeşitliliği kontrol edici bir faktör olarak belirli

bakterilerin taşıyıcısı olma, müsilaajda baskın olan patojenlerin sistem döngülerinde yer alan yararlı bakterileri baskılaması/sağlıklı mikrobiyal döngünün hasara uğraması ve müsilaajın patojenik yayılıma katkı potansiyeli bakımından önem taşımaktadır. Bu durum deniz müsilaajının kısmen müsilaajı çevreleyen deniz suyundan belirli organizmaların alınmasıyla oluşturulmuş farklı mikrobiyal topluluklara sahip bir mikro habitat görevi görmesi olarak da tanımlanmıştır. Bu nedenle Marmara Denizi'nde müsilaaj görünmeyen dönemlerde rapor edilen patojen bakteri varlığı ve heterotrofik bakteri bolluğuna yönelik veriler müsilaaj verileri ile kıyaslandığında, ekosistemin bakteri yoğunluğuyla karakterize olan bir biyokütle ile mücadele etmesi gereken koşulların oluştuğu anlaşılmaktadır. Oluşan bu biyokütlenin doğal yollarla ayrışması için gereken süre, Bölüm 3 ve 3.1' de detaylandırıldığı gibi, ortamda mevcut organik maddenin katabolize edilmesi için gerekli olan ekso-enzimleri üretebilecek, sistem döngülerinde yer alan, yararlı doğal ortam bakterilerinin yeterli düzeyde olması veya olmaması ile yakından ilişkilidir.

5. Marmara Denizi'nde Müsilaajın Bertarafında Bakteriyel Roller

Denizlerde serbest yaşayan bakteri (free-living bacteria) sayısının partiküle tutunarak yaşayan bakteri (attachment bacteria) sayısı ile ilişkisi müsilaaj oluşumunda su kolonundaki bakteriyel üretim ve remineralizasyon işlemleri bakımından önem taşımaktadır (Grossart ve diğ., 2003).

Denizlerde organik maddenin döngüsünde bakteriyel parçalanma başlangıç olup bakteriler bu süreçte anahtar role sahiptir. Müsilaaj kütlede yer alan yoğun polisakkarit bakteriler tarafından oligosakkarit ve monosakkaritlere dönüştürülürken (Mecozzi ve diğ., 2005; Umani, 2005; 2007) bitkisel ve hayvansal kaynaklı polisakkarit protein ve lipitler de benzer şekilde bakteriyel enzimler ile ayrıştırılarak dönüştürülürler. Müsilaaj kütlede baskın polisakkarit varlığı bakteriyel bozunmanın henüz gerçekleşmediği bir müsilaaj olduğunu işaret ederken, oligosakkarit ve monosakkaritlerin yoğun olması eski bir müsilaaj varlığına işaret edebilmektedir. Ortamdaki enzimatik aktivite uygun bakteri varlığının polisakkarit konsantrasyonunu ayrıştırmak için yeterli olmaması halinde müsilaaj gibi hidrojeloller oluşabilmektedir.

Marmara Denizi'nde bugüne kadar lokal olarak kaydedilen müsilaaj vakaları içinde en yaygın ve yoğun olan müsilaaj olarak kaydedilen 2021 yılında gözlenen müsilaajın uzun süreli olması müsilaajın bertarafı konusunda çalışmaların gerekliliğini göstermiştir.

Deniz ekosisteminde mikrobiyal floranın korunmasını sağlayacak biyolojik yöntemlerin geliştirilmesi, müsilaajın olmadan önlenmesine yönelik önlemler konusunda önem

taşımaktadır. Müsilaj, çözünmesi yavaşlayan organik maddenin birikimi olarak denizde gelişirken bu organik maddenin dekompozisyonuna uygun enzim aktivasyonuna sahip seçimli bakterilerle ortamın takviye edilmesi müsilajın ayrışma süresini hızlandırabilir. Marmara Denizi'nde müsilajın yerel deniz bakterileri ile giderilmesi konusunda Yenikapı Limanı'nda bir pilot çalışma gerçekleştirilmiştir. Çalışmada uygulanan bakteri teknolojisi uygulamasının çıkış noktasını yukarıda detaylandırılan "ortam bakterilerinin ortamdaki organik maddeyi ayrıştırmada yetersiz kalması nedeniyle biriken polimerlerin enzim özelliklerine göre seçilmiş bakteri izolatları kullanarak sağlıklı mikrobiyal floranın oluşması amacıyla ortamı takviye etmek oluşturmaktadır. Çevresel değişken parametrelerin kaydedildiği ortama bakteri ekleme uygulamaları ile yüzeyde 5 dipte 6 gün içinde müsilajın bertarafı gözlenirken, sonuçlar bakteriyolojik ve kimyasal analizlerle ortamdaki çözünmüş polisakkaritlerin kimyasal analizlerle bakteriyel degradasyonu, karbonhidrat konsantrasyonunda düşüş, patojen bakteri sayısında azalma tespit edilmiştir. Uygulamada kullanılan bakteri karışımları Marmara Denizi'nden izole edilerek stoklanan yerel izolatlar arasından enzim özellikleri dikkate alınarak seçilen bakteriler olarak bildirilmiştir (Altuğ, 2021).

