

Toprak Havuzlarda Deniz Balıkları Üretimi Yapan İşletmelerin Havuz Deşarj Sistemlerinin Geliştirilmesi ve Su Kalitesi Değişimlerinin İzlenmesi

Rifat TEZEL^{1*}, Kenan GÜLLÜ¹

¹Muğla Sıtkı Koçman Üniversitesi, Su Ürünleri Fakültesi, Su Ürünleri Yetiştiriciliği Bölümü, Muğla/Türkiye
E-mail: rifattezel@mu.edu.tr

Makale Bilgisi :

Geliş:
08/08/2024
Kabul Ediliş:
22/10/2024

Anahtar Kelimeler:

- Su Ürünleri Yetiştiriciliği
- Milas
- Granyöz
- Savak
- Su kalitesi

Öz

Bu çalışmada, toprak havuzlarda deniz balıkları üretimi yapan işletmelerin havuz suyu kalitesini arttırmak için havuz çıkışına yeni tahliye sistemi geliştirilmesi ve havuzlarda su kalite değişimlerinin ortaya konulması amaçlanmıştır. Araştırmada; Kontrol (K), Taban tahliye sistemli (T) ve havalandırma takviyeli taban tahliye sistemli (TH) olmak üzere 3 adet farklı dizayna sahip toprak havuz kullanılmıştır. Bu farklı dizayna sahip havuzlardaki suyun fiziko-kimyasal parametreleri, azotlu bileşikler (nitrit, nitrat, amonyum, amonyak), toplam fosfor, klorofil-a ve askıda katı madde değerleri aylık olarak, 11 ay süresince izlenmiştir. Ayrıca havuzların tabanlarında organik madde miktarı değişimini izlemek için 3 ayda bir sediment örnekleri alınarak analiz edilmiştir. Çalışma sonucunda, yeni kurulan taban tahliye sistemi, geleneksel tahliye sisteminden daha başarılı bulunmuştur. Tabanda birikmiş organik maddeyi tahliye etmede yeni sistem, geleneksel tahliye sisteminden yaklaşık 7 kat daha etkili olmuştur. Havuz suyundaki oksijen miktarını artırmak amacıyla tasarlanan havalandırma sistemi, sistemden geçen suyun çözünmüş oksijen değerini ortalama 0,87 mg/L arttırmıştır. Sonuç olarak, yeni geliştirilen tahliye sisteminin kullanılması ile üretim sürecinde tabana çöken ve birikim yapan organik materyal, önemli ölçüde uzaklaştırılabileceği ortaya konmuştur. Çalışma kapsamında üretilen veriler, toprak havuz işletmelerinin sürdürülebilirliğine olumlu katkılar sağlayacaktır.

Improving The Pond Discharge Systems Of Earthen Pond Aquaculture Enterprises Produces Marine Fish And Monitoring The Water Quality Changes

Article Info

Received:
08/08/2024
Accepted:
22/10/2024

Keywords:

- Aquaculture
- Milas
- Meagre
- Sluiceway
- Water quality

Abstract

In this study, developing a new bottom discharge system for increasing the water quality of pond and to reveal the water quality changes in the ponds of earthen pond enterprises that produces marine fish. In the research, three differently designed earthen ponds were used: Control (K) pond, Bottom discharge system pond (T) and Aeration reinforced bottom discharge system pond (TH). Physico-chemical parameters, nitrogen compounds (nitrite, nitrate, ammonium, ammonia), total phosphorus, chlorophyll-a and suspended solids amounts of water in these differently designed earthen ponds, were monitored monthly for 11 months. In addition, sediment samples were taken and analyzed every 3 months to monitor the change in the amount of organic matter at the bottom of the ponds. At the end of study, new bottom discharge system was found more successful than the traditional discharge system. In discharging the organic matter accumulated in the pond bottom, the new system was found about 7 times more effective than the traditional discharge system. The aerator system designed with the purpose of increasing dissolved oxygen level in pond water had increased the dissolved oxygen level of water passes from the system averagely 0,87 mg/L. As a conclusion it has been shown, with the use of newly developed bottom discharge system, organic material that sinks to the bottom and accumulates during the production period, can be removed significantly. The data produced within the scope of the study will contribute positively to the sustainability of the earthen pond enterprises

Atf bilgisi / Cite as: Tezel, R. & Güllü, K. (2024) Toprak Havuzlarda Deniz Balıkları Üretimi Yapan İşletmelerin Havuz Deşarj Sistemlerinin Geliştirilmesi ve Su Kalitesi Değişimlerinin İzlenmesi. Menba Kastamonu Üniversitesi Su Ürünleri Fakültesi Dergisi, 10 (3), 65-81. DOI: 10.58626/menba.1530431.

GİRİŞ

Su ürünleri yetiştiriciliği sektörü, yakın geçmişte en hızlı büyüyen hayvansal gıda üretim sektörü olmuştur. Bu sektör diğer tarımsal sektörlerle göre nispeten daha yeni bir sektör olduğundan, gelecekte de büyümeye devam etme ve gelişim gösterme potansiyeline sahiptir (Guillen vd., 2019). 2024-2028 yılları arasını kapsayan On İkinci Kalkınma Planı'nda yetiştiricilik üretiminde doğal kaynaklar ve biyoçeşitlilik korunarak yapılacak yeni yatırımlar ile üretim ve ihracatın artırılacağı ve yeni su ürünleri yetiştiricilik bölgeleri planlanacağı, yetiştiricilik tesislerinin kapasite kullanım oranlarının ve üretim verimliliğinin yükseltileceği belirtilmiştir (SBB, 2023). Sektörün yaşadığı sorunların çözümüne yönelik yapılacak çalışmalar, planlanan yeni yatırımlara model oluşturacak ve su ürünleri yetiştiriciliği sektöründeki büyümenin iyi yönetilmesine katkı sağlayacaktır.

