

Effect of diatomite and seashell on ammonium nitrogen in aquarium wastewater

Dilek Şahin^{1*}, Meryem Öz², Ünal Öz³

¹Sinop Üniversitesi, Meslek Yüksekokulu, Su Altı Teknolojisi Programı, 57000, Sinop, Türkiye.

²Sinop Üniversitesi, Su Ürünleri Fakültesi, Su Ürünleri Yetiştiriciliği Bölümü, 57000, Sinop, Türkiye.

³Sinop Üniversitesi, Su Ürünleri Fakültesi, Su Ürünleri Temel Bilimler Bölümü, 57000, Sinop, Türkiye.

Abstract

In aquarium systems, nitrogenous compounds such as ammonium/ammonia are produced through the decomposition of fish metabolic wastes, feces, and uneaten feed, thereby adversely affecting water quality. In this study, the effects of powdered and gravel-sized diatomite and seashell, which can be used as natural substrate materials, on ammonium removal from aquarium wastewater were investigated. The study was conducted in five groups—control, powdered diatomite, gravel-sized diatomite, seashell, and powdered seashell—with three replicates per group. Each experimental container was filled with 600 mL of aquarium wastewater, and 6 g L⁻¹ of natural material was added to all groups except the control. Water temperature, pH, NH₃, NH₄⁺-N, and TAN values were monitored for 53 hours. At the end of the experiment, no significant differences were observed among the groups in terms of water temperature and pH (p>0.05). However, NH₃ values in the powdered and gravel-sized diatomite groups were significantly lower than those in the control group (p < 0.05). NH₄⁺-N values decreased in all treatment groups compared with the control. Diatomite and seashell contributed to the reduction of ammonium levels in aquarium wastewater. In conclusion, diatomite and seashell can be used in aquaria as low-cost, natural, and decorative substrate materials; however, diatomite was found to be more effective, particularly in ammonia control.

Keywords: Diatomite, seashell, adsorption, aquaculture, ornamental fish culture

Diyatomit ve deniz kabuğunun akvaryum atık suyunda amonyum azotu üzerine etkisi

Özet

Akvaryum sistemlerinde balık metabolik atıkları, dışkı ve tüketilmeyen yemlerin ayrışması sonucunda amonyum/amonyak gibi azotlu bileşikler oluşmakta ve su kalitesi olumsuz etkilenmektedir. Bu çalışmada, doğal substrat materyali olarak kullanılabilen diyatomit ve deniz kabuğunun toz ve çakıl boyutlarının akvaryum atık suyundaki amonyum giderimi üzerine etkisi araştırılmıştır. Çalışma; kontrol, toz diyatomit, çakıl diyatomit, deniz kabuğu ve toz deniz kabuğu olmak üzere beş grupta, üç tekerrürlü olarak yürütülmüştür. Her kaba 600 mL akvaryum atık suyu konulmuş, kontrol dışındaki gruplara 6 g L⁻¹ doğal materyal eklenmiştir. Su sıcaklığı, pH, NH₃, NH₄⁺-N ve TAN değerleri 53 saat boyunca izlenmiştir. Deneme sonunda sıcaklık ve pH açısından gruplar arasında anlamlı fark belirlenmemiştir (p>0.05). Buna karşın, toz ve çakıl diyatomit gruplarında NH₃ değerleri kontrol grubuna göre anlamlı düzeyde düşük bulunmuştur (p<0.05). Tüm uygulama gruplarında NH₄⁺-N değerleri kontrol grubuna kıyasla azalmıştır. Diyatomit ve deniz kabuğu, akvaryum atık suyunda amonyum düzeylerinin azaltılmasına katkı sağlamıştır. Sonuç olarak, diyatomit ve deniz kabuğunun akvaryumlarda düşük maliyetli, doğal ve dekoratif substrat materyali olarak kullanılabilirliği; özellikle diyatomitin amonyak kontrolünde daha etkili olduğu belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Diyatomit, Deniz kabuğu, Adsorpsiyon, Su ürünleri, Süs balıkları yetiştiriciliği

Giriş

Süs balıkları yetiştiricilik sistemlerinde optimum su kalitesini sağlamak en önemli kriterlerdendir. Su kalite parametrelerini balık metabolik atıkları ve tüketilmeyen yemler olumsuz yönde etkilemektedir. Çeşitli çalışmalarda, yoğun yetiştiricilik koşullarında tüketilmeyen yemlerden kaynaklanan atık miktarının yaklaşık %10–30 arasında değiştiği bildirilmiştir (Kibria vd., 1997; Devi vd., 2017; Hlordzi vd., 2020).

