



**Fatmagün Aydın**

Çukurova University, faydin@cu.edu.tr, Adana-Türkiye

DOI	<a href="http://dx.doi.org/10.12739/NWSA.2023.18.2.5A0192">http://dx.doi.org/10.12739/NWSA.2023.18.2.5A0192</a>
ORCID ID	0000-0001-7852-307X
Corresponding Author	Fatmagün Aydın

**SU ÜRÜNLERİ YETİŞTİRİCİLİĞİNDE "BİYOREMEDİASYON"**

**ÖZ**

Tarımsal faaliyetler içerisinde yer alan hızla büyüyen su ürünleri yetiştiriciliği sektöründe, artan taleplerin karşılanabilmesi için üretimin yükseltilmesi yönünde çaba sarf edilmektedir. Ancak su ürünleri üretiminden gelen atık su kirletici maddeler içermektedir. Atık suyun çoğunluğunu oluşturan balık dışkı ve tüketilmeyen yemlerin oluşturduğu kirleticiler, suda askıdaki katı maddeler, azotlu atıklar ve fosfor miktarının artmasına neden olmaktadır. Su ürünleri yetiştiriciliği sistemlerinde genellikle geleneksel atıksu arıtımı kullanılmaktadır. Ancak sucul ekosistemlerin korunması ve su kaynaklarının yeniden kullanımı için sürdürülebilir çözümlere ihtiyaç duyulmaktadır. Biyoremediasyon yöntemi, biyolojik süreci başlatarak kontamine bileşiklerin uzaklaştırılması, azaltılması ve dönüştürülmesini kapsamaktadır. Bu derlemede, su ürünleri yetiştiriciliğinde, su kalitesi yönetiminde, yetiştiricilik sistemlerinden kaynaklanan atıkların ve çamurun arıtılmasında kullanılabilecek biyoremediasyon yöntemleri ele alınmıştır. Ayrıca su ürünleri yetiştiriciliğinde sürdürülebilirlik ve çevresel etkilerin yönetilmesi açısından biyoremediasyonun önemi değerlendirilmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Biyoremediyatör, Su Kalitesi, Su Arıtma, Atıksu, Çamur

**"BIOREMEDIATION" IN AQUACULTURE**

**ABSTRACT**

Efforts are paid to increase production to meet the high demands in the growing aquaculture sector, which is included in agricultural activities. Here, wastewater from aquaculture production contains pollutants. Fish feces and pollutants formed by unconsumed feeds, that constitute the majority of the wastewater, cause an increase in the amount of suspended solids, nitrogenous wastes and phosphorus in the water. Conventional wastewater treatment is often used in aquaculture systems. However, sustainable solutions are needed for the protection of aquatic ecosystems and the reuse of water resources. The bioremediation method includes the removal, reduction and conversion of contaminated compounds by initiating the biological process. In this review, bioremediation methods that can be used in aquaculture, water quality management, treatment of waste and sludge originating from aquaculture systems are discussed. In addition, the importance of bioremediation in terms of sustainability in aquaculture and managing environmental effects was evaluated.

**Keywords:** Bioremediator, Water Quality, Water Treatment, Wastewater, Sludge

**How to Cite:**

Aydın, F., (2023). Su Ürünleri Yetiştiriciliğinde "Biyoremediasyon". Ecological Life Sciences, 18(2):63-77, DOI: 10.12739/NWSA.2023.18.2.5A0192.

## 1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Su ürünleri yetiştiriciliği küresel olarak hızlı büyüyen bir sektördür. Yetiştiricilikte 2022 yılında küresel su ürünleri yetiştiriciliği, toplam balıkçılık üretiminin %57,3'ünü oluşturarak 122,6 milyon tona ulaşmıştır [1]. Türkiye'de ise su ürünleri üretimi 2021 yılında 799 bin 851 ton olup, bu üretimin %59'unu yetiştiricilik ürünleri oluşturmaktadır. Yetiştirilen en önemli balık türleri, iç sularda alabalık, denizlerde ise levrek, çipura ve alabalık (Türk Somonu) olmuştur [2]. Diğer yandan dünyada, deniz ve karasal su ürünleri çiftliklerinin üretiminin artması sonucu oluşan atıkların ekosisteme verdiği zarar, günümüzde sürdürülebilir çevre yönetiminin etkin olarak kullanılması konusunu gündeme getirmiştir. Su ürünleri yetiştiriciliğinden kaynaklanan atık suların arıtımı, su ürünleri yetiştiriciliğinin sürdürülebilirliği ile ilgili kritik faktörlerin başında gelmektedir [3]. Bu nedenle su ürünleri yetiştiriciliğinde üretilen atıkların giderilmesi, hem üretim yapılan havuzlarda su kalitesinin korunması açısından hem de üretimden sonra su deşarjları yapıldığında çevresel etki açısından önemlidir.

Su ürünleri yetiştiricilik faaliyetleri yapılırken çevreye olumsuz etki yapan kirleticiler, havuzlardaki organik ve inorganik maddeler, antibiyotik, anestezi, dezenfektan, hormon vb. kimyasallar ve patojenlerin yer aldığı atıklardır [4, 5, 6 ve 7]. Yetiştiricilikten kaynaklanan atıkların özelliği, yetiştiricilikte kullanılan sistemler, balık türü, kullanılan yem tipi, yemleme tekniği, atık yönetimi gibi pek çok faktör tarafından belirlenmektedir [8]. Su ürünleri yetiştiriciliği üretiminden kaynaklanan atıklar, katı atıklar ve çözülmüş atıklardır. Çözülmüş atıklar besin elementleri olan azot (N) ve fosfor (P) içerirler. Çözülmüş atıklarda bulunan özellikle amonyak, genellikle balıkların ve kabuklu deniz canlılarının solungaçları yoluyla atılmaktadır. Amonyakın daha yüksek konsantrasyonlarda birikmesi toksik etkileri nedeniyle yetiştiriciliği yapılan canlıya zarar vermektedir [7 ve 9].

Yetiştiricilik ortamında amonyak atılımı türe, biyokütleye, yem alımına, diyetin protein içeriğine ve beslenme rejimine bağlı olarak değişmektedir [10]. Yemlerdeki protein seviyesi toplam amonyak atılımı yükseltmektedir [11]. Ancak bitki içerikli diyetlerde yemlerin sindirilebilirliğinin azaltması sudaki organik maddenin oluşmasını kolaylaştırmaktadır [10]. Gölet veya havuzun tabanına çöken atık, yarı katı ve katı atık olarak kabul edilmektedir. Burada çamur, mevcut konsantrasyonu normalden daha yüksek olduğunda, çevreyi olumsuz etkileyebilecek azotlu bileşikler, fosfor ve çözülmüş organik karbon içeren tehlikeli bir atık türü olan katı atığı oluşturur. Su ürünleri yetiştiriciliğinde çamur, su ortamında bulunan yüksek miktarlarda tüketilmemiş yem ve sonrasında gerçekleşen organik parçalanma nedeniyle oluşmaktadır [9, 12, 13 ve 14]. Su ürünleri yetiştiriciliğinde başlıca atık kaynağını tüketilmeyen yemler ve dışkı oluşturmaktadır. Tüketilmeyen yemlerden oluşan atık üretimi, yemin besin bileşimi, üretim ve besleme yöntemi ile depolama süresi gibi birçok faktöre bağlı olarak değişebilmektedir [7]. Bu nedenle, su ürünleri yetiştiriciliğinden kaynaklanan atıkların kalitesi ve miktarı, büyük ölçüde yem kalitesi ve yemlene yönetimine bağlı olmaktadır [15]. Balık yetiştiriciliğinde kullanılan yemin bileşimi, sindirilebilirliği ve yem dönüşüm katsayısı, atık sudaki azot, fosfor gibi bileşiklerin miktarı açısından önemlidir. Bu atıkların miktarının, bir ton balık için kaç kg fosfor ve azot olduğunun belirlenmesi ile genel çevresel yükleri hesaplanabilmektedir [16]. Japonya'da bir ton balık ortalama kültür balığı olarak 0.8kg azot ve 0.1kg fosfor üretmektedir. İnsan azot yükünün kişi başına günlük 11g'a eşdeğer olduğu varsayıldığında bir ton balık başına 73 kişiye karşılık

gelmektedir. Japonya'da 1999 yılında 63.000 ton iç su ürünleri yetiştiriciliği dönem dikkate alınır, yetiştiriciliğin neden olduğu kirletici deşarjının beş milyon kişiye karşılık geldiğini belirtmektedirler [17].