Muğla İli, Milas ilçesine bağlı Ekinambarı, Savran, Yaşyer ve Avşar köylerinde bulunan toprak havuz işletmelerinde önemli miktarda deniz balıkları yetiştiriciliği yapılmaktadır (Güllü, 2012). Toprak havuz işletmelerinde üretim sonucunda, havuz tabanında önemli miktarda dip çamuru birikmektedir. Biriken çamurda bulunan organik yük, mikroorganizmalar için doğal besin ortamı oluşturarak, mikroorganizmaların çoğalmasına ve havuz içerisindeki su kalitesinin bozulmasına neden olmaktadır. Toprak havuz işletmelerinde kullanılan havuzların boyutlarının çok büyük olmasının, üretim süreçlerinin iyi yönetilememesine, havuz sistemleri kaynaklı oksijen sıkıntısı yaşanmasına ve havuz tabanında organik materyal birikmesine neden olduğu ortaya konmuştur (Tezel ve Güllü, 2017). Toprak havuz işletmelerinde, havuzların tabanında biriken organik maddeler, suyun biyolojik ve kimyasal özelliklerinde değişimlere neden olmakta ve havuzdaki plankton miktarının artmasına sebep olmaktadır (Serpa vd., 2007). Havuz tabanında yüksek miktarda organik materyal birikmesinin neticesinde, havuzlarda oksijen ihtiyacı artmakta ve bunun sonucu olarak da balık üretimi olumsuz etkilenmektedir (Boyd, 1995; Serpa vd., 2007). Ayrıca havuz tabanındaki anaerobik şartların, bentik organizmaların çoğalmasına ve toksik olabilecek mikrobiyal metabolitlerin suya geçmesine olanak sağlayabileceği bildirilmiştir (Boyd, 1995; Xinglong ve Boyd, 2006). Havuz içerisindeki çevresel faktörlerin bozulmasıyla, havuzlardaki çözünmüş oksijen miktarını artırmak, amonyak ve nitrit gibi toksik etki oluşturma potansiyeli olan bileşikler azaltmak için su değişimi artırılmaktadır (Brambilla vd., 2007; Burford and Lorenzen, 2004; Serpa vd., 2013). Ülkemizde faaliyet gösteren toprak havuz işletmelerinde; yetiştiriciliği yapılan balık türüne, stok yoğunluğuna ve su kalitesine bağlı olarak havuzlarda günlük 1/2 ile 1/6 oranında su değişimi yapılmaktadır. Toprak havuzlarda su döngüsünü arttıracak ve havuz tabanından birikintileri hızla tahliye edecek, yeni havuz modelleri geliştirilmesi halinde, havuz tabanında biriken ve mikroorganizmalar için doğal besin ortamı oluşturan, organik yük azaltılarak balık refahında iyileşmeler sağlanacaktır.

Bu çalışmada, toprak havuzlarda deniz balıkları üretimi yapan işletmelerin havuz suyu kalitesini arttırmak için havuz çıkışıma yeni tahliye sistemi geliştirilmesi ve havuzlardaki su kalite değişimlerinin ortaya konulması amaçlanmıştır. Çalışma kapsamında üretilen veriler, toprak havuz işletmelerinin sürdürülebilirliği için oldukça önemlidir. Bu çalışmanın olumlu sonuçları, ileride yapılabilecek yeni toprak havuz işletmesi yatırımlarının planlanmasına da önemli katkılar sağlayabilecektir.

MATERYAL VE YÖNTEM

Çalışmanın Yeri ve Deneme Deseni

Bu çalışma, Muğla'nın Milas İlçesine bağlı Savran Köyündeki ticari bir toprak havuz işletmesinde gerçekleştirilmiştir (Lokasyon: 37°16'88"K 27°43'42"D, Türkiye). Çalışma kapsamında, 66m x 14m x 3m ebadında, yaklaşık su hacmi 1500 m³ olan, 3 adet toprak havuz kullanılmıştır. Havuzlar; Kontrol (K), Taban tahliyeli (T), Havalandırma takviyeli taban tahliyeli (TH) şeklinde isimlendirilmiştir (Şekil 1). Hâlihazırda işletmelerde kullanılan klasik tahliye sistemli bir havuz K havuzu olarak kullanılmıştır. T havuzuna, yeni tasarlanmış taban tahliye sistemi kurulmuştur. TH havuzuna ise yeni tasarlanmış taban tahliye sistemi ile havuz içerisinden suyu alıp, havalandırarak tekrar havuza akıtan bir havalandırma sistemi kurulmuştur.

Günlük Su Değişimi ve Havuzlara Yeni Taban Tahliye Sisteminin Kurulumu

İşletmenin granyöz balığı (*Argyrosomus regius*) üretiminde uyguladığı üretim stratejisi doğrultusunda, günlük su değişimi yaklaşık 1/6 defa olacak şekilde gerçekleşmiş ve tüm hesaplamalar bu değere uygun yapılmıştır. Yeni tahliye sisteminde, su akış hızı yaklaşık 2 m/sn olacak şekilde belirlenmiş ve havuz su yüzeyi ile su çıkış deşarj noktası arasındaki kot farkı 25 cm olarak ayarlanmıştır. Tahliye sistemi kurulumunda 63 mm çaplı polietilen borular kullanılmıştır. Borularda açılan deliklerin çapı, taban çamurunun akışına olanak sağlayacak, ancak yavru balıkların geçişine ise imkân vermeyecek şekilde 8 mm olarak seçilmiştir. Borular üzerine, su girişini kolaylaştırmak ve enerji kayıplarını en aza indirmek amacıyla içe doğru kavisli, yanlarda birer metre, üstlerde ise 10 metre arayla toplamda 66 adet delik açılmıştır (Şekil 2.a). Borular 3 hat şeklinde havuz tabanına batırıcılar kullanılarak yerleştirilmiştir olup (Şekil 2.b ve Şekil 2.c) çıkış kısımları da tahliye kanalına bağlanmıştır (Şekil 2.d). Havuzlarda su seviyesini dengelemek için borunun son kısmına iki kademeli bir düzenek eklenmiştir (Şekil 2.e). Havuz tahliye sistemlerinin sonuna eklenen, seyyar ve çıkarılabilir bu düzenek haftada 1-2 kez çıkarılarak su akış hızı artırılmış ve boru içerisinde oluşabilecek parçacık birikimi engellenmiştir.

Yüzey Havalandırıcılarının Kullanımı ve Yeni Havalandırma Sisteminin Kurulması

İşletmedeki üretim havuzlarında suyun havalandırılması amacıyla hâlihazırda kullanılmakta olan pedallı yüzey havalandırıcılar, tüm havuzlarda herhangi bir değişiklik yapılmadan kullanılmaya devam edilmiştir. Çalışma boyunca havuzlarda kış aylarında birer adet, yaz aylarında ise ikişer adet pedallı yüzey havalandırıcı kullanılmıştır. İşletmenin üretim stratejisi doğrultusunda, tüm havuzlardaki yüzey havalandırıcıları eş zamanlı olarak çalıştırılmıştır. T havuzundan farklı olarak TH havuzuna, kurulan yeni tasarlanmış havalandırma sistemi, havuz içerisinde çözünmüş oksijen değerinin en düşük tespit edildiği noktadan suyu alıp yeniden havuza boşaltmaktadır (Şekil 3). Su çekimi; 1,5 Hp gücünde, 1,1 kilowatt/saat enerji tüketimi olan bir adet motopomp ile yapılmıştır. Havuzdan 63 mm çapında boruyla alınan su 100 mm çapındaki boruya yüksekte akıtılmıştır. Suyun serbest düşme mesafesi 100 cm ve yatay akış mesafesi ise 200 santimetredir.