Daha önce yapılan çalışmalarda akvaryum su kalitesinin düzenlenmesi için doğal adsorban maddelerden yararlanılabileceği bildirilmiştir. Bu doğal adsorban maddeler filtre içerisinde kullanılabileceği gibi, akvaryum zemin materyali olarak da kullanımı yaygındır. Zemin materyali olarak kullanıldığında çevresel zenginleştirmenin yanı sıra su parametreleri üzerine de olumlu yönde katkı sağladıkları daha önceden yapılan çalışmalarda belirlenmiştir (Öz vd., 2021; Öz, 2024).

Çakıl, kum, toprak veya kırılmış mercan gibi birçok farklı malzeme, bir akvaryum için substrat (taban malzemesi) olarak kullanılabilir. Balık türleri, omurgasızlar ve sucül bitkilere göre substrat seçimi farklılık gösterir. Örneğin kırılmış mercan, nispeten yüksek pH, alkalinite ve sertlik seven Afrika çiklit türü veya bazı canlı



doğuran türleri için uygun olabilirken, melek balığı, çöpçü balığı, cüce vatoz türleri veya tetra türleri için uygun değildir (Öz vd., 2024). Ekolojik istekleri farklı birçok sucul canlı türünün uyum içerisinde yaşamını sürdürebilmesi için akvaryum düzenlemelerinde birçok doğal materyal kullanılmaktadır. Bu doğal materyaller kum, çakıl, kaya parçaları, toprak, turba, lav taşı, omurgasız kabukları, mercan kumu, zeolit, bentonit, leonardit, diatomit gibi doğal adsorbanlar, ağaç kökleri, dalları, yaprakları gibi hem su parametrelerinin düzenlenmesine katkı sağlayan hem de dekoratif amaçlı kullanılabilen materyallerdir (Öz vd., 2025). Bu materyaller özellikle sudaki azotlu bileşiklerin (amonyum/amonyak, nitrit, nitrat) gideriminde ve pH değerlerinin düzenlenmesinde etkili olabilmektedir (Öz vd., 2016).

Amonyanın uzaklaştırılmasında kullanılan yöntemlerden biri biyolojik ve kimyasal artımdır. Bakteriyel amonyak giderim süreçlerinde substrat oluşturmak amacıyla deniz ve tatlı su kumu, kabuklu canlı materyalleri ve aktif karbon gibi materyaller kullanılmaktadır (Aly vd., 2016). İyon değişimi, katı bir yüzeye bağlı bulunan iyonların çözeltideki iyonlarla yer değiştirdiği geri dönüşümlü bir kimyasal reaksiyondur. Katı yüzeyde bulunan iyonlar çözeltiye geçerken, çözeltideki iyonlar elektrostatik kuvvetler aracılığıyla katı yüzeye bağlanmaktadır. Bu değişim süreci, yüzeyde ve çözeltide bulunan iyon türlerinin konsantrasyonları dengeye ulaşmaya kadar devam etmektedir (Zain vd., 2018; Aly vd., 2016).