Tüketilmeyen yem ve dışkıyı içeren organik atıklar yüksek oranlarda azot ve fosfor içermektedirler. Bu atıkların kontrolsüz ve aşırı derecede çoğalması sucul ekosistemde alg patlamalarına ve sonuçta suda ötrofikasyona neden olmaktadır [18]. "Ötrofikasyon" organik maddelerin sucul ekosistemlerde birikmesinden kaynaklanan doğal bir süreç olarak tanımlanmaktadır. Ancak günümüzde bu süreç insan eliyle hızlandırılmış olup "antropojenik ötrofikasyon", fosfor ve azot girdilerinin neden olduğu organik materyalin aşırı üretimi anlamına gelmektedir. Böyle bir ortamda çevre koşullarına uyum sağlayan fırsatçı bitki türlerinin çoğalması, başlangıçta var olan türlerin yerini alarak fitoplankton, zooplankton, bentik fauna, balıklar vb. canlıların yapısında ve işleyişinde değişikliklere neden olmaktadır. Oluşan bu büyük biyokütlelerin bakteriler tarafından parçalanması, su ortamında oksijenin tükenmesine (hipoksi veya anoksi) ve hatta CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>S ve CH<sub>4</sub> gibi gazların ortaya çıkmasına neden olmaktadır [19 ve 20].

Su ürünleri yetiştiriciliği sistemlerinde oluşan ötrofikasyonu azaltmak için, su sütunundan azot ve fosforun uzaklaştırılmasında atık su ve tortu arıtma işlemleri gibi çeşitli yöntemler uygulanmaktadır. Ancak önemli olan bu işlemler yapılırken, su ürünleri yetiştiriciliğinde uzun vadede sürdürülebilir bir üretim faaliyetinin yapılmasını sağlamak olmalıdır. Bu bağlamda kullanılacak biyoremediasyon gibi biyolojik yöntemler, çevreyi korurken üretimin sürmesi ve artmasına da katkı sağlayacak etkiye olmaktadır [21].

Biyoremediasyon, toksik kirleticileri azaltmak veya ortadan kaldırmak için bakteriler, mantarlar, aktinomisetler, siyanobakteriler ve bitkiler kullanılmasıdır. Aynı zamanda su kalitesini iyileştirmede makro ve mikro organizmalar ve/veya bunların ürünleri de biyoremediasyon süreçlerinde kullanılmaktadır. Biyoremediasyonda rol oynayan canlılara biyoremediatörler veya biyoremediasyon ajanları denilmektedir [22].

Fikoremediasyon, "yosun" anlamına gelen "phyco" ve "düzeltmek veya başlangıcındaki durumuna geri getirmek" anlamına gelen "remediation" kelimelerinin birleşiminden oluşur. Fikoremediasyonda atıkların veya atık suların iyileştirilmesinde algler kullanılmaktadır. Su ürünleri yetiştiriciliğinde atık suyun temizlenmesinde, mikroalgler, makroalgler ve alg-bakteri konsorsiyumu kullanılmaktadır [23]. Fikoremediasyonda ana mekanizma, toksik bileşenlerin hücre içinde birikmesidir. Hücre içerisinde biriken bu bileşikler, alg hücrelerinin metabolik süreçlerinde kullanılmak üzere toksik olmayan formlara dönüştürülmektedir [24].

Yunanca phyto (bitki) ve Latince remedium (düzeltmek veya temizlemek) kelimelerinden oluşan atıkların arıtılmasında bitkilerin kullanılmasıdır. Fitoremediasyonda, atıkların arıtılmasında rol oynayan farklı etkilere sahip fitoekstraksiyon (fitoakümülyasyon), rizofiltrasyon, fitostabilizasyon ve fitovolatilizasyon mekanizmaları bulunmaktadır [24]. Biyoremediasyon, kontamine su veya atıkları arıtmak için yararlı mikrobiyolojik ajanların da kullanıldığı bir süreçtir. Bazı kaynaklarda biyoremediasyon, biyolojik sürecin başlatılarak kontamine bileşiklerin uzaklaştırılması, azaltılması ve dönüştürülmesi olarak da ifade edilmektedir [14].

Günümüzden 31 yıl önce "Çevresiyle birlikte su ürünleri yetiştiriciliği: Sürdürülebilirlik için beklentiler" adlı çalışmada belirtilen "başarılı bir su ürünleri yetiştiriciliği sisteminin atıkları yoktur, yalnızca çevredeki ekosistemlere ve ekonomiye olumlu

katkıları olarak kullanılacak yan ürünler vardır" ifadesi içerisinde biyoremediasyon uygulamasını da barındıran bir açıklamaya yer vermektedir [25].

Biyoremediasyon, in-situ, ex-situ, biyoreaktör, doğal yavaşlatma ve bitkiler yoluyla remediasyon gibi farklı şekillerle uygulanabilmektedir. In situ biyoremediasyon üretildiği noktada gerçekleştirilen atık su arıtımı iken, ex-situ arıtma, kirlenmiş sahanın dışına taşınan atık suyun arıtımının yapılmasıdır. Azubuike ve diğerlerine göre, biyoremediasyon yapılırken in-situ veya ex-situ uygulamalar, maliyet, saha özellikleri, kirleticilerin türü ve konsantrasyon gibi çeşitli faktörlere bağlı olarak seçilmektedir. Ancak ex-situ uygulamalar, in-situ teknikleri ile karşılaştırıldığında ek maliyet gerektirdiğinden daha pahalıdır [26]. Gadd'a göre mikrobiyal biyoremediasyon, uygun maliyetli olması ve kirleticileri verimli bir şekilde yok edebilmesi nedeniyle en çok tercih edilen biyoremediasyon türleri arasındadır [27]. Bu derlemede, su ürünleri yetiştiriciliğinde, su kalitesi yönetiminde, atıkların ve çamurun arıtılmasında kullanılabilecek biyoremediasyon yöntemlerinden bahsedilmiştir. Ayrıca biyoremediasyonun su ürünleri yetiştiriciliği ve çevresel etkilerinin sürdürülebilirlik açısından önemi değerlendirilmiştir

## 2. ÇALIŞMANIN ÖNEMİ (RESEARCH SIGNIFICANCE)

Dünya nüfusunun artan gıda ihtiyacının karşılanması için su ürünleri yetiştiriciliği ile ilgili hem karasal hem de sucul ekosistemlerde gerçekleştirilen üretim faaliyetleri çevre kirliliğine neden olmaktadır. Bu bağlamda, su ürünleri yetiştiriciliğinde üretim sürecinde ve üretimden sonra oluşan çevresel kirliliğin kontrolü için alternatiflere ihtiyaç duyulmaktadır. Biyoremediasyon atıkların iyileştirilmesinde etkili biyolojik arıtım yöntemi olarak kabul edilmektedir. Sucul ortamlardaki üretim faaliyetleri sonucu oluşan kirleticilerin giderilmesinde bakteri, bitkiler vb. organizmaların kullanıldığı biyoremediasyon "bozulan ortamın biyolojik yöntemler ile önceki haline getirilmesine" dayanmaktadır. Su ürünleri yetiştiriciliğinde üretim süreci boyunca oluşan su kalitesinin düzenlenmesi verimli bir üretim açısından önemlidir. Ancak üretim sonucu ortaya çıkan kirli suyun temizlenmesi, iyileştirilmesi üretimin sürdürülebilirliği sağlamak açısından önemli ve gereklidir. Üç tarafı denizlerle çevrili ülkemizde açık deniz ve doğal su ortamlarındaki üretim süreçlerinin yanı sıra, balık çiftlikleri gibi kontrollü üretimin gerçekleştirildiği su ürünleri yetiştiriciliğinde çevre kalitesinin korunması ve kirliliğinin önlenmesi insan ve çevre sağlığı açısından büyük önem taşımaktadır.

### Önemli Noktalar (Highlights):

- Su ürünleri yetiştiriciliğinde, üretim sürecinde ve üretimden sonra ortaya çıkan kirlilik faktörlerinin gözden geçirilmesi.
- Su ürünleri yetiştiriciliğinde biyoremediasyonların kullanımı.
- Su ürünleri yetiştiricilik sistemlerinde kullanılan biyoremediasyon potansiyelinin değerlendirilmesi.