Havalandırma sisteminin çalışma prensibi; 63 mm çaplı borudan 100 mm çaplı boruya su akışı esnasında oluşan burgaç neticesinde, havalandırma bacasından aşağıya doğru çekilen havanın içerisindeki atmosferik oksijenin suya karışmasıdır. Yere yatay olarak uzanan borunun ucuna, yukarı yönlü 90° açılı bir dirsek eklenerek yatay borunun su ile dolu olması sağlanmış ve yukarıdan emilerek gelen havanın, su içerisinde iyice çözünmesi sağlanmıştır. Havalandırma amacıyla kullanılan sistem, bir saat çalışıp bir saat duracak şekilde programlanmıştır ve günlük ortalama 218,76 m³ havuz suyu havalandırılarak tekrar havuza akıtılmıştır.

Havuzlara Balıkların Konulması ve Beslenmesi

Deneme havuzlarına balıkların yerleştirilmesindeki stok yoğunluğu oranı, balıkların yemlenmesi gibi üretim faaliyetleri ve üretim şartları tamamen işletmenin ticari üretim şartlarında gerçekleşmiş ve üretim süreci işletme personeli tarafından yürütülmüştür. Her bir havuza, ortalama ağırlığı 67,84 gram olan 18.650 adet granyöz balığı konulmuştur. Balıklar, toplam biyokütlenin yaklaşık %1'i kadar yem verilerek beslenmiştir. Çalışma süresince (Ekim 2018-Eylül 2019) K, T ve TH havuzlarına sırasıyla 7133 kg, 7201 kg ve 7324 kg yem verilmiştir. Hasat stok yoğunluğu, ortalama 6 kg/m³ olacak şekilde gerçekleştirilmiştir.

Fiziko-Kimyasal Parametrelerinin İzlenmesi

Suyun fiziko-kimyasal parametrelerinin izlenmesi amacıyla her havuzda 9 adet simetrik nokta belirlenmiştir (Şekil 4). Su sıcaklığı, çözünmüş oksijen, oksijen doygunluğu, pH, iletkenlik, tuzluluk ve sudaki toplam çözünmüş katı madde (TDS) değerleri, YSI® marka multi-parametre su kalitesi ölçüm cihazı ile aylık olarak yüzeyden (0,5 metre derinlikten) ve dipten ölçülmüştür. Ayrıca havuzların giriş ve çıkış sularında da ölçümler yapılmıştır. Fiziko-kimyasal parametrelerin, gece ve gündüz ölçüm sonuç değerlerinin karşılaştırılması amacıyla, Mart-Ağustos 2019 tarihleri arasında, aylık olarak 6 kez gece ölçümü yapılmıştır. Gündüz ölçümleri 11.00-12.00 saatleri arasında, gece ölçümleri ise 04.00-05.00 saatleri arasında gerçekleştirilmiştir.

Su ve Sediment Örneklerinin Alınması

Havuzların giriş, orta ve çıkış yönünde; havuzların orta hattında bulunan 3 simetrik noktadan, aylık olarak su numuneleri yüzeyden bir metre derinlikten, su örnekleyici (0,5 L) kullanılarak alınmıştır (Şekil 4). Ayrıca havuzların giriş suyundan ve çıkış sularından da aylık olarak su örnekleri alınmıştır. Örnekler uygun koşullar altında (+4 °C) Muğla Sıtkı Koçman Üniversitesi Su Ürünleri Fakültesi'ne getirilmiş ve takiben analiz edilmiştir.

Sediment örnekleri havuzların giriş, orta ve çıkış yönünde; havuzların orta hattında bulunan 3 simetrik noktanın tabanından alınmıştır (Şekil 4). Havuzların tabanında biriken organik maddenin miktarının belirlenebilmesi için çalışma başlangıcında ve üçer aylık dönemlerde sediment örneği van veen dip örnekleyicisi (yüzey alanı=260 cm²) ile alınmış ve alınan sediment örnekleri analiz edilmek üzere laboratuvara getirilmiştir.

Azotlu Bileşikler ve Toplam Fosfor Miktarlarının İzlenmesi

Alınan su numunelerinin tamamında; nitrit (NO₂-N), nitrat (NO₃-N), amonyak (NH₃-N), amonyum (NH₄⁺-N) ve toplam fosfor analizleri gerçekleştirilmiştir. Tüm analizler Hach Lange® marka DR 3900 model spektrofotometre ile uygun test kitleri kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

Su ve Sediment Örneklerinde Organik ve İnorganik Madde Miktarlarının Belirlenmesi

Su örneklerindeki organik ve inorganik madde miktarları gravimetrik yöntemle belirlenmiştir (USEPA, 1979). Alınan su örnekleri 0,43 mikron göz açıklığına sahip sabit tartıma getirilmiş cam fiber Whatmann® GF/F (47mm) filtre kâğıtları kullanılarak, Sartorius® marka vakum pompasıyla süzülüş ve nemi JSR® marka etüvde 105 °C sıcaklıkta uzaklaştırılmıştır. Filtreler desikatör içerisinde soğutulduktan sonra, son ağırlıktan filtrenin darası çıkarılarak, süzülen su örneğindeki toplam askıda katı madde miktarları hesaplanmıştır. Daha sonra aynı filtreler 550 °C sıcaklıkta krezeller içerisinde Thermconcept® marka kül fırınında yakılmıştır. Desikatör içerisinde soğutulan filtrelerin ağırlığından boş filtre ağırlığı çıkarılarak örnekteki inorganik madde miktarı belirlenmiştir. Toplam askıda katı madde miktarından, inorganik madde miktarı çıkarılarak da örneklerin organik madde miktarları hesaplanmıştır.