Müsilaj oluşumunun deniz ekosistemi ve ekosistemin sürdürülebilir kullanılabilirliği üzerinde kısa ve uzun vadeli olumsuz etkileri söz konusudur. Bu nedenle, müsilajın oluşmadan önlenmesi veya oluşan müsilajın bertarafı konusunda pelajik ve bentik canlılara zararı olmayan çevre dostu biyolojik/biyoteknolojik yöntemlerin geliştirilmesine ihtiyaç vardır.

Mikrobiyal teknolojiler Birleşmiş Milletler' in on yedi sürdürülebilir gelişme hedefinden çevre, sağlık, enerji, gıda, endüstriyel yenilikler gibi pek çoğunu gerçekleştirmek için pratik ve çevre dostu çözümler sunabilmektedir. Avrupa Yeşil Mutabakatı (Fetting, 2020), OECD Yeşil Büyüme Stratejisi (OECD 2011), Hükümetler arası İklim Değişikliği Panel Değerlendirme Raporları (IPC 2022) ve OECD ve Ulusal Enerji Ajansının ortak hazırladığı yeşil büyüme çalışmaları (GGGI, 2020) başta olmak üzere küresel iklim değişimine yönelik uluslararası yönergelerle önerilen biyolojik temelli yöntemleri geliştiren ülkelerin iklim değişimi sürecine adaptasyonda avantaj sağlayacakları açıktır. Mikroorganizmalar küresel besin zincirinde, insan, hayvan, bitki sağlığında, gıda ve çevre bileşenini kapsayan "tek sağlık" bağlantılarında anahtar role sahiptir. Partiküler organik maddedeki karbonun marine snow ile deniz dibine taşınması, birikmesi remineralizasyon yoluyla CO₂ ve besin elementlerinin yeniden yapımı ve deniz dibine gömülme arasındaki ilişkiler mikrobiyal mekanizmalarla belirlenmektedir. Bu denge mekanizmasını oluşturan bileşenlerin, yerel ve doğal çözüm sunan araçlar olarak değerlendirilmesi deniz ekosistem işleyişinin anlaşılmasında geleceğin öne çıkan alanları olacaktır.