## 3. SU ÜRÜNLERİ YETİŞTİRİCİLİĞİNDE BİYOREMEDİASYON UYGULAMALARI (BIOREMEDIATION APPLICATIONS IN AQUACULTURE)

Su ürünleri yetiştiriciliğinde biyoremediasyon uygulamaları iki amaçla yapılmaktadır. Üretim sürecinde gerçekleşen kültür havuzlarındaki su kalitesinin korunması için yapılan biyoremediasyon, diğeri ise üretimden sonra oluşan atıklardan kaynaklanan kirliliğin giderilmesi için yapılan biyoremediasyondur. Barman'a göre, su ürünleri yetiştiriciliğinde su kalitesini iyileştirmeye yönelik

uygulanan "biyoremediasyon", üretimin yapıldığı havuzlara mikroorganizmaların, enzimlerin uygulanmasıdır [22]. Su kalitesini iyileştirmede kullanılan makro ve mikro organizmalar ve/veya bunların ürünlerini biyoremediasyon ajanları olarak isimlendirilmektedir. Su ürünleri yetiştiriciliğinde kullanılan kapalı devre sistemler, biyoyumak teknolojisi, akuaponik sistemler, entegre multi-trofik su ürünleri yetiştiriciliği sistemleri, üretim süresince su kalitesinin korunmasına yönelik biyolojik yöntemlerin yer aldığı biyoremediasyon uygulamalarını içermektedir.

### 3.1. Su Kalitesi Yönetiminde "Biyoremediasyon" ("Bioremediation" in Water Quality Management)

Su ürünleri yetiştiriciliği sistemlerinde su kalitesi, yetiştiriciliği yapılan türün, büyüme performansı, yemden yararlanma, fizyolojisi, sağlığı gibi birçok parametreyi etkilemesi açısından önemlidir [28]. Bu nedenle, üretimin verimli ve etkin olabilmesi için su kalitesinin düzenlenerek üretim esnasında oluşan organik ve inorganik kirliliğin giderilmesi gereklidir. Su ürünleri yetiştirme suyunun biyoremediasyonunda, biyoremediasyon ajanları olarak bakteri, maya, bitki, yosun ve omurgasız canlılar kullanılmaktadır. Biyoremediasyon ajanları, akuaponik, biyoyumak, kapalı devre sistemler gibi farklı su ürünleri üretim sistemlerinde yer almaktadırlar.

Astari ve diğerlerine göre kapalı devre sistemde yüksek yoğunlukta ön büyümesi yapılan orfozların yetiştirildiği sisteme biyoremediasyon ajanı olarak, *Lactobacillus casei* ve *Saccharomyces cerevisiae* ilave edildiğinde su kalitesi iyileşmekte ve üretim performansı artmaktadır [29]. Kapalı devre sistem ile kırmızı hibrit tilapia (*Oreochromis niloticus* × *Oreochromis mossambicus*) yetiştirilen havuzlarda azotlu atıkların uzaklaştırılması için suda yaşayan çiçekli bitkiler (*Canna generalis*, *Typha angustifolia*, *Echinodorus cordifolius* ve *Cyperus involucratus*) kullanılmaktadır. *Echinodorus cordifolius* ve *Canna generalis* türlerinin inorganik azotu gidermede yüksek verimliliğe sahip olduğunu belirtilmektedir [30].

Biyoyumak teknolojisi, havuz suyundaki karbon azot oranını dengeleyerek su kalitesini artırmayı hedeflemektedir. Yetiştiricilik suyuna karbon kaynağı olan bir karbonhidrat eklenerek, heterotrofik bakteri büyümesi uyarılmaktadır. Bakteriler, karbon kaynağı ve dışkıyla oluşan inorganik azotu kullanarak bir biyoyumak (mikrobiyal kütle) oluşturmaktadırlar. Biyoyumak teknolojisi, su kalitesini koruyarak yetiştiricilik sistemlerinde su değişimini ve su kullanımını en aza indirmeyi sağlamaktadır. Ayrıca yetiştirilen tür için protein açısından zengin bir yem olma özelliği de taşımaktadır [31, 32 ve 33].

Süper yoğun kültür sistemlerinde minimum su değişimi yapılmakta olup daha sık besleme ve daha fazla kültür türü üretilmektedir. Bu sistemlerde daha fazla miktarda dışkı ve tüketilmeyen yemler sistemde kalabildiği için su kalitesi bozulmaktadır [34 ve 35]. Bu nedenle, biyoyumak teknolojilerinde atık sularda biyoremediasyon yöntemlerinin kullanıldığı araştırmalar yapılmaktadır. Brito ve diğerlerine göre biyoflok sistemlerinden çıkan atıklar, biyoremediasyon organizmaları kullanılarak arıtılabilmektedir [36]. Karides biyoyumak atıksuyunun biyoremediasyonunda deniz tarağı, deniz yosunu ve balık kullanılması atıkları azaltmada etkili olmaktadır. Bu tip sistemlerde, deniz tarağı bir biyoremediasyon ajanı olarak kullanılabilir. Ancak biyoyumak sistemlerinde biyoremediasyon için yapılan uygulamalar her zaman olumlu sonuç vermemektedir. Biyoyumak sistemi ile yapılan karides (*Litopenaeus vannamei*)'lerin kültür ortamına ticari probiyotik (*Bacillus subtilis* ve *Bacillus licheniformis*) eklenmesinin biyoremediasyon üzerine etkisi olmadığı belirtilmektedir [11].

Akuaponik sistemler, suda yaşayan organizmaların yetiştirilmesine bitkilerin dahil edilmesidir. Bu sistemlerde, bitkiler toprak içermeyen su ortamında yetiştirilirken, su ürünleri üretiminden elde edilen besin açısından zengin olan su, bitkiler için besin kaynağı olarak kullanılmaktadır. Sistemde bitkiler tarafından arıtılan su, böylece yetiştirilen tür için uygun hale getirilmiş olmaktadır. Mikroorganizmalar, özellikle bakteriler, besin dönüşümündeki işlevleri nedeniyle bu sistemde yer almaktadırlar [38]. Tatlı su kereviti (*Cherax quadricarinatus*) kültürü atık suları akuaponik sistem ile arıtılabilmektedir. Yapılan çalışmada kullanılan bakteri konsorsiyumu ve su ıspanağı (*Ipomea aquatica*)'nın amonyağı %81, nitratı %33 ve ortofosfatı %89 oranında azalttığı tespit edilmiştir. Tatlı su kereviti yetiştirme ortamında yapılan bu uygulamanın su kalitesini arttırdığı belirtilmektedir [39].

Tablo 1. Biyoremediasyon amaçlı probiyotiklerin su kalitesi üzerine etkisi

(Table 1. Effect of probiotics for bioremediation on water quality)

Mikroorganizma Türü/Uygulama Şekli	Yetiştirilen Tür/ Üretim Şekli	Etkisi	Referanslar	
B. subtilis ve B. licheniformis (BioPlus® PS)/ Havuz Toprağına	Pasifik Beyaz Karidesi ( <i>Litopenaeus vannamei</i> ) Nil tilapia <i>Oreochromis niloticus</i> /Polikültür	OM- azalış F- azalış TAA azalış C:N azalış	[49]	
Bacillus subtilis/ Suya	<i>Litopenaeus vannamei</i> / Biyoyumak Teknolojisi	TAKM etki yok TAA etki yok TA etki yok NO <sup>-2</sup> etki yok NO <sup>-3</sup> etki yok	[50]	
B. subtilis NT9 (ekzojen) veya B. cereus YB3 (endojen)/ Suya	<i>Litopenaeus vannamei</i> / Biyoyumak Teknolojisi C:N= 20:1	<b>NT9</b> TAA artış TAKM artış NO <sup>-2</sup> etki yok NO <sup>-3</sup> etki yok NH <sub>3</sub> etki yok TBS azalış BYH azalış KÖO yok	<b>YB3</b> TAA artış TAKM artış NO <sup>-2</sup> etki yok NO <sup>-3</sup> etki yok NH <sub>3</sub> etki yok TBS artış BYH artış KÖO artış	[51]
Bakteri AquaStar®+ Enzim PondZyme (BIOMIN)/Suya	<i>Litopenaeus vannamei</i>	Uygulanan tüm dozlarda TAA azalış NO <sup>-2</sup> azalış NO <sup>-3</sup> azalış	[52]	
B =Belirtilmemiş BYH=Biyoyumak Hacmi C:N=Karbon Azot Oranı ÇO =Çözünmüş Oksijen F =Fosfor	NO <sup>-2</sup> =Nitrit NO <sup>-3</sup> =Nitrat OM=Organik Madde % TA=Toplam Azot TAA=Toplam Amonyum Azotu	TAKM=Toplam Askıda Katı Madde TAKM=Toplam Askıda Katı Madde TAN= Toplam Amonyak Azotu TBS=Toplam Bakteri Sayısı KÖO=Kümülatif Ölüm Oranı		