Sediment örneklerinin nemi, 24 saat JSR® marka etüvde 105 °C sıcaklıkta bekletilerek uzaklaştırılmıştır. Desikatörde soğutulan örnekler, bir havan yardımıyla öğütülerek toz haline getirilmiştir. Sabit tartıma getirilmiş ve darası alınmış krozelere, yaklaşık 2 gram örnek konulmuştur. Kroze içerisindeki örnekler 24 saat 550°C sıcaklıkta, Thermconcept® marka kül fırınında bekletilerek, organik maddenin yanması sağlanmıştır. Desikatör içerisinde soğutulan krozelerin yeniden tartımı yapılmıştır. Yapılan tartımdan, krozenin darası çıkarılarak örnek içerisindeki inorganik madde miktarı bulunmuştur. Kroze içerisine başlangıçta konulan örnek ağırlığından, inorganik madde miktarı çıkarılarak da organik madde miktarı hesaplanmıştır. Taban çamurunun, organik ve inorganik madde miktarının belirlenmesi amacıyla yapılan yakma işlemleri, 3 tekerrürlü olarak gerçekleştirilmiştir. Yapılan ölçümlerin tamamı 0,0001 g hassasiyette Sartorius® marka terazi kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

Tahliye Sistemlerinin Etkinliğinin Karşılaştırılması

Havuz tabanına çöken organik atığın tahliye edilebilirliği, havuzlarda kullanılan tahliye sistemlerinin başarısını göstermektedir. Havuz suyu; organik maddelerin uzaklaştırılmasında, taşıyıcı olarak görev yapar. Havuz suyunda askıda bulunan organik maddelerin yanında, tabana çökerek biriken organik maddelerin de deşarj edilmesi, tahliye sisteminin etkinliğinin göstergesi olarak belirlenmiştir (Şekil 5). Kullanılan tahliye sistemlerinin, havuzlardan uzaklaştırdığı organik madde miktarı, havuz sularında askıda bulunan organik madde miktarları ile ilişkilidir. Bu ilişkinin çok yüksek olması, tahliye sisteminin sadece havuz suyunda askıda bulunan organik maddeyi uzaklaştırdığı anlamına gelmektedir. Havuzlarda kullanılan tahliye sistemlerinin uzaklaştırdığı organik madde miktarı ile havuz sularında askıda bulunan organik madde miktarları arasındaki ilişki dikkate alınarak tahliye sisteminin başarısı test edilmiştir.

Sudaki Klorofil-a Miktarlarının Belirlenmesi

Havuzların ortasından ve su çıkışına yakın noktasından her ay 2 adet su örneği alınarak klorofil-a miktarları izlenmiştir. 200 mL su örneği, 0,43 mikron göz açıklığına sahip cam fiber Whatmann® GF/F (47mm) filtre kâğıtları ile süzümüştür. Her bir filtre, kapaklı falcon tüplere yerleştirilerek üzerlerine 10 mL aseton (% 99,9 saflıkta, Merck®) eklenmiş ve ışık görmeyecek şekilde, bir gün boyunca +4 °C sıcaklıkta bekletilmiştir. Her bir örnek, Hach Lange® marka DR3900 model spektrofotometrede sırasıyla 630, 647, 664 ve 750 nanometre dalga boylarında okutulmuştur. 750 nanometre dalga boyu, bulanıklıktan oluşabilecek hatayı gidermek için kullanılmış ve tüm değerlerden çıkartılmıştır. Klorofil-a miktarları USEPA (1997) metoduna göre hesaplanmıştır.

İstatistiksel Analizler, Verilerin Değerlendirilmesi ve Görsel Çizimler

Veriler, Microsoft® Office Excel ve IBM® SPSS 22.0 paket programı kullanılarak analiz edilmiştir. Verilerin normal dağılım gösterip göstermediği Kolmogorov-Smirnov ve Shapiro Wilk normal dağılım testleriyle, varyansların homejenliği ise Levene testi ile test edilmiştir. Gruplar arasındaki farklar One-Way ANOVA, Kruskal Wallis, Repeated Measures ANOVA ve Post-Hoc analizleriyle belirlenmiştir. Birbiri ile ilişkili olan parametreler Pearson Korelasyon analizine tabi tutulmuştur. Yapılan tüm istatistiksel analizler %95 güven aralığında gerçekleştirilmiştir ve p<0,05 olması istatistiksel olarak anlamlı fark olduğunu ifade etmektedir (Özdamar, 2011). Sonuçların görsel olarak sunulması amacıyla, 3D FieldPro® 4.5.7.0 haritalama programı kullanılarak grafikler oluşturulmuştur. Ayrıca havuzların üç boyutlu görsel çizimleri, SketchUp® çizim programı kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

BULGULAR VE TARTIŞMA

Fiziko-Kimyasal Parametre Değerleri

Yapılan çalışmada, tesis giriş suyunda ve havuzlarda çalışma süresince görülen su sıcaklığı, çözülmüş oksijen miktarı, oksijen doygunluğu, tuzluluk, pH, TDS ve iletkenlik değerlerine ilişkin veriler Çizelge 1’de verilmiştir.

Su sıcaklığı, solunum, besin tüketimi, sindirim, özümleme ve balık davranışları üzerinde önemli etkiler oluşturur (Egemen, 2005). Ayrıca su sıcaklığı sucül ekosistemin doğal üretkenliğini etkiler ve doğrudan ya da dolaylı olarak su kalitesi değişkenlerini düzenler (Brambilla vd., 2007). Çalışma boyunca elde edilen su sıcaklığı değerleri dikkate alındığında, toprak havuz işletmelerinde gerçekleştirilen diğer çalışmalar ile benzerlik göstermiştir (Köymenoğlu, 2013; Şaşı ve Tuzkaya, 2012). İşletmelerde yeraltı suyu kullanılıyor olması nedeniyle, yıl boyunca havuzların giriş suyu sıcaklık değerlerinde önemli bir değişim gözlemlenmemiştir.

Su ürünleri yetiştiriciliği açısından pH değeri, kimyasal ve biyolojik faaliyetleri etkileyen en önemli parametrelerden biridir. Havuzlarda üretimin başlamasıyla, bitki aktivitesi, bakteriler ve balıklar, pH değerinin günlük olarak değişmesine neden olurlar (Boyd ve Tucker, 1998; Egemen, 2005). Toprak havuz işletmelerinde daha önce gerçekleştirilmiş çalışmalarda, Köymenoğlu (2013) pH değerini 7-8 arasında, Şaşı ve Tuzkaya (2012) 6,37-7,61 arasında bildirmişlerdir. Mevcut çalışmada ise pH değerleri daha yüksek bulunmuştur. Bu durum işletmenin kurulu olduğu arazinin toprak yapısından ve üretimde kullanılan yeraltı suyunun temin edildiği kuyunun özelliklerinden kaynaklanmış olabilir.