Kaynakça

- Aktan, Y., Altuğ, G., Topaloğlu, B. ve İşinibilir, M. (2008). *İzmit Körfezi Müsilaj Çalışması*. Kocaeli Büyükşehir Belediyesi, Sonuç Raporu.
- Allredge, A. L., & Crocker, K. M. (1995). Why do sinking mucilage aggregates accumulate in the water column? *Science of The Total Environment*, 165, 15–22.
- Altuğ, G., & Bayrak, Y. (2003). The Contribution of Capsulated Bacteria to the Total Bacterial Community in the Water Column of the Northern Marmara Sea, Küçükçekmece Lagoon and Strait of Istanbul, Turkey. *Journal of Black Sea / Mediterranean Environment*, 9(2), 111–120.
- Altuğ, G., Aktan, Y., Oral, M., et al. (2007). *Kuzey Ege ve Güney Marmara Denizi Biyolojik Çeşitliliğinin Fiziksel Kimyasal ve Biyolojik Verilerle Değerlendirilmesi*, 2005 - 2007. TÜBİTAK 105Y039 Sonuç Raporu.
- Altuğ, G., Çardak, M. ve Çiftçi, P. S. (2010a). “Marmara Denizi’nde Müsilaj Oluşumu ve Bakteriyel Etkileşimler”. Marmara Denizi 2010 Sempozyumu Bildiriler Kitabı, Öztürk, B. Ed, TÜDAV, no.32, ss.456-463.
- Altuğ, G., Çardak, M., Çiftçi, P. S. ve Gürün, S. (2010b). “Marmara Denizi Bakteriolojisi”. Marmara Denizi 2010 Sempozyum Bildiriler Kitabı, Öztürk, B. Ed, TÜDAV Yayın No: 32, 406-414.
- Altuğ G., Gürün S., Çiftçi Türetken P. S., & Hulyar O. (2010c). “Marmara Denizi, İstanbul İli Kıyusal Alanında Patojen Bakteriler ve Bakteriolojik Kirlilik”. Marmara Denizi 2010 Sempozyumu, İstanbul, Türkiye, 25-26 Eylül 2010, no.32, ss. 422-429.
- Altuğ, G., Gurun, S., Çardak, M., Çiftçi, P. S., & Kalkan, S. (2012). The occurrence of pathogenic bacteria in some ships’ ballast water incoming from various marine regions to the Sea of Marmara, Turkey. *Marine Environmental Research*, 81, 35–42.
- Altuğ, G., Çardak, M., Çiftçi, P. S., & Gürün, S. (2013). First records and microgeographical variations of culturable heterotrophic bacteria in an inner sea (the Sea of Marmara) between the Mediterranean and the Black Sea, Turkey. *Turkish Journal of Biology*, 37, 184–190.
- Altuğ, G., Çardak, M., Çiftçi, P. S., Gürün, S., & Kalkan, S. (2020). Bacterial Roles in the Marine Ecosystem; A Sample Case of Turkish Marine Bacteria. *Journal of Advanced Research in Natural and Applied Sciences*, 6(1), 217–230. doi.org/10.28979/jarnas.844769
- Altuğ, G. (2021). *Deniz Bakteri İzolatları Kullanılarak Müsilajın Doğal Yollarla Bakteriyel Giderimi*, Müsilaj Pilot Çalışma Teknik Raporu ss. 1-48.
- Altuğ G., Türetken P. S., Çiftçi Çardak, M., & Öztaş, M. (2021a). *Bacterial Levels in Mucilage; Sample Case of Preliminary Study in İstanbul Province, the Sea of Marmara Chapter* in: Ecology of the Marmara Sea: Formation and Interactions of Marine Mucilage, and Recommendations for Solutions Ed. M. Şeker, İ. Öztürk. pp.137-155 ISBN: 978-605-2249-73-4. DOI:10.53478/TUBA.2021.001
- Altuğ G., Türetken P. S., Çiftçi Çardak, M. ve Öztaş M. (2021b) *The Bacterial Roles in Mucilage Formation; Sample Case of Sea of Marmara*. International Global Climate Change Congress 3-5 June 2021 Abstracts and Proceedings Book pp. 251-252.
- Antunes, J., Leão, P. N., & Vasconcelos, V. M. (2019). Marine biofilms: diversity of communities and of chemical cues. *Environmental Microbiology Reports*, 11 (3), 287–305.
- Azam, F., & Long, R. A. (2001). Oceanography: Sea snow microcosms. *Nature*, 414, 495–498.
- Azam, F., Cho, B. C. (1987). *Bacterial utilization of organic matter in the sea*, In: Ecology of microbial communities. (Fletcher M. Ed.) Cambridge University Press, Cambridge, 261–268.
- Balkis, N., Sivri, N., Fraim, L., Balci, M., Durmus, T., & Sukatar, A. (2013). Excessive growth of *Cladophora laetevirens* (Dillwyn) Kutzing and enteric bacteria in mats in the Southwestern Istanbul coast, Sea of Marmara. *IUFS Journal of Biology*, 72, 43–50.