Akvaryum suyundaki amonyumun uzaklaştırılmasında kullanılan zeolit, bentonit, leonardit gibi doğal adsorbanların yanı sıra diatomların kabuklarının uzun yıllar boyunca çökmesi ile oluşmuş olan diatomitin de kullanımına yönelik araştırmaların son yıllarda araştırıldığı belirlenmiştir (Öz vd., 2022; Öz Ü., 2024). Diatomite benzer şekilde deniz kabukları ve kumu akvaryumlarda zemin materyali olarak kullanılabilir. Birbirine benzer özellikteki bu iki materyalin filtrasyon, dekorasyon ve bitki tabanı materyali olarak kullanım özelliklerinin belirlenmesi, akvaryum ekosistemlerinin düzenlenmesine çok yönlü katkılar sağlayacaktır. Özellikle yoğun yetiştiricilik için kullanılan resirkülasyon sistemlerinde bu doğal materyaller, su parametreleri ile sucul organizmalar arasındaki gerekli dengenin sağlanması ve korunması açısından çeşitli avantajlar sunmaktadır. Bu avantajlar; ekonomik olmaları, uygun fizikokimyasal özellikler taşımaları, kolay temin edilebilmeleri, işleme ve boyutlandırma ile verimliliklerinin artırılabilmesi, suda bulanıklık oluşturmamaları ve farklı dekoratif özelliklerle kullanılabilmesi şeklinde sıralanabilir (Eroğlu vd., 2017; AbuKhadra vd., 2020).

Diatomit bol miktarda bulunan, düşük maliyetli, yumuşak sedimanter kayaç yapısında silika esaslı bir materyaldir. Düşük yoğunluğa sahip gözenekli bir yapı göstermekte olup, temel olarak silisyum dioksitten oluşmaktadır. Bununla birlikte diatomit; toksik olmayan, kokusuz, doğada yüksek saflıkta ve bol miktarda bulunan, dolayısıyla düşük maliyetle temin edilebilen bir materyaldir (Bello vd., 2014). Bu çalışmada kullanılan deniz kabuğu akvaryumlarda bütün hali ile kullanılabileceği gibi toz/kırık hali de zemin materyali olarak kullanılmaktadır. Bu araştırmanın amacı, doğal zemin materyali olarak kullanılabilen diatomit ve deniz kabuğunun toz ve çakıl boyutunun akvaryum atık suyu üzerine etkisinin belirlenmesidir.

Materyal ve Yöntem

Çalışma kontrol, toz diatomit (TD), çakıl diatomit (ÇD), deniz kabuğu (DK) ve Toz Deniz Kabuğu (TDK) ndan oluşan beş farklı deneme grubundan oluşmuştur. Her bir grup 3 tekerrürlü olmak üzere toplam 15 deneme kabı kullanılmıştır. Her bir deneme kabına tatlı su akvaryumlarının atık suyundan 600 mL eklenmiştir. Bu atık su balık yemi, balık metabolik atığı (dışkı, üre, balık ölüsü), sucul bitki parçaları vb. organik maddelerden oluşmaktadır. Kontrol grubu hariç diğer deneme gruplarına 6 g L⁻¹ doğal adsorbanlardan ilave edilerek deneme grupları oluşturulmuştur.

Deneme akvaryumlarındaki suyun fiziko-kimyasal kalitesi belirli periyotlarla (başlangıç, 30. dk., 24. saat, 29. saat, 53. saat) izlenmiştir. DeneySEL veriler, YSI Professional çok parametrelili ölçüm cihazı kullanılarak belirlenmiştir. Deneme, oda sıcaklığı koşullarında yürütülmüş olup, deneme süresince herhangi bir havalandırma veya karıştırma işlemi uygulanmamıştır. Çalışmada kullanılan diatomitler Nanotech İnşaat Kimya Maden ve Lojistik firmasından, deniz kabukları ise Sinop-Türkiye kıyılarından temin edilmiştir.

Çalışma süresince NH₃ ve TAN (toplam amonyak azotu; TAN = NH₃ + NH₄⁺) düzeyleri hesaplanmış (Purwono vd., 2017); ayrıca NH₄⁺, pH ve su sıcaklığı değerleri de belirlenmiştir.

$$pK(NH_3) = \frac{2726.3}{273 + ^\circ C} + 0.0963$$

1

$$NH_3-N = 10^{(pH - pK(NH_3))} \times NH_4^+-N$$

2

$$TAN = NH_3-N + NH_4^+-N$$

3

İstatistiksel Analizler

Su kalite parametreleri, tek yönlü varyans analizi (ANOVA) ile istatistiksel olarak değerlendirilmiş ve ortalamalar Tukey testi kullanılarak %5 önem düzeyinde (p<0,05) karşılaştırılmıştır. Elde edilen sonuçların istatistiksel analizleri "Minitab Release 17 for Windows" yazılımı kullanılarak gerçekleştirilmiştir (Nanda vd., 2021).