Su kaynağının tuzluluğu, havuz suyu tuzluluğunu belirleyen en önemli etkidir. Havuz suyu tuzluluğu, yüksek yağış ya da buharlaşma süreçleri boyunca değişir. Havuz sularında tuzluluk değerleri, kış aylarında yağışların etkisiyle kısmen değişiklik gösterse de yaz aylarında nispeten daha sabit bir seyir göstermiştir. Şaşı ve Tuzkaya (2012) yaptıkları çalışmada tuzluluk değerlerini %5,60-10,95 arasında bulmuşlardır. Mevcut çalışmanın gerçekleştirildiği bölgede yapılan bu çalışma ile benzer

sonuçlar tespit edilmiştir. Bu çalışmayla benzer olarak, Şaşı ve Tuzkaya (2012) elektriksel iletkenlik değerinin giriş ve çıkış sularında sırasıyla 10.300-17.988 $\mu\text{S}/\text{cm}$ ve 10.314-18.127 $\mu\text{S}/\text{cm}$ aralığında değiştiğini bildirmiştir.

Köymenoğlu (2013) TDS değeri 2,695-34,450 g/L arasında bildirmiştir. Şaşı ve Tuzkaya (2012) TDS değerinin işletme giriş ve çıkış sularında sırasıyla 6,022-11,190 g/L ve 6,114-11,420 g/L olduğunu bildirmiş olup elde ettikleri sonuç, bu çalışmalarda belirlenen sonuçlarla benzerlik göstermektedir.

Çözünmüş oksijen miktarı yetiştiricilikte en önemli su kalite parametrelerinden bir tanesidir (Egemen, 2005). Havuz suyunda bulunan çözünmüş oksijen miktarı, havuzdaki üretimin temel kısıtlayıcısıdır. Oksijen balıkların solunumu, atıkların ayrıştırılması ve alglerin solunumu için gereklidir (Bosma ve Verdegem, 2011).

Yapılan çalışmada, havuzların giriş suyunda ortalama 5,98 \pm 0,48 mg/L olarak belirlenen çözünmüş oksijen miktarı, Şaşı ve Tuzkaya'nın (2012) aynı bölgede yapılmış çalışmasıyla benzerlik göstermektedir.

Havuzlarda su sıcaklığının en düşük olduğu Aralık ayında, çözünmüş oksijen değeri en yüksek seviyede ölçülmüştür. Sıcaklığın artmaya başladığı Yaz aylarında ise sudaki oksijen miktarı, en düşük seviyelerde bulunmuştur. Havuzlarda en yüksek çözünmüş oksijen değeri, Aralık ayında 9,11 \pm 0,10 mg/L ile TH havuzun yüzeyinde, en düşük çözünmüş oksijen değeri ise 3,14 \pm 0,27 mg/L ile Mayıs ayında K havuzunun tabanında ölçülmüştür. Havaaların ısınması sonucunda artan su sıcaklıkları, yemleme miktarının yaz aylarında artması, balık boylarının büyümesi vb. biyotik ve abiyotik etkiler sonucunda, havuzlarda yaz aylarında çözünmüş oksijen değerleri azalmıştır (Boyd ve Tucker, 1998). Brambilla vd. (2007) İtalya'da lagün alanına entegre edilerek kurulmuş toprak havuz işletmesinde, yaz aylarında çözünmüş oksijen değerlerinin bu çalışma ile örtüşür bir şekilde düştüğünü tespit etmişlerdir. Ayrıca Brambilla vd. (2007)'nin bildirdikleri bahar aylarındaki 10 \pm 2,3 mg/L ve yaz aylarındaki 6,1 \pm 1,1 mg/L ortalama çözünmüş oksijen değerlerinin mevcut çalışmadan yüksek olmasına, İtalya'da bulunan işletmede, oksijenlendirme amacıyla saf oksijen kullanılmasının neden olduğu düşünülmüştür.

Havuzlarda çözünmüş oksijen değerini pozitif yönde değiştiren en önemli etkenlerden bir tanesi, rüzgârın etkisiyle oluşan dalgalanmaya bağlı olarak atmosferik oksijenin havuz suyuna geçiş yapmasıdır. Özellikle Aralık ayında gerçekleşen arazi çalışmasında, rüzgârın etkisiyle, havuzlardaki çözünmüş oksijen değerleri oldukça yüksek bulunmuştur. Bu dönemde, havuzlarda oksijen değerleri çok yüksek tespit edilmesine rağmen, işletmede yüzey havalandırıcı pedallı aeratör kullanımına devam edildiği görülmüştür. Çözünmüş oksijen değerinin yüksek olduğu dönemlerde yüzey havalandırıcılarının kullanımının azaltılabileceği düşünülmektedir. Çözünmüş oksijen değerinin yüksek olduğu dönemlerde yüzey havalandırıcılarının kullanımı işletmelerin elektrik maliyetlerinin artmasına sebep olacaktır. Bu nedenle çözünmüş oksijen değeri sürekli olarak takip edilmeli ve ihtiyaç duyulmayan süreçlerde kullanımı azaltılmalı ya da durdurulmalıdır.

Bir üretim havuzunda, su girişinin olduğu bölümdeki oksijen seviyesinin, su çıkışı kısmından her zaman daha yüksek olması beklense de bu durum balıkların havuzda yüzdükleri alana ve diğer dış etkenlere bağlı olarak farklılık gösterebilmektedir (Bregnballe, 2015). Mevcut çalışmada, soğuk kış dönemlerinde çözünmüş oksijen değerinin, havuzlar içerisinde genellikle homojen dağılım gösterdiği, yaz dönemlerinde ise çözünmüş oksijen değerinin, havuz su girişi tarafında, tahliye kanalı tarafına göre nispeten daha düşük olduğu belirlenmiştir (Şekil 6). Bu durumun, havuzlarda kullanılan pedallı aeratörlerin, oksijenlendirdiği su kütesini, tahliye kanalına doğru yönlendirmesinden kaynaklandığı düşünülmektedir.

Farrelly vd. (2015) yaz aylarında düşen çözünmüş oksijen değerlerinin Eylül ve Ekim aylarında yeniden biraz arttığını bildirmişlerdir. Mevcut çalışmada da Eylül ayında kontrol grubunda oksijen değerinin arttığı görülmüştür. Bu artışın, kontrol havuzunda meydana gelen klorofil-a miktarının artmasından kaynaklandığı düşünülmektedir.