- Balkis-Ozdelice, N., Durmus, T., & Balci, M. (2021). A Preliminary Study on the Intense Pelagic and Benthic Mucilage Phenomenon Observed in the Sea of Marmara. *International Journal of Environment and Geoinformatics*, 8 (4), 414–422. <https://doi.org/10.30897/ijegeo.954787>
- Bolhuis H., & Cretoiu M. S. (2016). *What is so special about marine microorganisms? Introduction to the marine microbiome-from diversity to biotechnological potential*. In: Stal L., Cretoiu M. (eds) *The Marine Microbiome*. Springer, Cham
- Çardak, M., Altuğ, G., & Turetken, P. S. (2015). Variations of Culturable and Metabolically Active Bacteria in a Stratified Water Column: The Example of Istanbul and Çanakkale Straits, Turkey. *International Journal of Environmental Research*, 9, 1333–1340.
- Caruso, G. (2010). Leucine Aminopeptidase, β -Glucosidase and Alkaline Phosphatase Activity Rates and Their Significance in Nutrient Cycles in Some Coastal Mediterranean Sites. *Marine Drugs*, 8, 916–940.
- Catão, E., Pollet, T., Misson, B., Garnier, C., Ghiglione, J. F., Barry-Martinet, R., Maintenay, M., Bressy, C., & Briand, J. (2019). Shear Stress as a Major Driver of Marine Biofilm Communities in the NW Mediterranean Sea. *Frontiers in Microbiology*, 10, 1768.
- Cavicchioli, R., Ripple, W. J., Timmis, K.N., Azam, F., Bakken, L. R., Baylis, M., Behrenfeld, M. J., Boetius, A., Boyd, P. W., Classen, A. T., Crowther, T. W., Danovaro, R., Foreman, C. M., Huisman, J., Hutchins, D., Jansson, J. K., Karl, D. M., Koskella, B., Mark Welch, D. B., Martiny, J. B., Moran, M. A., Orphan, V. J., Reay, D. S., Remais, J. V., Rich, V. I., Singh, B. K., Stein, L.Y., Stewart, F. J., Sullivan, M. B., van Oppen, M. J., Weaver, S. C., Webb, E. A., & Webster, N. S. (2019). Scientists' warning to humanity: microorganisms and climate change. *Nature Reviews. Microbiology*, 17, 569–586.
- Cozzi, S., Ivančić, I., Catalano, G., Djakovac, T., & Degobbi, D. (2004). Dynamics of the oceanographic properties during mucilage appearance in the Northern Adriatic Sea: analysis of the 1997 event in comparison to earlier events. *Journal of Marine Systems*, 50(3-4), 223–241.
- Danovaro, R., Armeni, M., Luna, G.M., Corinaldesi, C., Dell'Anno, A., Ferrari, C. R., Fiordelmondo, C., Gambi, C., Gismondi, M., Manini, E., Mecozzi, M., Perrone, F. M., Pusceddu, A. M., & Giani, M. (2005). Exoenzymatic activities and dissolved organic pools in relation with mucilage development in the Northern Adriatic Sea. *The Science of the Total Environment*, 353(1-3), 189–203.
- Danovaro, R., Fonda Umani, S., & Pusceddu, A. M. (2009). Climate Change and the Potential Spreading of Marine Mucilage and Microbial Pathogens in the Mediterranean Sea. *PLoS ONE*, 4(9), e7006.
- De Lazzari, A., Berto, D., Cassin, D., Boldrin, A., & Giani, M. (2008). Influence of winds and oceanographic conditions on the mucilage aggregation in the Northern Adriatic Sea in 2003–2006. *Marine Ecology*, 29(4), 469–482.
- Del Negro, P., Crevatin, E., Larato, C., Ferrari, C.R., Totti, C., Pompei, M., Giani, M., Berto, D., & Fonda Umani, S. (2005). Mucilage microcosms. *The Science of the Total Environment*, 353(1-3), 258–269. doi: 10.1016/j.scitotenv.2005.09.018. Epub 2005 Oct 19. PMID: 16242174.
- Fetting, C. (2020). “*The European Green Deal*”, ESDN Report, December 2020, ESDN Office, Vienna.
- Fukao, T., Kimoto, K., Yamatogi, T., Yamamoto, K., Yoshida, Y., & Kotani, Y. (2009). Marine mucilage in Ariake Sound, Japan, is composed of transparent exopolymer particles produced by the diatom *Coscinodiscus granii*. *Fisheries Science*, 75, 1007–1014.
- Giani, M., Berto, D., Zangrando, V., Castelli, S., Sist, P., & Urbani, R. (2005). Chemical characterization of different typologies of mucilaginous aggregates in the Northern Adriatic Sea. *The Science of the Total Environment*, 353(1-3), 232–246. doi: 10.1016/j.scitotenv.2005.09.027. Epub 2005 Oct 28. PMID: 16257434.
- Grossart, H., Kiørboe, T., Tang, K., & Ploug, H. (2003). Bacterial Colonization of Particles: Growth and Interactions. *Applied and Environmental Microbiology*, 69, 3500–3509.
- Heissenberger, A., Leppard, G. G., & Herndl, G. J. (1996). Relationship between the Intracellular Integrity and the Morphology of the Capsular Envelope in Attached and Free-Living Marine Bacteria. *Applied and Environmental Microbiology*, 62, 4521–4528.