Su ürünleri yetiştirme suyunun biyoremediasyonunda probiyotiklerin yeme ve suya ilave edilerek kullanılmasının etkili olduğu ve sürdürülebilir yetiştiriciliğe büyük katkı sağladığını belirten çalışmalar bulunmaktadır [40 ve 41]. Ancak, biyoremediasyonun etkinliği uygulanacak olan probiyotiğin özellikleri ile doğrudan ilişkilidir. Bu nedenle istenen sonuçların elde edilebilmesi için probiyotik, uygun çevre koşullarında ve doğru populasyon yoğunluğunda kullanılmalıdır [42]. Su ürünleri yetiştiriciliği havuzlarında su kalitesini iyileştirmek için probiyotik olarak pek çok *Bacillus* türü kullanılmaktadır [43]. Balık ve karides yetiştiriciliğinde en yaygın olarak kullanılan *Bacillus* türü *Bacillus subtilis*'dir [44]. Su ürünleri yetiştiriciliğinde yapılan araştırmalar, *Bacillus subtilis* (kedi balığı) [45], *Bacillus subtilis* (karides) [46], *Bacillus cereus* (karides) [22], *Bacillus pumilus*+mikroalg konsorsiyumu (karides) [47], *Bacillus megaterium* ve *Bacillus coagulans* (sazan) [48] bakteri

türlerinin suyun kalitesinin iyileştirmede olumlu etki sağladıklarını tespit etmişlerdir. Biyoremediasyon amaçlı probiyotiklerin su kalitesi üzerine etkisine ait 2023 yılında ait bazı çalışmalar verilmiştir (Tablo 1).

### 3.2. Su Ürünleri Yetiştiriciliği Atık Suyunun ve Çamurun Arıtılmasında "Biyoremediasyon" ("Bioremediation" in The Treatment of Aquaculture Wastewater and Sludge)

Su ürünleri yetiştiriciliği atık suyu arıtılmadan kıyıya yakın habitatlara doğrudan deşarj edilmesi veya üretimin göl, gölet, deniz gibi sucul ekosistemlerde yapılması alıcı sularda katı, organik madde ve besin elementi yükünü arttırmaktadır. Bu durum açık su kütlelerinde değişken derecelerde kirlilik oluşmasına ve bu ekosistemlerin önemli ölçüde bozulmasına neden olmaktadır [35 ve 53]. Biyoremediasyonda mikroorganizmaların kullanılması düşük maliyetli bir teknik olarak kabul edilmektedir. Alglerde pek çok farklı çevresel koşullara uyum sağlayabilmeleri nedeniyle biyoremediasyonda yaygın olarak kullanılan canlılardır [35]. Biyoremediasyonda rol oynayan canlılar çoğalmalarını ve arıtma etkinliklerini sürdürmek için, mikroorganizmalar ek oksijen kaynağına mikroalgler ise ek karbondioksit kaynağına gereksinim duymaktadırlar. Simbiyotik biyoremediasyonda mikroorganizmalar CO<sub>2</sub> üreterek ve O<sub>2</sub> tüketerek, mikroalgler ise bunun tersini gerçekleştirerek remediasyonun sürdürülmesinde önemli rol oynamaktadırlar. Ancak arıtımın etkinliğini sağlayabilmek için aşılama hacminin ve biyoremediasyon modunun uygun şekilde optimize edilmesine ihtiyaç duyulmaktadır [54]. Su ürünleri yetiştiriciliği ortamlarında meydana gelen çamur, azot, fosfor ve diğer çözülmüş organik karbonları içeren katı formda olan bir su ürünleri atığı türüdür. Çoğunlukla fazla yemden ve organik atıkların bozunmasından kaynaklanan yüksek konsantrasyonda azot bileşikleri içermektedir. Bu durum havuzlardaki oksijen seviyesinin düşmesine neden olmaktadır. Yeterli oksijen olmaması ise bazı anaerob bakterilerin hidrojen sülfid üretimine neden olmaktadır. Zararlı etkilerinden dolayı istenmeyen bu çamur oluşumunun kültür havuzlarından sık aralıklarla deşarj edilmesi gerekmektedir. Çamurun oluşumunun giderilmesinde çevre dostu bir yönetim anlayışı olan biyoremediasyon uygulamaları ile ilgili çalışmalar yapılmaktadır [14]. Su ürünleri yetiştiriciliği atık suyunun arıtılmasında, in-situ ve ex-situ biyoremediasyon uygulamaları yapılmaktadır. Yetiştiricilikte atık sularının arıtılmasında in-situ uygulamalar ex-situ uygulamalara göre daha yaygın olarak kullanılmaktadır. Ni ve diğerlerine göre, yengeç gölü yetiştiriciliğinin oluşturduğu kirlilik kontrolünde uygulanan in-situ yöntemin baraj yapıları üzerindeki biyofilmler, karbon ve azot kirleticilerinin uzaklaştırılması için yüksek aktiviteye sahip olduğunu, Zu ve diğerlerine [56] göre *Marichromatium gracile* YL28 suşunun, inorganik azotu uzaklaştırma ve azot dengesini korumada uygun maliyetli bir in-situ yöntem sağladığını, Nicholas ve diğerlerine [57] göre deniz istiridyesi (*Scapharca subcrenata*)'nin yetiştiricilik suyunun tortularındaki atığı azaltmaya katkıda bulunduğunu, Ramos-Corella ve diğerlerine [58] göre iki istridye (*Dosinia ponderosa* ve *Chione gnidia*) türünün su ürünleri atıklarının biyoremediasyonu için uygun olduğunu, yapılan araştırmalarda tespit etmişlerdir.

Kıyıya yakın yerlerde yapılan su ürünleri yetiştiriciliğinde atık suların sucul ekosistemlere boşaltılması su kirliliği açısından sakınca oluşturmaktadır. Ex-situ yöntemlerde yetiştiricilik atık suları arıtılmasında kullanılmaktadır. Paniagua-Michel ve Garcia'a göre, karides kültürü atıklarının arıtılmasında bir ex-situ biyoremediasyon yöntemi olarak mikrobiyal örtüler (mat) oluşturulmuştur [59]. Ni ve diğerlerine göre, in-situ ve ex-situ

biyoremediasyon yöntemlerinin bir arada kullanılmasıyla oluşturulan akuaponik sistem (*Euryale ferox*, dev nilüfer, karides) su tasarrufu sağlayan, sürdürülebilir bir kalkınma modeli oluşturmaktadır [60]. Besin içeriği yüksek olan yetiştiricilik atık sularının arıtılmasında biyoremediatör olarak mikroalglerin kullanılması, insan gıdası, biyoyakıt, ilaç, hayvan yemi, yem katkı maddesi, kozmetik gibi yüksek katma değerli ürünlerin elde edilmesini de sağlamaktadır [61]. Ayrıca mikroalgler kullanılarak atık suların arıtılması ile oluşan biyokütleden elde edilen biyobazlı (yakıt, kimyasal, polimer, elyaf ürünler, nişasta türevleri vb malzemeler) ürünler toksik olmama, biyobozunurluk, biyoyuumluluk özellikleri nedeniyle çevre dostu ürünlerdir [62, 63 ve 64]. Kashem ve diğerlerine göre, tilapia balık çiftliğinden toplanan atık suyun arıtılmasında mikroalg ve siyanobakteriler kullanılabilir. Ancak biyoremediasyon etkinliği suya bağlı olarak değişmektedir [65]. Marinho-Soriano vd.'e göre, artemia makroalglerle birlikte biyoremediasyon süreçlerine uyum sağlamaktadır [66]. Muthukrishnan ve diğerlerine göre, karides yetiştiriciliği atıksularından izole edilen *Bacillus* ve *Gordonia* cinsinden bakteriler, toplam amonyak azot (TAN) ve nitritin giderilmesinde etkin rol oynamaktadırlar [67].