Bulgular

Çalışmanın başlangıcında tüm gruplarda kullanılan atık suyun su sıcaklığı, pH ve amonyum değerleri sırasıyla 23,1±0,01 °C, 7,65±0,02 ve 7,94±0,00 mg L⁻¹ olarak belirlenmiştir.

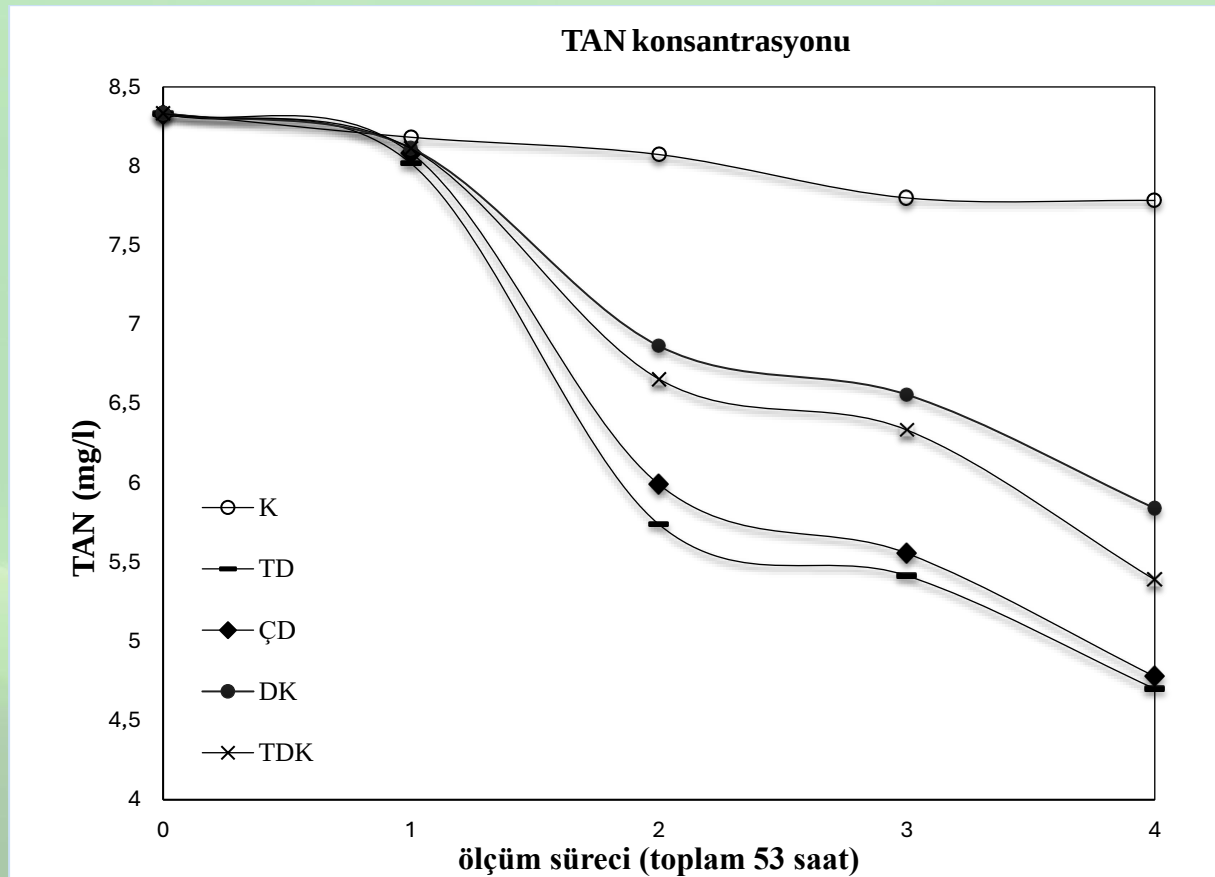
Deneme sonunda belirlenen su kalite parametreleri Tablo 1’de özetlenmiştir. Denemedeki tüm gruplarda su sıcaklığı ve pH değerleri açısından istatistiki bir farkın oluşmadığı (p>0,05) tespit edilmiştir. Deneme sonunda diyatomitin toz ve çakıl boyutu kullanılarak oluşturulan deneme gruplarında (TD, ÇD) gruplarından elde edilen NH₃ değerleri kontrol grubuna kıyasla istatistiki açıdan farklı bulunurken (p<0,05), deniz kabuğu ve toz deniz kabuğu (DK, TDK) gruplarından elde edilen NH₃ değerleri kontrol grubu ile istatistiki açıdan benzerlik (p>0,05) göstermiştir. Diyatomit ve deniz kabuğunun her iki formu NH₃ değerleri açısından istatistiki olarak incelendiğinde ise aradaki farkın önemsiz olduğu (p>0,05) tespit edilmiştir. Deneme sonunda elde edilen NH₄⁺-N değerleri incelendiğinde tüm deneme gruplarının kontrol grubundan istatistiki açıdan farklı (p<0,05) olduğu belirlenmiştir.