Yetiştiricilik havuzlarında çözünmüş oksijen miktarı, çeşitli biyolojik fiziksel ve kimyasal sürece bağlı olarak değişmektedir. Her ne kadar oksijen, su ve hava arasında difüzyon yoluyla geçebiliyor olsa da havuz suyundaki, çözünmüş oksijen yoğunluklarını yönetmede, çoğunlukla biyolojik olaylar fiziksel olaylardan daha önemlidir. Fotosentez hızının, solunum hızından yüksek olduğu sularda, karbon dioksit yoğunluğu düşük, çözünmüş oksijen yoğunluğu yüksek olacaktır. Solunum hızının, fotosentez hızından fazla olduğu durumlarda, çözünmüş oksijen değerleri düşecektir (Boyd ve Tucker, 1998).

Oksijen eksikliği, genellikle yaz aylarında, sabah saatlerinde bakteriler tarafından organik materyallerin parçalanması ve sucul bitkilerin solunum yapması nedeniyle görülür (Svobodova vd., 1993). Farrelly vd. (2015) yaptıkları çalışmada, havuzlarda en düşük çözünmüş oksijen değerlerini, sabah gündeğümü öncesinde belirlemişlerdir.

Havaaların ısınmaya başladığı ilkbahar ve yaz döneminde 6 ay süreyle (Mart-Ağustos), havuzlarda gündeğümünden önce su sıcaklığı, çözünmüş oksijen değeri, oksijen doygunluğu, tuzluluk, pH, TDS ve iletkenlik değerleri incelenmiş ve sonuçlar Çizelge 2'de verilmiştir.

Gündüz ve gece ölçülen çözünmüş oksijen değeri, oksijen doygunluğu ve pH değerlerinde istatistiksel olarak farklılıklar olduğu belirlenmiştir ($p<0,05$) (Çizelge 2). T ve TH gruplarında çözünmüş oksijen değerlerinin kontrol grubundan daha yüksek olduğu görülmektedir. Gece ve gündüz ölçülen çözünmüş oksijen değerlerinin, Mart-Ağustos döneminde havuzlar içerisinde gösterdiği dağılımı şekil 6'da gösterilmiştir. Çözünmüş oksijenin değerlerinin T ve TH havuzlarında daha yüksek tespit edilmesi havuzlarda yapılan yeni uygulamaların olumlu etkisi olarak yorumlanmıştır.

Yapılan çalışmada, gündüz ve gece saatlerinde ölçülen pH değerlerinin, istatistiksel olarak farklı olduğu belirlenmiştir ($p<0,05$). Tüm havuzlarda gündüz ölçülen pH değerlerinin birbirine yakın olduğu görülmüştür. Ancak gece ölçülen pH değerleri incelendiğinde, kontrol grubunda pH değerlerinin daha düşük olduğu görülmektedir. Bu durumun, artan alg yoğunluğuna bağlı olarak, gece süresince solunum miktarının artmasıyla, ortama karbondioksit (CO_2) bırakılmasından kaynaklandığı düşünülmektedir (Svobodova vd., 1993).

Azotlu Bileşikler ve Toplam Fosfor Değerleri

Balıklar tarafından yenilen ve sindirilen yemler, metabolik faaliyetler için enerji sağlama, büyüme için beslenme ve diğer fizyolojik süreçlerde kullanılırlar. Sindirilemeyen yemler dışkı olarak suya atılır (Bregnballe, 2015). Havuzlarda su kalitesi üzerinde en önemli etkiye sahip olan dışkı ve metabolik atıkların miktarı, balık stok yoğunluğuna ve kullanılan yemin kalitesine göre değişmektedir. Havuz suyunda biriken besin maddeleri, tolere edilebilir sınırı aştığında, yetiştiricilik havuzlarında zararlı alg çoğalmaları ve su kalitesi bozulmaları görülebilir (Yang vd., 2017). Jescovitch vd. (2017) havuzların su kalitesi açısından mevsimsel olarak farklılık gösterdiğini ve üretimin yoğunlaşmasıyla artan yem kaynaklı azot girişinin, toplam azot miktarını artırdığını belirlemiştir. Tesis giriş suyunda havuzlarda ve havuz çıkış sularında tespit edilen amonyak, amonyum, nitrit, nitrat ve toplam fosfor değerleri Çizelge 3'te verilmiştir.

Amonyak (NH_3) genellikle yetiştiricilik havuzlarında oldukça bol bulunan inorganik azot bileşiğidir ve balıklar için oldukça toksiktir. Sularda bulunan iyonize olmamış amonyak ve iyonize olmuş amonyum iyonlarının (NH_4^+) toplamı, toplam amonyak azotu (TAN) olarak ifade edilir (Bregnballe, 2015). Belirli bir toplam amonyak yoğunluğu içerisindeki iyonize olmamış amonyak oranı; pH ve sıcaklığın artması ve tuzluluğun azalmasıyla birlikte artmaktadır (Boyd ve Tucker, 1998). Her ne kadar balıklar üzerinde toksik etki oluşturmaya da havuzlarda amonyum miktarının fazla olması ve olası bir pH ve sıcaklık değişimi sonucunda, ortamdaki amonyumun amonyağa dönüşme riski bulunmaktadır. EIFAC (1973)'e göre, balıklar için kısa süreli maruz kalmada toksik amonyak seviyesi, 0.6-2.0 mg/L arasındadır. İyonize olmayan amonyak düşük çözünmüş oksijen seviyelerinde daha toksik olmaktadır (Pillay, 2004). Yapılan çalışma sonucunda tüm havuzlarda zaman zaman amonyak azotu miktarının EIFAC (1973) tarafından belirtilen, kısa süreli maruz kalmada balıklar üzerinde toksik olabilecek amonyak seviyesine (0.6-2.0 mg/L) ulaştığı görülmektedir. Havuzlardaki amonyak miktarının daha dikkatli yönetilmesinin gerektiği anlaşılmaktadır.

Köymenoğlu (2013), toprak havuz işletmelerinde yaptıkları çalışmada amonyum azotu miktarını tesis giriş sularında ortalama olarak 0,47 mg/L ve tesis çıkış sularında 1,15 mg/L olarak bildirmiştir. Şaşı ve Tuzkaya (2012) da havuzlardaki amonyum azotu miktarını 1,16 mg/L olarak bildirmişlerdir. Mevcut çalışmada ise amonyum azotu aynı bölgede yapılmış olan bu çalışmalardan daha düşük bulunmuştur. Brambilla vd. (2007) ise İtalya'da yaptıkları çalışmada toplam amonyak azotu miktarını bahar aylarında 0,41±0,05 mg/L, yaz aylarında ise 0,72±0,12 mg/L olarak bulmuşlardır.