Yetiştiricilik atık sularının arıtılmasında bakteri, bakteri-bakteri konsorsiyumu veya alg+bakteri konsorsiyumu kullanılmaktadır. Mikroalgler/bakterilerin, kültür balıkçılığı atık sularını en iyi arıtma kabiliyetine sahip canlılar olduğunu belirtmişlerdir [68]. İyi bir biyoremediatör, sudan sadece karbonlu atıklar ve azotlu atıkları uzaklaştırmamalı aynı zamanda kükürt bileşiklerini etkili bir şekilde temizleme kapasitesine sahip olmalıdır. Mikroorganizma konsorsiyumu, besinlerin uzaklaştırılma oranını artırmaktadır. Konsorsiyum ile oluşturulan iş birliği sonucu mikroorganizmalar çevre koşullarına karşı daha dirençli hale gelmektedirler. Bu yüzden mikroorganizma konsorsiyumu tek bir türe göre daha avantajlı olmaktadır [69]. Ayrıca atık suların biyoremediasyonunda mikroalg/zooplankton konsorsiyumu da etkili olabilmektedir [70]. Bakteri konsorsiyumu ile başarılı bir şekilde biyoremediasyon gerçekleştirilmektedir. Bu sayede atık sular açık sisteme deşarj edilmek yerine, biyoremediasyondan sonra üretimde tekrar kullanılabilir. Sistemde atık suların biyoremediasyonla temizlenerek tekrar kullanılması kaynak verimliliğini sağlamaktadır [71]. John ve diğerlerine göre, su kültürü atık sularının arıtılmasında kullanılan bakteri konsorsiyumu (*Bacillus cereus*, *Bacillus amyloliquefaciens*, and *Pseudomonas stutzeri*) amonyak ve nitriti gidermemektedir. Ancak konsorsiyum amonyak ve nitriti seviyesini toksisite seviyelerinin altında kalmasını sağlamaktadır [69].

Su ürünleri atık sularının arıtılmasında midye/mikroalg/bakteri kullanılan bir pilot çalışma yapmışlardır. Çalışmada, atık sudaki kirleticiler, mikroalg (*Chlorella vulgaris*) biyokütlesi tarafından kullanılmakta, bakteriler (*Bacillus subtilis* ve *Bacillus licheniformis*) midyenin sindirim enzim aktivitelerini artırmakta ve ekonomik değeri yüksek olan inci üretiminde kullanılan midye (*Hyriopsis cumingii*) ise suda askıdaki katı maddeyi temizlemektedir. Pilot çalışmanın tüm aşamalarında işletme maliyetlerinin düşük olduğu belirtilmektedir [68].

Günümüzde besin kullanımını optimize eden, çevresel etkiyi azaltan ve biyokütle üretimini artıran sistemler geliştirilmektedir. Bu amaçla, beslenme zincirinin farklı basamaklarında bulunan canlıları tek bir çiftlikte bir araya getirerek entegre multi-trofik yetiştiricilik sistemleri olarak isimlendirilen üretim modelleri oluşturulmaktadır [72]. Entegre multi-trofik yetiştiricilik sistemlerinde rol oynayan biyolojik aktörler, yem ile beslenen türler,



suda asılı kalan organik partiküller ile beslenenler ve ekstraktif türler olarak da isimlendirilen deposit beslenen omurgasızlar ve makroalglerden oluşmaktadır [73]. Su ürünleri işletmeleri çıkış sularının arıtılmasında yapay sulak alanlarda kullanılmaktadır. Fitoremediasyon yöntemiyle arıtmanın yapıldığı yapay sulak alanlar, atık sudaki nitrit azotunun tamamına yakınının uzaklaştırabilmesi açısından önemlidir [3]

#### 4. SONUÇ VE ÖNERİLER (CONCLUSION AND RECOMMENDATIONS)

Doğanın sahip olduğu biyolojik sistemler, oluşan atıkları temizleme kapasitesi ve gücüne sahiptir. Ancak yaşamın devamı için gerçekleştirilen üretim faaliyetleri, atıkların türünü ve miktarını değiştirmektedir. Günümüzde üretim faaliyetlerinin hızla artması doğal sistemlerin, oluşan atıkların üstesinden gelmesini güçleştirmektedir. Çünkü insanoğlunun etkisi olmadan önce döngüsel olarak devam eden bu mekanizma, insan elinin değmesiyle doğrusal hale dönüşmektedir.

Günümüzde atık kaynaklı çevresel sorunları çözmek için kullanılan yöntemlerden biri de biyolojik yöntemlerdir. Bu yöntemin kullanılmasının amacı, döngüsel sisteme geri dönüşü sağlama çabasıdır. Atıkların giderilmesi için kullanılan biyoremediasyon yöntemleri bu çabanın bir ürünüdür. Biyoremediasyon, günümüzde hem toprak hem de sudaki organik veya inorganik kirleticileri içeren atıkları temizlemek için kullanılan, umut verici, kısmen uygun maliyetli, çevre dostu bir uygulamadır. Su ürünleri yetiştiriciliğinde, su kalitesinin düzenlenmesi veya oluşan atıkların temizlenmesinde biyoremediasyonu içeren sistem ve modeller oluşturulması konusunda günümüzde birçok çalışma yürütülmektedir. Bu bağlamda, yetiştiricilikte kullanılan biyoyumak, akuaponik, kapalı devre ve entegre multi-trofik yetiştiricilik sistemleri, biyoremediasyon yöntemlerini içeren uygulamalardır. Yetiştiricilikte kıt kaynaklar olan su, yem ve enerjinin verimli şekilde kullanılması önemlidir. Bu nedenle, sürdürülebilir üretim süreçlerinin döngüsel üretim ve biyoekonomiye dayalı yönetilmesi gerekmektedir.

Günümüzde küresel ısınma ve iklim değişikliği tüm canlıların yaşamını etkileyen önemli bir sorundur. Su ürünleri endüstrisi ve onun alt kolu olan "su ürünleri yetiştiriciliği" pek çok endüstri kolunda olduğu gibi doğrudan veya dolaylı hem bu soruna kaynak hem de bu sorundan etkilenen durumundadır. Bu nedenle, su kalitesinin iyileştirilmesi ve atık yönetimi konusunda uygulanacak biyoremediasyon çalışmalarında küresel ısınma ve iklim değişikliği etkileri de mutlaka dikkate alınmalıdır. Atık maddelerin arıtılmasında ve su kalitesinin iyileştirilmesinde kullanılan biyoremediasyon uygulamalarında aşağıda belirtilen konularda daha fazla çalışmanın yapılması uygulamanın etkinliği açısından önemlidir.

- Biyoremediasyon olarak kullanılacak mikrobiyal, mikroalg ve omurgasız konsorsiyumlarında uygun türlerin belirlenmesi
- Farklı türlerin kullanıldığı entegre sistemlerde türler arasındaki koordinasyon zorluğunun giderilmesi
- Yüksek yatırım ve bakım maliyetlerinin düşürülmesi
- Küresel ısınmanın bu sistemlere yansımalarının etkilerinin göz önünde bulundurulması

Sonuç olarak, biyoremediasyon uygulamaları, döngüsel üretim ve biyoekonomiye katkı sağlamaktadır. Bu nedenle, yetiştiricilik sistemlerinde kullanılan biyoremediasyon uygulamaları, günümüzde atık yönetimi konusunda karşılaşılan zorlukların ve potansiyel fırsatların değerlendirilmesi açısından önemli bir yere sahiptir.

**ÇIKAR ÇATIŞMASI (CONFLICT OF INTEREST)**

Yazar çıkar çatışması bildirmemişlerdir.

**FİNANSAL AÇIKLAMA (FINANCIAL DISCLOSURE)**

Yazar bu çalışma için herhangi bir mali destek almadığını beyan etmiştir.

**ETİK STANDARTLAR BEYANI (DECLARATION OF ETHICAL STANDARDS)**

Makalenin yazarı bu çalışmada kullanılan materyal ve yöntemlerin etik kurul izni ve/veya yasal-özel izin gerektirmediğini beyan eder.