Tablo 1. Deneme süresince (53 saat) elde edilen su parametre değerleri

Deneme Grupları	Su sıcaklığı (°C)	pH	NH ₃ (mg L ⁻¹)	NH ₄ ⁺ -N (mg L ⁻¹)
Kontrol	19,59±0,55	8,11±0,08	0,40±0,04 ^a	7,54±0,10 ^a
Toz Diyatomit (TD)	19,53±0,55	8,09±0,08	0,27±0,02 ^b	5,70±0,39 ^b
Çakıl Diyatomit (ÇD)	19,52±0,56	8,09±0,08	0,28±0,02 ^b	5,83±0,39 ^b
Deniz Kabuğu (DK)	19,53±0,55	8,10±0,08	0,33±0,03 ^{ab}	6,51±0,28 ^b
Toz Deniz Kabuğu (TDK)	19,52±0,50	8,11±0,08	0,32±0,03 ^{ab}	6,30±0,32 ^b

*Aynı sütundaki üst simge harfler, gruplar arasındaki istatistiksel olarak anlamlı farklılıkları göstermektedir (p≤0,05).

Deneme süresince elde edilen TAN (Toplam Amonyak Azotu) değerleri ise Şekil 1 de sunulmuştur.



Şekil 1. Deneme sonunda belirlenen TAN değerleri

Tartışma

Akvaryumlarda tüm su ürünleri yetiştiricilik sistemlerinde olduğu gibi su parametre değerlerinin optimum şartlarda tutulması oldukça önemlidir. Ayrıca akvaryumlardaki substrat malzemeleri de su parametre değerlerini doğrudan veya dolaylı olarak etkileyebilmektedir. Yapısal özellikleri dolayısıyla adsorpsiyon ve iyon değişiminin



yanısıra geniş mikroskopik yüzey alanlarına sahip olması nitrifikasyon bakterilerinin yaşam alanlarının oluşması açısından önem taşımaktadır (Pungrasmi vd., 2016; Vanderzwalmen vd., 2022; Setijaningsih vd., 2024). Akuakültür sularında azotlu bileşiklerin kirliliği oldukça yaygın olup, başlıca azot kaynaklarını balık dışkıları ve tüketilmeyen yemler oluşturmaktadır (Zhang vd., 2022). Azotlu bileşikler suda $\text{NH}_4^+/\text{NH}_3$, nitrit ve nitrat gibi farklı formlarda bulunur. Amonyum (NH_4^+) ve amonyak (NH_3), pH ve su sıcaklığına bağlı olarak değişen bir denge hâlinde ve bu iki formun toplamı toplam amonyak azotu (TAN) olarak adlandırılır. Özellikle iyonize olmamış form olan NH_3 balıklar için daha toksiktir (Wright & Wood, 2012). Amonyak, mevcut seviyelere bağlı olarak balıkları hem doğrudan hem de dolaylı olarak etkiler; bazı türler amonyak toksisitesine diğerlerinden daha duyarlıdır. Amonyak toleransı türler arasında değişir. Yaklaşık 0,05 mg/L gibi düşük konsantrasyonlarda, iyonize olmamış amonyak balık türleri için zararlıdır ve zayıf büyüme ve yem dönüşüm oranlarına, azalmış doğurganlığa ve üreme yeteneğine, stres artışına ve bakteriyel enfeksiyonlara ve hastalıklara karşı duyarlılığın artmasına neden olabilir Hargreaves & Tucker, 2004). Amonyak toksisitesi, LC_{50} değeri esas alınarak değerlendirildiğinde, tatlı su balıklarında ortalama 2.79 mg L⁻¹ NH_3 , deniz balıklarında ise 1.86 mg L⁻¹ NH_3 düzeyinde ortaya çıkmaktadır (Randall & Tsui, 2002). Mevcut çalışmada amonyak konsantrasyonları toksik seviyelerin oldukça altında kalmıştır. TAN'ın bileşimi sıcaklık ve pH'ya bağlıdır, sıcaklık ve pH'daki artış, iyonize olmamış amonyak düzeyinin yükselmesine neden olmaktadır (Emerson vd., 1975).