Nitrit ($\text{NO}_2\text{-N}$), azotun sucul ortamda veya toprakta bakteriler tarafından dönüştürülmesinde doğal ara ürün olarak meydana gelmektedir. Aerobik şartlarda amonyak, iki ayrı bakteriyel faaliyetle önce nitrite sonra nitrate dönüştürülür (Svobodova vd., 1993; Bregnballe, 2015). Nitrit nadiren yetiştiricilik sistemlerinde birikim yapar ve sucul hayvanlar için toksik etki oluşturur (Boyd ve Tucker, 1998). Su sıcaklığının yüksek olması ve havalandırmanın yetersiz olması durumunda, NH_4^+ oksidasyonu $\text{NO}_2\text{-N}$ oksidasyonunu aşabilir ve nitrit birikimi meydana gelebilir (Svobodova vd., 1993).

Köymenoğlu (2013) toprak havuz işletmelerinde nitrit azotu değerini tesis giriş sularında ortalama 0,04 mg/L ve çıkış sularında ortalama 0,23 mg/L olarak belirlemiştir. Şaşı ve Tuzkaya (2012) ise işletmelerde nitrit azotunu 0,39 mg/L olarak bulmuşlardır. Brambilla vd. (2007) nitrit azotu değerlerini bahar aylarında 0,12±0,01 mg/L, yaz aylarında 0,33±0,01 mg/L olarak bulmuşlardır. Bu çalışmada elde edilen nitrit değerlerinin literatür bilgileri ile benzerlik gösterdiği görülmektedir.

Havuzlarda, çalışma başlangıcında henüz yemleme çok düşük olmasına rağmen, amonyak amonyum ve nitrit değerlerinin yüksek olduğu görülmüştür. Bu durumun, geçmiş üretim dönemlerinden havuz tabanında kalan dip çamurunun bir etkisi olduğu düşünülmektedir. Ayrıca ilk su örneklemesinin yapıldığı günlerde, aşırı yağışın olması nedeniyle, geçmiş dönemden havuz dibinden çıkarılan çamurun serili olduğu setlerden, yağmurun etkisiyle azotlu bileşik girişinin olmuş olabileceği de düşünülmektedir. Zamanla, havuzlarda meydana gelen su değişiminin etkisiyle amonyak, amonyum ve nitrit miktarının azaldığı görülmüştür.

Nitrat (NO_3), doğal sularda ve yetiştiricilik sistemlerinde yaygın olarak bulunan inorganik azotlu bileşik formudur (Boyd ve Tucker, 1998). Bu çalışmada, en yüksek nitrat azotu değeri, Haziran ayında, TH havuzunda ortalama 1,357±0,085 mg/L olarak ölçülmüştür. Köymenoğlu (2013) toprak havuz işletmelerinde nitrat azotu değerini en düşük 0,3 mg/L en yüksek 3,1 mg/L olarak tespit etmişlerdir. Nitrat değerleri bu çalışmada daha düşük tespit edilmiştir.

Fosfor, yüzey sularında az miktarlarda bulunan, anahtar metabolik bir besindir. Yetiştiricilik havuzlarında toplam fosforun büyük çoğunluğu, fitoplankton hücrelerinde parçacık halinde ya da alg kaynaklı olarak detritusta bulunmaktadır (Boyd ve Tucker, 1998). Havuz sularında, özellikle Mart ve Nisan aylarında toplam fosfor miktarının arttığı görülmüştür. Benzer şekilde Nisan ayında havuzların giriş suyunda da toplam fosfor miktarı artış göstermiştir. Bu dönemde, özellikle havuz giriş suyunda meydana gelen artışın, balık çiftliğinin etrafında önemli miktarda bulunan, tarlalarda kullanılan gübrelerden kaynaklanmış olabileceği düşünülmektedir. Diğer dönemlerde ise havuzların giriş suyundan kaynaklanan bir fosfor girişi tespit edilmemiştir.

Köymenoğlu (2013) işletmelerde orto-fosfat miktarını, tesis giriş sularında ortalama 0,47 mg/L ve tesis çıkış sularında ise 0,63 mg/L olarak belirlemiştir. Şaşı ve Tuzkaya (2012), ölçülen en yüksek orto-fosfat değerini 1,13 mg/L olarak bildirmişlerdir. Brambilla vd. (2007) orto-fosfat değerini, bahar aylarında 0,25±0,08 mg/L, yaz aylarında 0,42±0,02 mg/L olarak bulmuşlardır. Yapılan çalışmada elde edilen sonuçlar da literatür bulguları ile uyumludur.

Klorofil-a Değeri Değişimleri

Fitoplankton, çoğu yetiştiricilik havuzunda baskın olarak bulunan fotosentetik mikroorganizmadır. Fitoplankton, çözünmüş oksijen miktarını artırır ve ortamda bulunan amonyanın azaltılmasına katkı sağlar. Diğer yandan havuzlarda yaşanan çoğu su kalitesi sorunu da aşırı fitoplankton artışından kaynaklanmaktadır (Boyd ve Tucker, 1998). Gündüz süresince fotosentez yaparak,

sudaki çözünmüş oksijen miktarını artıran fitoplankton, gece süresince ise solunum yaparak ortamın oksijen değerini azaltır. Yapılan çalışmada su sıcaklık değerlerinde yaşanan mevsimsel geçişlerde klorofil-a değerleri artmıştır. Havuzlarda zamana bağlı olarak, klorofil-a miktarı değişimleri Şekil 7’de verilmiştir.

Alglerin sucul ortamda çoğalmasını sağlayan en önemli etken, azot ve fosfor içeren nutrient besin maddelerinin ortamda bulunması ve uygun su sıcaklığıdır. Farrelly vd. (2015) yaz ayları boyunca yoğun şekilde havalandırılan havuzlarda, toplam amonyak azotu miktarındaki yükselişe bağlı olarak, klorofil-a yoğunluklarının da arttığını belirlemişlerdir. Bununla birlikte klorofil-a değerinin düşmesiyle, TAN değerlerinin arttığını belirtmişlerdir (Farrelly vd., 2015). Mevcut çalışmada da benzer sonuçlar elde edilmiştir.