- Hulyar, O., & Altuğ, G. (2020). The Bacteriological Risk Transported to Seas by Rivers; the Example of Çırpıcı River, the Sea of Marmara, Istanbul, Turkey. *International Journal of Environment and Geoinformatics*, 7(1), 45–53. <https://doi.org/10.30897/ijegeo.704260>
- IPCC, (2022). Climate Change 2022: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [H.-O. Pörtner, D.C. Roberts, M. Tignor, E.S. Poloczanska, K. Mintenbeck, A. Alegria, M. Craig, S. Langsdorf, S. Löschke, V. Möller, A. Okem, B. Rama (eds.)]. Cambridge University Press. Cambridge University Press, Cambridge, UK and New York, NY, USA, 3056 pp., doi:10.1017/9781009325844.
- Kumar, R., Mishra, A., & Jha, B. (2019). Bacterial community structure and functional diversity in subsurface seawater from the western coastal ecosystem of the Arabian Sea, India. *Gene*, 701, 55–64.
- La Ferla, R., Azzaro, F., Azzaro, M., Caruso, G., Decembrini, F., Leonardi, M., Maimone, G., Monticelli, L. S., Raffa, F., Santinelli, C., Zaccone, R., & d'Alcalà, M. R. (2005). Microbial contribution to carbon biogeochemistry in the Central Mediterranean Sea: Variability of activities and biomass. *Journal of Marine Systems*, 57, 146–166.
- Lancelot, C. (1995). The mucilage phenomenon in the continental coastal waters of the North Sea. *Science of the total environment*, 165(1-3), 83–102.
- Leppard, G. G., Heissenberger, A., Herndl, G. J. (1996). Ultrastructure of marine snow. I. Transmission electron microscopy methodology, *Marine Ecology Progress Series*, 135, 289–298.
- MacKenzie, L., Sims, I. M., Beuzenberg, V., & Gillespie, P. A. (2002). Mass accumulation of mucilage caused by dinoflagellate polysaccharide exudates in Tasman Bay, New Zealand. *Harmful Algae*, 1, 69–83.
- Maloy, S., Moran, M. A., Mulholland, M. R., Sosik, H. M., Spear, J. R. (2017). Microbes and Climate Change: Report on an American Academy of Microbiology and American Geophysical Union Colloquium held in Washington, DC, in March 2016 (American Society for Microbiology, 2017).
- Mecozi, M., Pietrantonio, E., Noto, V. D., & Pápai, Z. (2005). The humin structure of mucilage aggregates in the Adriatic and Tyrrhenian seas: hypothesis about the reasonable causes of mucilage formation. *Marine Chemistry*, 95, 255–269.
- Misic, C., Giani, M., Povero, P., Polimene, L., & Fabiano, M. (2005). Relationships between organic carbon and microbial components in a Tyrrhenian area (Isola del Giglio) affected by mucilages. *The Science of the Total Environment*, 353(1-3), 350–359.
- OECD. (2011). *Towards green growth: a summary for policy makers*, Organization for Economic Co-operation and Development, May 2011
- Passow, U., Shipe, R. F., Murray, A. E., Pak, D. K., Brzezinski, M. A., & Alldredge, A. L. (2001). The origin of transparent exopolymer particles (TEP) and their role in the sedimentation of particulate matter. *Continental Shelf Research*, 21(4), 327–346. [https://doi.org/10.1016/S0278-4343\(00\)00101-1](https://doi.org/10.1016/S0278-4343(00)00101-1).
- Pincus, D. H. (2006). *Microbial identification using the bioMerieux VITEK® 2 system*. In: Encyclopedia of Rapid Microbiological Methods. Miller MJ (Ed.). Parenteral Drug Association, USA
- Precali, R., Giani, M., Marini, M., Grilli, F., Ferrari, C. R., Pečar, O., & Paschini, E. (2005). Mucilaginous aggregates in the northern Adriatic in the period 1999-2002: typology and distribution. *The Science of the Total Environment*, 353(1-3), 10–23.
- Pugnetti, A., Armeni, M., Camatti, E., Crevatin, E., Dell'Anno, A., Del Negro, P., Milandri, A., Social, G., Fonda Umani, S., & Danovaro, R. (2005). Imbalance between phytoplankton production and bacterial carbon demand in relation to mucilage formation in the Northern Adriatic Sea. *The Science of the Total Environment*, 353(1-3), 162–177.
- Radić, T., Kraus, R., Fuks, D., Radić, J., & Pečar, O. (2005). Transparent exopolymeric particles' distribution in the northern Adriatic and their relation to microphytoplankton biomass and composition. *The Science of the Total Environment*, 353(1-3), 151–161.