Yapılan bu çalışmada TAN değerleri incelendiğinde, deneme grupları arasında istatistiksel olarak anlamlı farklılık olduğu belirlenmiştir ($p < 0,05$). Kontrol grubunun ortalama TAN değerlerinin, diyatomit ve deniz kabuğundan daha yüksek ($7,94 \pm 0,06$) olduğu belirlenmiştir. Hem diyatomit hem de deniz kabuğu genel olarak kendi içerisinde değerlendirildiğinde toz haliindeki substrat malzemelerin TAN değerleri karşılaştırıldığında, toz boyuttakilerin TAN değerlerinin daha düşük olduğu görülmüştür. Benzer şekilde Öz Ü, 2024 tarafından yapılan çalışmada da toz boyuttaki diyatomit uygulamalarında TAN konsantrasyonları düşük bulunmuştur. Sucul sistemlerde toplam amonyak azotu giderim veriminin değerlendirildiği Öz vd. (2022) çalışmasında diyatomitli gruplarda verimin kontrol grubuna göre %27,21 olduğu, benzer şekilde bu çalışmada da verimin toz diyatomitli grupta kontrol grubuna göre %39,59 olduğu belirlenmiştir.

Tatlı su ürünleri sistemlerinde amonyum giderimi üzerine diyatomit ile yapılmış sınırlı sayıda çalışmaya rastlanmasına rağmen deniz kabuğu ile yapılmış herhangi bir çalışmaya rastlanılmamıştır. Bu çalışmada belirlenen TAN ve pH değerleri göz önüne alındığında tatlı su akvaryumlarında her iki materyalinde zemin materyali olarak değerlendirilebileceği ve bu yönüyle de literature katkı sağlayacağı düşünülmektedir.

Sonuç

Çalışma verilerinin değerlendirilmesi sonucunda akvaryumlarda substrat malzemesi olarak sıkça kullanılan deniz kabuklularından oluşan kum ve çakılların yanısıra, diatomların fosilleşmiş hali olan diyatomitlerin akvaryum sularındaki amonyumun uzaklaştırılmasında katkı sağladıkları ortaya konmuştur. Mevcut sonuçlara dayanarak, yoğun akuakültür sistemlerinde veya akvaryum koşullarında her iki malzemenin de toksik olmayan, kokusuz, doğada yüksek saflıkta ve bol miktarda bulunan, dolayısıyla düşük maliyetle temin edilebilen materyal olmaları nedenleri ile akvaryumlarda zemin materyali olarak kullanımlarının ortama görsellik katmalarının yanında su parametrelerinin optimum seviyelerde tutulabilmelerine de katkı sağlayacakları tespit edilmiştir.

Beyanlar

Etik Kurul Onay Belgesi

Bu çalışma için herhangi bir etik kurul onayı gerekmemektedir.

Yazar Katkı Beyanı

DS: Kavramsallaştırma, araştırma, denemenin tasarlanması ve yürütülmesi, verilerin toplanması, verilerin analiz edilmesi, yazma

MÖ: Araştırma, verilerin toplanması, verilerin analiz edilmesi, yazma

ÜÖ: Verilerin analiz edilmesi, istatistiki hesaplamalar

Tüm yazarlar, makalenin yayımlanacak son hâlini okumuş ve onaylamıştır.