**KAYNAKLAR (REFERENCES)**

- [1] FAO, (2022). The state of world fisheries and aquaculture 2022. towards blue transformation (Rome).  
<https://doi.org/10.4060/cc0461en>
- [2] TÜİK, (2022). Türkiye Su Ürünleri İstatistikleri.  
<https://Data.Tuik.Gov.Tr/Kategori/Getkategori?P=Tarim-111&Dil=1> (Erişim Tarihi:09.09.2022).
- [3] Yavuzcan, H. and Pulatsü, S., (2022). Sıfır atığa doğru: Su ürünleri yetiştiriciliğinde sürdürülebilir atık yönetim. Ege Journal of Fisheries and Aquatic Sciences, 39(4):341-348.  
<https://doi.org/10.12714/egejfas.39.4.11>
- [4] Burridge, L., Weis, J.S., Cabello, F., Pizarro, J., and Bostick, K., (2010). Chemical use in salmon aquaculture: a review of current practices and possible environmental effects. Aquaculture, 306(1-4):7-23.  
<https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2010.05.020>
- [5] Cek, S. and Sarıhan, F., (2010). Endokrin sistemi bozan kimyasallardan cinsiyet steroidlerinin balıklardaki etkileri. Ege Üniversitesi Su Ürünleri Dergisi, 1:41-46.  
<http://www.egejfas.org/tr/pub/issue/4998/67660>
- [6] Rico, A., Satapornvanit, K., Haque, M.M., Min, J., Nguyen, P.T., Telfer, T.C., and Van Den Brink, P.J., (2012). Use of chemicals and biological products in Asian aquaculture and their potential environmental risks: a critical review. Reviews in Aquaculture, 4(2):75-93. <https://doi.org/10.1111/j.1753-5131.2012.01062.x>
- [7] Dauda, A.B., Ajadi, A., Tola-Fabunmi, A.S., and Akinwole, A.O., (2019). Waste production in aquaculture: Sources, components and managements in different culture systems. Aquaculture and Fisheries, 4(3):81-88. <https://doi.org/10.1016/j.aaf.2018.10.002>
- [8] Herath, S.S. and Satoh, S., (2015). Environmental impact of phosphorus and nitrogen from aquaculture. In Feed and feeding practices in aquaculture. Woodhead Publishing, pp:369-386.  
<https://doi.org/10.1016/B978-0-08-100506-4.00015>
- [9] Mahari, W.A.W., Waiho, K., Azwar, E., Fazhan, H., Peng, W., Ishak, S.D., and Lam, S.S., (2022). A state-of-the-art review on producing engineered biochar from shellfish waste and its application in aquaculture wastewater treatment. Chemosphere, 288:132559. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2021.132559>
- [10] Godoy-Olmos, S., Jauralde, I., Monge-Ortiz, R., Milián-Sorribes, M.C., Jover-Cerdá, M., Tomás-Vidal, A., and Martínez-Llorens, S., (2022). Influence of diet and feeding strategy on the performance of nitrifying trickling filter, oxygen consumption and ammonia excretion of gilthead sea bream (*Sparus aurata*) raised in recirculating aquaculture systems. Aquaculture International, 30(2):581-606. <https://doi.org/10.1007/s10499-021-00821-3>
- [11] Ballestrazzi, R., Lanari, D., D'agaro, E., and Mion, A., (1994). The effect of dietary protein level and source on growth, body

- composition, total ammonia and reactive phosphate excretion of growing sea bass (*Dicentrarchus labrax*). *Aquaculture*, 127(2-3):197-206. [https://doi.org/10.1016/0044-8486\(94\)90426-X](https://doi.org/10.1016/0044-8486(94)90426-X)
- [12] Chen, S., Timmons, M.B., Aneshansley, D.J., and Bisogni, J.J., (1993). Suspended solids characteristics from recirculating aquacultural systems and design implications. *Aquaculture*, 112(2-3):143-155. [https://doi.org/10.1016/0044-8486\(93\)90440-A](https://doi.org/10.1016/0044-8486(93)90440-A)
- [13] Bureau, D.P., (2004). Factors affecting metabolic waste outputs in fish. In: Cruz Suárez, L.E., Ricque Marie, D., Nieto López, M.G., Villarreal, D., Scholz, U., González, M. (Eds.), *Avances en Nutrición Acuícola VII. Memorias del VII Symposium Internacional Nutrición Acuícola*. 16-19 Noviembre, 2004. Hermosillo, Sonora, Mexico. [https://www.uanl.mx/utilerias/nutricion\\_acuicola/VII/archivos/2DomoniqueBureau.pdf](https://www.uanl.mx/utilerias/nutricion_acuicola/VII/archivos/2DomoniqueBureau.pdf).
- [14] Jasmin, M.Y., Fadhil Syukria, M.S., and Kamarudina, Karim, M., (2020). Potential of bioremediation in treating aquaculture sludge: Review article. *Aquaculture*, 519:734905. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2019.734905>
- [15] Cao, L., Wang, W., Yang, Y., Yang, C., Yuan, Z., Xiong, S., and Diana, J., (2007). Environmental impact of aquaculture and countermeasures to aquaculture pollution in China. *Environmental Science and Pollution Research-International*, 14:452-462. <https://doi.org/10.1065/espr2007.05.426>
- [16] Ackefors, H. and Enell, M., (1994). The release of nutrients and organic matter from aquaculture systems in Nordic countries. *Journal of applied ichthyology*, 10(4):225-241. <https://doi.org/10.1111/j.1439-0426.1994.tb00163.x>
- [17] Suzuki, Y., Maruyama, T., Numata, H., Sato, H., and Asakawa, M., (2003). Performance of a closed recirculating system with foam separation, nitrification and denitrification units for intensive culture of eel: towards zero emission. *Aquacultural Engineering*, 29(3-4):165-182. <https://doi.org/10.1016/j.aquaeng.2003.08.001>.
- [18] Yüksel, D., Çelik, E., and Turgay, Ö., (2021). Siyanobakteri kaynaklı toksin tehlikesi. *Ecological Life Sciences*, 16(1):1-17. <http://dx.doi.org/10.12739/NWSA.2021.16.1.5A0144>
- [19] McNeary, W.W. and Erickson, L.E., (2013). Sustainable management of algae in eutrophic ecosystems. *Journal of Environmental Protection*, 4(11A):9. <https://doi.org/10.4236/jep.2013.411A002>
- [20] Le Moal, M., Gascuel-Oudou, C., Ménesguen, A., Souchon, Y., Étrillard, C., Levain, A., and Pinay, G., (2019). Eutrophication: a new wine in an old bottle?. *Science of the total environment*, 651:1-11. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.09.139>.
- [21] Chávez-Crooker, P. and Obrique-Contreras, J., (2010). Bioremediation of aquaculture wastes. *Current opinion in Biotechnology*, 21(3):313-317. <https://doi.org/10.1016/j.copbio.2010.04.001>
- [22] Barman, P., Bandyopadhyay, P., Kati, A., Paul, T., Mandal, A.K., Mondal, K.C., and Mohapatra, P.K.D., (2018). Characterization and strain improvement of aerobic denitrifying EPS producing bacterium *Bacillus cereus* PB88 for shrimp water quality management. *Waste and Biomass Valorization*, 9:1319-1330. <http://dx.doi.org/10.54083/ResBio.2.1.2020.20-25>
- [23] Phang, S.M., Chu, W.L., and Rabiei, R., (2015). Phycoremediation. *The algae world*, 357-389. <https://doi.org/10.1007/978-94-017-7321-8-13>