- Schiaparelli, S., Castellano, M., Povero, P., Sartoni, G., & Cattaneo-Vietti, R. (2007). A benthic mucilage event in North-Western Mediterranean Sea and its possible relationships with the summer 2003 European heatwave: short term effects on littoral rocky assemblages. *Marine Ecology*, 28, 341–353.
- Serratore, P., Rinaldi, A., Montanari, G., Ghetti, A., Ferrari, C. R., & Vollenweider, R. A. (1995). Some observations about bacterial presence in seawater related to mucilaginous aggregates in the Northwest Adriatic Sea. *Science of The Total Environment*, 165, 185–192.
- Silver, M. W., Coale, S. L., Pilskaln, C. H., Chavez, F. P. (1998). Exploratory observations of marine aggregates at sub-euphotic depths. *Deep-Sea Research II*: 1839–1861.
- Sivri, N., Balci, M., Durmus, T., Seker, D.Z., & Balkis, N. (2012). Analysis of Enteric Bacteria Distribution in the Gulf of Gemlik By Means Of GIS. *Fresenius Environmental Bulletin (FEB)*, 21(11), 3224–3232.
- Sivri, N., Jones, M., & Allen, M. (2014). *Pseudomonas aeruginosa* Isolated From Seawater the Marine Environments in the Istanbul Coastal Area, *Fresenius Environmental Bulletin (FEB)*, 23(12b), 3340–3344.
- Spang, A., & Offre, P. (2019). Towards a systematic understanding of differences between archaeal and bacterial diversity. *Environmental Microbiology Reports*, 11, 9–12.
- Stoderegger, K. E., & Herndl, G. J. (2001). Visualization of the exopolysaccharide bacterial capsule and its distribution in oceanic environments. *Aquatic Microbial Ecology*, 26, 195–199.
- Taylor, M. W., Radax, R., Steger, D., & Wagner, M. (2007). Sponge-Associated Microorganisms: Evolution, Ecology, and Biotechnological Potential. *Microbiology and Molecular Biology Reviews*, 71, 295–347.
- Turk, V., Hagström, Å., Kovač, N., & Faganeli, J. (2010). Composition and function of mucilage macroaggregates in the northern Adriatic. *Aquatic Microbial Ecology*, 61, 279–289.
- Ullah, R., Yasir, M., Bibi, F., Abujamel, T.S., Hashem, A. M., Sohrab, S. S., Al-Ansari, A. M., Al-Sofyani, A. A., Al-Ghamdi, A. K., Al-Sieni, A. I., & Azhar, E. I. (2019). Taxonomic diversity of antimicrobial-resistant bacteria and genes in the Red Sea coast. *The Science of the Total Environment*, 677, 474–483.
- Umami, S.F., Milani, L., Borme, D., de Olazabal, A., Parlato, S., Precali, R., Kraus, R., Lučić, D., Njire, J., Totti, C., Romagnoli, T., Pompei, M., & Cangini, M. (2005). Inter-annual variations of planktonic food webs in the northern Adriatic Sea. *The Science of the Total Environment*, 353(1-3), 218–231.
- Umami, S. F., Negro, P. D., Larato, C., Vittor, C. D., Cabrini, M., Celio, M., Falconi, C., Tamberlich, F., & Azam, F. (2007). Major inter-annual variations in microbial dynamics in the Gulf of Trieste (northern Adriatic Sea) and their ecosystem implications. *Aquatic Microbial Ecology*, 46, 163–175.
- Urbani, R., Magaletti, E., Sist, P., & Cicero, A. M. (2005). Extracellular carbohydrates released by the marine diatoms *Cylindrotheca closterium*, *Thalassiosira pseudonana* and *Skeletonema costatum*: effect of P-depletion and growth status. *The Science of the Total Environment*, 353(1-3), 300–306.
- Verdugo, P. M., Alldredge, A. L., Azam, F., Kirchman, D. L., Passow, U., & Santschi, P. H. (2004). The oceanic gel phase: a bridge in the DOM-POM continuum. *Marine Chemistry*, 92, 67–85.
- Zoppini, A., Puddu, A., Fazi, S., Rosati, M., & Sist, P. (2005). Extracellular enzyme activity and dynamics of bacterial community in mucilaginous aggregates of the northern Adriatic Sea. *The Science of the Total Environment*, 353(1-3), 270–286.