Finansman Beyanı

Bu çalışmada herhangi bir fon desteği bulunmamaktadır.

Çıkar Çatışması Beyanı

Yazarlar herhangi bir çıkar çatışması olmadığını beyan etmektedirler.



Teşekkür

Çalışmada kullanılan diyatomitlerin temin edilmesini sağlayan Nanotech İnşaat Kimya Maden ve Lojistik firmasına teşekkür ederiz.

Kaynaklar

- AbuKhadra, M. R., Eid, M. H., Allam, A. A., Ajarem, J. S., Almalki, A. M., & Salama, Y. (2020). Evaluation of different forms of Egyptian diatomite for the removal of ammonium ions from Lake Qarun: a realistic study to avoid eutrophication. –Environmental Pollution 266, 115277. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2020.115277>.
- Aly, H. A., Abdel Rahim, M. M., Lotfy, A. M., Abdelaty, B. S., & Sallam, G. R. (2016). The Applicability of Activated Carbon, Natural Zeolites, and Probiotics and Its Effects on Ammonia Removal Efficiency and Fry Performance of European Seabass *Dicentrarchus labrax*. – Journal of Aquaculture Research and Development 7(11): 8. <https://doi.org/10.4172/2155-9546.1000459>.
- Aquaculture Centre.
- Bello, O. S., Adegoke, K. A., & Oyewole, R. O. (2014). Insights into the Adsorption of Heavy Metals from Wastewater using Diatomaceous Earth. – Separation Science and Technology, 49, 1787-1806.
- Devi, P. A., Padmavathy, P., Aanand, S., & Aruljothi, K. (2017). Review on water quality parameters in freshwater cage fish culture. – International Journal of Applied Research, 3(5), 114-120.
- Emerson, K., Russo, R. C., Lund, R. E., & Thurston, R. V. (1975). Aqueous ammonia equilibrium calculations: Effects of pH and temperature. Journal of the Fisheries Board of Canada, 32, 2379–2383. <https://doi.org/10.1139/f75-274>.
- Eroglu, N., Emekci, M., & Athanassiou, C. G. (2017). Applications of natural zeolites on agriculture and food production. – Journal of Science and Food Agriculture. <https://doi.org/10.1002/jsfa.8312>
- Hargreaves, J. A., & Tucker, C.S. (2004). Managing ammonia in fish ponds. Southern Regional
- Hlodzi, V., Kuebutornye, F. K. A., Afriyie, G., Abarike, E. D., Lu, Y., Chi, S., & Anokyewaa, M. A. (2020). The use of *Bacillus* species in maintenance of water quality in aquaculture: a review. – Aquaculture Reports, 18, 100503. <https://doi.org/10.1016/j.aqrep.2020.100503>.
- Kibria, G., Nuggeoda, D., Fairclough, R., & Lam, P. (1997). The nutrient content and the release of nutrients from fish food and faeces. Hydrobiologia, 357, 165-171.
- Nanda, A., Mohapatra, B.B., Mahapatra, A. P. K., Mahapatra, A. P. K., & Mahapatra, A. P. K. (2021). Multiple comparison test by Tukey's honestly significant difference (HSD): Do the confident level control type I error. International Journal of Statistics and Applied Mathematics, 6(1), 59-65. <https://doi.org/10.22271/math.2021.v6.i1a.636>
- Öz, M. (2024). Determining the Usage Properties of Some Natural Substrate Materials in Submerged Macrophyte *Vallisneria* sp. Culture. Journal of Anatolian Environmental and Animal Sciences, 9(1), 137-144. <https://doi.org/10.35229/jaes.1448066>
- Öz, M., Şahin, D. & Aral, O. (2016). The Effect of Natural Zeolite Clinoptilolite on Aquarium Water Conditions. - Hacettepe Journal of Biology and Chemistry, 44 (2), 205–208.
- Öz, M., Şahin, D., Karlı, Z., Aral, O., & Bahtiyar, M. (2021). Investigation of the Use of Zeolite (Clinoptilolite) As Aquarium Filtration Material for Electric Blue Hap (*Sciaenochromis ahl*). Marine Science and Technology Bulletin, 10(2), 207-212. <https://doi.org/10.33714/masteb.895198>