- [24] Shackira, A.M., Jazeel, K., and Puthur, J.T., (2021). Phycoremediation and phytoremediation: Promising tools of green remediation. In Sustainable Environmental Clean-up, Elsevier, pp:273-293. <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-823828-8.00013-x>
- [25] Folke, C. and Kautsky, N., (1992). Aquaculture with its environment: prospects for sustainability. Ocean and coastal management, 17(1):5-24. [https://doi.org/10.1016/0964-5691\(92\)90059-T](https://doi.org/10.1016/0964-5691(92)90059-T)
- [26] Azubuiké, C.C., Chikere, C.B., and Okpokwasili, G.C., (2016). Bioremediation techniques-classification based on site of application: principles, advantages, limitations and prospects. World Journal Microbiol Biotechnology, 32(11):180. <https://doi.org/10.1007/s11274-016-2137-x>
- [27] Gadd, G.M., (2000). Bioremediation potential of microbial mechanisms of metal mobilization and immobilization. Current Opinion in Biotechnology, 11(3):271-279. [https://doi.org/10.1016/S0958-1669\(00\)00095-1](https://doi.org/10.1016/S0958-1669(00)00095-1)
- [28] Svobodová, Z., (1993). Water Quality and Fish Health. FAO, Rome, EIFAC Technical Paper, No:54, pp:67. <http://www.nativefishlab.net/library/textpdf/15062.pdf>
- [29] Astari, B., Budiardi, T., Ismi, S., Effendi, I., and Hadiroseyani, Y., (2023). Increasing the stocking density of grouper nurseries for aquabusiness efficiency in Recirculating Aquaculture System (RAS) with bioremediation. HAYATI Journal of Biosciences, 30(2):198-206. <https://doi.org/10.4308/hjb.30.2.198-206>
- [30] Nakphet, S., Ritchie, R.J., and Kiriratnikom, S., (2017). Aquatic plants for bioremediation in red hybrid tilapia (*Oreochromis niloticus* × *Oreochromis mossambicus*) recirculating aquaculture. Aquaculture International, 25:619-633. <https://link.springer.com/article/10.1007/s10499-016-0060-7>
- [31] Crab, R., Kochva, M., Verstraete, W., and Avnimelech, Y., (2009). Bio-flocs technology application in over-wintering of tilapia. Aquacultural Engineering, 40(3):105-112. <http://dx.doi.org/10.1016/j.aquaeng.2008.12.004>
- [32] Crab, R., Defoirdt, T., Bossier, P., and Verstraete, W., (2012). Biofloc technology in aquaculture: beneficial effects and future challenges. Aquaculture, 356:351-356. <http://dx.doi.org/10.1016/j.aquaculture.2012.04.046>
- [33] Kaya, D. ve Genç, E., (2018). Su ürünleri yetiştiriciliğinde biyoyumak teknolojisi Biofloc technology in aquaculture. Ege Journal of Fisheries and Aquatic Sciences, 35(2):219-225. <https://doi.org/10.12714/egejfas.2018.35.2.16>
- [34] Schock, T.B., Duke, J., Goodson, A., Weldon, D., Brunson, J., Leffler, J.W., and Bearden, D.W., (2013). Evaluation of Pacific white shrimp (*Litopenaeus vannamei*) health during a superintensive aquaculture growout using NMR-based metabolomics. PLoS One, 8(3). <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0059521>
- [35] Ahmad, A.L., Chin, J.Y., Harun, M.H.Z.M., and Low, S.C., (2022). Environmental impacts and imperative technologies towards sustainable treatment of aquaculture wastewater: A review. Journal of Water Process Engineering, 46:102553. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jwpe.2021.102553>
- [36] Brito, L.O., Cardoso Junior, L.D.O., Lavander, H.D., Abreu, J.L.D., Severi, W., and Gálvez, A.O., (2018). Bioremediation of shrimp biofloc wastewater using clam, seaweed and fish. Chemistry and Ecology, 34(10):901-913. <http://dx.doi.org/10.1080/02757540.2018.1520843>

- [37] Ferreira, M.G.P., Melo, F.P., Lima, J.P.V., Andrade, H.A., Severi, W., and Correia, E.S., (2017). Bioremediation and biocontrol of commercial probiotic in marine shrimp culture with biofloc. *Latin American Journal of Aquatic Research*, 45(1):167-176. <http://dx.doi.org/10.3856/vol45-issue1-fulltext-16>.
- [38] Baganz, G.F., Junge, R., Portella, M.C., Goddek, S., Keesman, K.J., Baganz, D., and Kloas, W., (2022). The aquaponic principle—It is all about coupling. *Reviews in Aquaculture*, 14(1):252-264. <https://doi.org/10.1111/raq.12596>.
- [39] Effendi, H., Utomo, B.A., Darmawangsa, G.M., and Sulaeman, N., (2015). Combination of water spinach (*Ipomea aquatica*) and bacteria for freshwater crayfish red claw (*Cherax quadricarinatus*) culture wastewater treatment in aquaponic system. *Journal of Advances in Biology and Biotechnology*, 6(3). <https://doi.org/10.24297/jab.v6i3.6555>.
- [40] Soltani, M., Ghosh, K., Hoseinifar, S.H., Kumar, V., Lymbery, A.J., Roy, S., and Ringø, E., (2019). Genus *Bacillus*, promising probiotics in aquaculture: aquatic animal origin, bio-active components, bioremediation and efficacy in fish and shellfish. *Reviews in Fisheries Science and Aquaculture*, 27(3):331-379. <http://dx.doi.org/10.3856/vol45-issue1-fulltext-16>.
- [41] Kamilya, D. and Devi, W.M., (2022). *Bacillus* probiotics and bioremediation: an aquaculture perspective. In *Bacilli in Agrobiotechnology: Plant Stress Tolerance, Bioremediation, and Bioprospecting*, Springer International Publishing, pp:335-347. <http://dx.doi.org/10.1007/978-3-030-85465-2-15>.
- [42] Butt, U.D., Khan, S., Liu, X., Sharma, A., Zhang, X., and Wu, B., (2023). Present status, limitations, and prospects of using *Streptomyces* bacteria as a potential probiotic agent in aquaculture. *Probiotics and Antimicrobial Proteins*, 1-17. <https://doi.org/10.1007/s12602-023-10053-x>
- [43] James, G., Das, B.C., Jose, S., and VJ, R.K., (2021). *Bacillus* as an aquaculture friendly microbe. *Aquaculture International*, 29:323-353. <https://link.springer.com/article/10.1007/s10499-020-00630-0>.
- [44] Olmos, J., Acosta, M., Mendoza, G., and Pitones, V., (2020). *Bacillus subtilis*, an ideal probiotic bacterium to shrimp and fish aquaculture that increase feed digestibility, prevent microbial diseases, and avoid water pollution. *Archives of Microbiology*, 202:427-435. <https://doi.org/10.1007/s00203-019-01757-2>.
- [45] Anggraini S.I., Arfiati D., and Nursyam H., (2019). Effectiveness of *Bacillus subtilis* bacteria as a total organic matter reducer in catfish pond (*Clarias gariepinus*) cultivation. *International Journal of Biotech Trends and Technology*, 9:7-10. <http://dx.doi.org/10.14445/22490183/IJBTT-V9I2P602>.
- [46] Zokaeifar, H., Babaei, N., Saad, C.R., Kamarudin, M.S., Sijam, K., and Balcazar, J.L., (2014). Administration of *Bacillus subtilis* strains in the rearing water enhances the water quality, growth performance, immune response, and resistance against *Vibrio harveyi* infection in juvenile white shrimp, *Litopenaeus vannamei*. *Fish and Shellfish Immunology*, 36(1):68-74. <https://doi.org/10.1016/j.fsi.2013.10.007>.
- [47] Banerjee, S., Khatoun, H., Shariff, M., and Yusoff, F.M., (2010). Enhancement of *Penaeus monodon* shrimp postlarvae growth and survival without water exchange using marine *Bacillus pumilus* and periphytic microalgae. *Fisheries Science*, 76:481-487. <http://dx.doi.org/10.1016/j.algal.2023.103062>.