- Öz, M., Şahin, D., Öz, Ü., & Aral, O. (2024). Tatlı su akvaryum balıklarının üreme davranışları, ortamı ve Materyal Seçimleri. B. Yücel & M.T. Tolon (Ed.), Su Ürünleri ve Ziraatte Yenilikçi Yaklaşımlar: Sürdürülebilirlik, Teknoloji ve Ekolojik Stratejiler (11-46). Akademisyen Yayınevi Bilimsel Araştırmalar Kitabı. <https://doi.org/10.37609/akya.3304>.
- Öz, M., Şahin, D., Yılmaz, E. & Öz Ü (2022). The potential applicability of natural minerals as filter media for modulating water quality in aquatic ecosystems. Applied Ecology and Environmental Research, 20(5), 4145–4155. <https://doi.org/10.15666/aeer>
- Öz, Ü. (2024). The assessment of raw diatomite mineral as filter equipment for aquaculture practices. International Journal of Environmental Science and Technology, 21, 9935–9942. <https://doi.org/10.1007/s13762-024-05623-7>.
- Öz, Ü., Öz, M., & Şahin, D. (2025). Akvaryum Balıklarının Tatlısu Habitatları İçin Zemin Materyali Olan Kayaç Yapılar. M. Dartay (Ed.), Su Ürünleri Değerlendirmeleri (15-46), Yaz Yayınları, Afyonkarahisar. E ISBN 978-625-8508-53-6.
- Pungrasmia, W., Phinitthanaphaka, P. & Powtongsook, S. (2016). Nitrogen removal from a recirculating aquaculture system using a pumice bottom substrate nitrification-denitrification tank. Ecological Engineering 95, 357–363. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ecoleng.2016.06.094>.
- Purwono, Rezagama, A., Hibbaan, M. & Budiardjo, M.A. (2017). Ammonia-Nitrogen (NH₃-N) and Ammonium-Nitrogen (NH₄⁺-N) Equilibrium on The Process of Removing Nitrogen by Using Tubular Plastic Media. - Journal of Materials and Environmental Science, 8 (S), 4915-4922.
- Randall, D. J., & Tsui, T. K. N. (2002). Ammonia toxicity in fish. Marine Pollution Bulletin, 45, 17–23. [https://doi.org/10.1016/S0025-326X\(02\)00227-8](https://doi.org/10.1016/S0025-326X(02)00227-8)
- Setijaningsih, L., Adiyana, K., Thesiana, L., Ardi, I., Puspangsih, D., Setiadi, E., Taufik, I., Yamin, M., & Kurniasih, T. (2024). Study of Bottom Substrate Variation in Zero Water Discharge Aquaculture for Mahseer Fish Tor Soro Nursery. Polish Journal of Environmental Studies, 33 (1), 341-349. <https://doi.org/10.15244/pjoes/170768>.
- Vanderzwalm, M., Sánchez Lacalle, D., Tamilselvan, P., McNeill, J., Delieuvin, D., Behloul, K., Hursthouse, A., McLellan, I., Alexander, M.E., Henriquez, F.L., Donna Snellgrove, D., & Sloman, K. A. (2022). The Effect of Substrate on Water Quality in Ornamental Fish Tanks. Animals, 12, 2679. <https://doi.org/10.3390/ani12192679>
- Wright, P. A., & Wood, C. M. (2012). Seven things fish know about ammonia and we don't. Respiratory Physiology & Neurobiology, 184, 231–240. <https://doi.org/10.1016/j.resp.2012.07.003>





- Zain, R. A. M. M., Shaari, N. F. I., Amin, M. F. M., & Jani, M. (2018). Effects of different dose of zeolite (clinoptilolite) in improving water quality and growth performance of red hybrid tilapia (*Oreochromis* sp.). – ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences, 13(24), 9421-9426.
- Zhang, G., Zhu, J., Yang, K., Zhu, Y., & Sang, Z. (2022). Design of an enhanced SAT using zeolite for the removal of ammonia nitrogen at a bengbu aquatic farm in China. Sustainability, 14, 16983. <https://doi.org/10.3390/su142416983>.