- [48] Li, X., Wang, T., Fu, B., and Mu, X., (2022). Improvement of aquaculture water quality by mixed *Bacillus* and its effects on microbial community structure. *Environmental Science and Pollution Research*, 29(46):69731-69742. <https://doi.org/10.1007/s11356-022-20608-0>.
- [49] De Oliveira, H.M., Owatari, M.S., Martins, M.A., Lopes, G.R., Ferreira, M.B., Jesus, G.F.A., and Mouriño, J.L.P., (2023). Probiotic BioPlus® PS modulate shrimp-tilapia polyculture pond soil microbiome and exhibit bioremediation potential. *Journal of Applied Aquaculture*, 1-18. <https://doi.org/10.1080/10454438.2023.2185562>.
- [50] He, X., Abakari, G., Tan, H., Wenchang, L.I.U., and Luo, G., (2023). Effects of different probiotics (*Bacillus subtilis*) addition strategies on a culture of *Litopenaeus vannamei* in biofloc technology (BFT) aquaculture system. *Aquaculture*, 566:739216. <http://dx.doi.org/10.1016/j.aquaculture.2022.739216>
- [51] Huang, H.H., Li, C.Y., Lei, Y.J., Zhou, B.L., Kuang, W.Q., Zou, W.S., and Yang, P.H., (2023). Effects of *Bacillus* strain added as initial indigenous species into the biofloc system rearing *Litopenaeus vannamei* juveniles on biofloc preformation, water quality and shrimp growth. *Aquaculture*, 569:739375. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2023.739375>.
- [52] Novriadi, R., Prihadi, T.H., Saragih, H.S.D., Kesselring, J., and Standen, B., (2023). Well-defined multispecies probiotic and enzyme combination outperforms traditional fermented probiotic applications in an intensive Pacific white shrimp, *Litopenaeus vannamei* (Boone, 1931), culture system. *Journal of the World Aquaculture Society*, 54(1):156-166. <http://dx.doi.org/10.1111/jwas.12935>.
- [53] Das, S.K., Mondal, B., Sarkar, U.K., Das, B.K., and Borah, S., (2022). Understanding and approaches towards circular bio-economy of wastewater reuse in fisheries and aquaculture in India: An overview. *Reviews in Aquaculture*. <http://dx.doi.org/10.1111/raq.12758>.
- [54] Lananan, F., Hamid, S.H.A., Din, W.N.S., Khatoon, H., Jusoh, A., and Endut, A., (2014). Symbiotic bioremediation of aquaculture wastewater in reducing ammonia and phosphorus utilizing Effective Microorganism (EM-1) and microalgae (*Chlorella sp.*). *International Biodeterioration & Biodegradation*, 95:127-134. <https://doi.org/10.1016/j.ibiod.2014.06.013>.
- [55] Ni, Z., Wu, X., Li, L., Lv, Z., Zhang, Z., Hao, A., and Li, C., (2018). Pollution control and in situ bioremediation for lake aquaculture using an ecological dam. *Journal of Cleaner Production*, 172:2256-2265. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.11.185>.
- [56] Zhu, B., Chen, S., Zhao, C., Zhong, W., Zeng, R., and Yang, S., (2019). Effects of *Marichromatium gracile* YL28 on the nitrogen management in the aquaculture pond water. *Bioresource Technology*, 292:121917. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2019.121917>.
- [57] Nicholas, R., Lukwambe, B., Yang, W., Zhu, J., and Zheng, Z., (2020). In situ assemblies of bacteria and nutrient dynamics in response to an ecosystem engineer, marine clam *Scapharca subcrenata*, in the sediment of an aquaculture bioremediation system. *Journal of Ocean University of China*, 19:1447-1460. <https://doi.org/10.1007/s11802-020-4464-7>.
- [58] Ramos-Corella, K., Martínez-Córdova, L.R., Enríquez-Ocaña, L.F., Miranda-Baeza, A., and López-Eliás, J.A., (2014). Bio-filtration capacity, oxygen consumption and ammonium excretion of *Dosinia*

- ponderosa* and *Chione gnidia* (Veneroida: Veneridae) from areas impacted and non-impacted by shrimp aquaculture effluents. *Revista de Biología Tropical*, 62(3):969-976.  
<https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/25412529/>
- [59] Paniagua-Michel, J. and Garcia, O., (2003). Ex-situ bioremediation of shrimp culture effluent using constructed microbial mats. *Aquacultural Engineering*, 28(3-4):131-139.  
[http://dx.doi.org/10.1016/S0144-8609\(03\)00011-6](http://dx.doi.org/10.1016/S0144-8609(03)00011-6)
- [60] Ni, M., Yuan, J., Zhang, L., Hua, J., Rong, H., and Gu, Z., (2021). In-situ and ex-situ purification effect of ecological ponds of *Euryale ferox* Salisb on shrimp aquaculture. *Aquaculture*, 540:736678.  
<https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2021.736678>
- [61] Dourou, M., Dritsas, P., Baeshen, M. N., Elazzazy, A., Al-Farga, A., and Aggelis, G., (2020). High-added value products from microalgae and prospects of aquaculture wastewaters as microalgae growth media. *FEMS microbiology letters*, 367(12).  
<https://doi.org/10.1093/femsle/fnaa081>
- [62] De Jong, E., Higson, A., Walsh, P., and Wellisch, M., (2012). Bio-based chemicals value added products from biorefineries. *IEA Bioenergy, Task42 Biorefinery*, 34:1-33.  
[https://www.academia.edu/download/72582170/Bio-Based\\_Chemicals\\_Value\\_Added\\_Products20211014-21750-1exc7nt.pdf](https://www.academia.edu/download/72582170/Bio-Based_Chemicals_Value_Added_Products20211014-21750-1exc7nt.pdf)
- [63] Siddiki, S.Y.A., Mofijur, M., Kumar, P.S., Ahmed, S.F., Inayat, A., Kusumo, F., and Mahlia, T.M.I., (2022). Microalgae biomass as a sustainable source for biofuel, biochemical and biobased value-added products: An integrated biorefinery concept. *Fuel*, 307:121782. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2021.121782>
- [64] Leong, H.Y., Chang, C.K., Khoo, K.S., Chew, K.W., Chia, S.R., Lim, J.W., and Show, P.L., (2021). Waste biorefinery towards a sustainable circular bioeconomy: a solution to global issues. *Biotechnology for Biofuels*, 14(1):1-15.  
<https://biotechnologyforbiofuels.biomedcentral.com/articles/10.1186/s13068-021-01939-5>
- [65] Kashem, A.H.M., Das, P., AbdulQuadir, M., Khan, S., Thaher, M.I., Alghasal, G., and Al-Jabri, H., (2023). Microalgal bioremediation of brackish aquaculture wastewater. *Science of The Total Environment*, 873:162384.  
<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.162384>
- [66] Marinho-Soriano, E., Azevedo, C.A.A., Trigueiro, T.G., Pereira, D.C., Carneiro, M.A.A., and Camara, M.R., (2011). Bioremediation of aquaculture wastewater using macroalgae and *Artemia*. *International Biodeterioration & Biodegradation*, 65(1):253-257.  
<https://doi.org/10.1016/j.ibiod.2010.10.001>
- [67] Muthukrishnan, S., Sabaratnam, V., Tan, G.Y.A., and Chong, V.C., (2015). Identification of indigenous bacteria isolated from shrimp aquaculture wastewater with bioremediation application: total ammoniacal nitrogen (TAN) and nitrite removal. *Sains Malaysiana*, 44(8):1103-1110. [http://www.ukm.my/jsm/pdf\\_files/SM-PDF-44-8-2015/04%20Sarmila.pdf](http://www.ukm.my/jsm/pdf_files/SM-PDF-44-8-2015/04%20Sarmila.pdf)
- [68] Geng, B., Li, Y., Liu, X., Ye, J., and Guo, W., (2022). Effective treatment of aquaculture wastewater with mussel/microalgae/bacteria complex ecosystem: a pilot study. *Scientific Reports*, 12(1):2263.  
<https://doi.org/10.1038%2Fs41598-021-04499-8>
- [69] John, E.M., Krishnapriya, K., and Sankar, T.V., (2020). Treatment of ammonia and nitrite in aquaculture wastewater by an assembled bacterial consortium. *Aquaculture*, 526:735390.  
<https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2020.735390>

- [70] Campos, C.V.F.D.S., Oliveira, C.Y.B., dos Santos, E.P., De Abreu, J.L., Severi, W., da Silva, S.M.B.C., and Gálvez, A.O., (2022). *Chlorella-Daphnia* consortium as a promising tool for bioremediation of Nile tilapia farming wastewater. *Chemistry and Ecology*, 38(9):873-895.  
<https://doi.org/10.1080/02757540.2022.2120612>
- [71] Sonia, V., Rajagopalsamy, C.B.T., Ahilan, B., and Francis, T., (2015). Influence of bioremediation on the growth and survival of *Cyprinus carpio* Var Koi using aquaculture wastewater. *I Control Pollution*, 31(2):243-248.  
[https://www.researchgate.net/publication/299511820\\_Influence\\_of\\_bioremediation\\_on\\_the\\_growth\\_and\\_survival\\_of\\_cyprinus\\_carpio\\_var\\_koi\\_using\\_aquaculture\\_waste\\_water](https://www.researchgate.net/publication/299511820_Influence_of_bioremediation_on_the_growth_and_survival_of_cyprinus_carpio_var_koi_using_aquaculture_waste_water)
- [72] Li, M., Callier, M.D., Blancheton, J.P., Galès, A., Nahon, S., Triplet, S., and Roque D'Orbcastel, E., (2019). Bioremediation of fishpond effluent and production of microalgae for an oyster farm in an innovative recirculating integrated multi-trophic aquaculture system. *Aquaculture*, 504:314-325.  
<https://dx.doi.org/10.1016/j.aquaculture.2019.02.013>
- [73] Buck, B.H., Troell, M.F., Krause, G., Angel, D.L., Grote, B., and Chopin, T., (2018). State of the art and challenges for offshore integrated multi-trophic aquaculture (IMTA). *Frontiers in Marine Science*, 5:165.  
<https://doi.org/10.3389/fmars.2018.00165>