Sudaki Askıda Organik ve İnorganik Madde Miktarları

Havuz sularında, süspansiyon halinde bulunan organik ve inorganik maddeler, havuz suyundaki toplam askıda katı maddeyi oluşturmaktadır. Havuzlarda askıda katı madde miktarı, aeratörlerin oluşturduğu su akıntıları, rüzgârın etkisiyle oluşan su akıntıları, balıkların yüzme hareketlerinin neden olduğu akıntılar gibi birçok biyotik ve abiyotik etken nedeniyle artış gösterebilmektedir. Havalandırma sistemleri, genellikle maksimum oksijen kazandırma etkinliği dikkate alınarak dizayn edilir ve toprak üzerindeki etkisi yeterince dikkate alınmaz. Bu nedenle kullanılan havalandırma sistemleri havuzlarda erozyona neden olabilir (Boyd ve Tucker, 1998). Doğal olarak, havuzların yapısının toprak olması nedeniyle, ortamda biyotik ve abiyotik kaynaklı oluşan su hareketlilikleri, sudaki askıda katı madde miktarını değiştirmektedir. Oluşan su hareketleri nedeniyle, sediment periyodik olarak tekrar süspansiyon hale geçebilir (Avnimelech vd., 1999). Tesis giriş suyunda havuzlarda ve havuz çıkış sularında tespit edilen organik ve inorganik madde değerleri Çizelge 4’te verilmiştir.

Taban Tahliye Sisteminin Etkinliği ile İlgili Bulgular

Havuz sedimenti ve su arasındaki etkileşimler, azot biyojeokimyasının önemli bir düzenleyicisidir. Yetiştiricilik havuzlarının azot biyojeokimyası, yemler ve yemleme uygulamaları, su değişimi ve döngüsü, havalandırma, havuz derinliği ve diğer yönetim süreçlerinden etkilenmektedir. Azotlu bileşikler sediment tabakasında birikir (Hargreaves, 1998). Yetiştiricilik suyunun kalitesinin iyileştirilerek, bu suyun yeniden kullanılabilmesi ve balıkların hastalıklardan arı tutulabilmesi için azotun uzaklaştırılması elzemdir (Sajana vd., 2013). Yetiştiricilik havuzlarında yüksek miktarda organik madde devamlı olarak taban çamuruna çökler ve yüksek miktarda mikrobiyal faaliyet görülür (Boyd ve Tucker, 1998).

Havuz tabanlarında meydana gelen dönemsel organik madde miktarı dağılımları Şekil 8’de verilmiştir. Yapılan çalışma sonucunda, bir üretim dönemi sonrasında, K havuzunun taban çamurunda organik madde miktarının arttığı T havuzunda azaldığı ve TH havuzunda sabit kaldığı görülmüştür. Havuz tabanında biriken organik materyalin uzaklaştırılması için kullanılan tahliye sistemlerinin, başarılarının incelenmesi amacıyla sudaki askıda organik madde miktarı ve suda çözünmüş halde bulunan bazı su kalite parametrelerinin, havuz içerisinde ve havuz çıkış sularında bulunan miktarlarının yüzde oransal ilişkisi ve bu değerler arasındaki korelasyon ilişkisi Çizelge 5’de verilmiştir.

Yüzde oranın artması ve korelasyon ilişkisinin azalması, tahliye sisteminin havuz suyunda bulunan miktarın yanında, tabanda çökerek birikme eğiliminde olan maddeleri de bünyesine katıp havuzdan uzaklaştırdığı anlamına gelmektedir. K, T ve TH havuzlarında kullanılan tahliye sistemlerinin, sırasıyla havuzlarda bulunan organik madde miktarının %105,4; %136,1 ve %133,1’i kadar organik madde tahliye ettiği belirlenmiştir. Havuzlarda ve çıkış sularında bulunan amonyak, amonyum, nitrit, nitrat ve toplam fosfor miktarların yüzde oransal ilişkisi ve bu değerler arasındaki korelasyon ilişkisi incelendiğinde, korelasyon katsayıları oldukça yüksek bulunmuştur. Bu nedenle yeni taban tahliye sisteminin çözünmüş haldeki bileşikleri uzaklaştırmadan ziyade tabana çökelmiş organik maddenin uzaklaştırılmasında etkili olduğu kanaatine ulaşılmıştır. Sonuç olarak yeni kurulan tahliye sisteminin geleneksel tahliye sistemine göre havuz tabanına çökmüş organik maddeyi yaklaşık 7 kat daha fazla uzaklaştırdığı görülmüştür. Sistemlerinin organik maddeyi uzaklaştırma etkinlikleri şekil 9’da gösterilmiştir.

Havalandırma Sisteminin Etkinliği ile İlgili Bulgular

Sulardaki çözünmüş oksijen miktarı su sıcaklığı, tuzluluk ve basınca bağlı olarak değişkenlik gösterir. Sularda bulunması gereken oksijen miktarından daha az oksijen bulunması, oksijen eksikliği olarak ifade edilir. Sulardaki çözünmüş oksijen miktarı atmosferdeki oksijen miktarı ile ilişkilidir. Su ve atmosfer arasındaki oksijen basıncı dengesi kurulana kadar ortamlar arası oksijen geçişi görülür. Mekanik havalandırıcılar su yüzeyindeki film tabakasının bozularak atmosferik oksijenin, difüzyon yoluyla suya geçişini sağlar ve suyun oksijen doygunluğunu artırır (Boyd, 1998). Tesislerde kullanılan yüzey havalandırıcılarına ilave olarak çözünmüş oksijen miktarını artırmak için tasarlanan yeni havalandırma sisteminin, sistemden geçen suyun çözünmüş oksijen miktarını artırma etkinliği aylar bazında Çizelge 6’da verilmiştir. Yeni sistemin, sistemden geçen suyun çözünmüş oksijen değerini ortalama 0,87 mg/L artırdığı görülmüştür. Yeni havalandırma sisteminin etkinliği, 1,55 mg/L ile en yüksek Ocak ayında, 0,08 mg/L ile en düşük Aralık ayında olmuştur. Havalandırma sisteminin çözünmüş oksijen miktarını ortalama artırma etkinliği şekil 10’da gösterilmiştir.

Havalandırıcılar genellikle maksimum su döngüsünü sağlamak üzere havuzlara yerleştirilir. Bu uygulama havuz tabanlarının ve setlerin iç yamaçlarının aşınmasına neden olabilir ve su akıntılarının daha zayıf olduğu havuz kısımlarında yığınların birikmesine neden olur. Havalandırıcılar oksijen doygunluk seviyesi yüksek yüzey suyu ile oksijen seviyesi düşük dip suyunun karışmasına olanak sağlar (Boyd, 1998). Yeni havalandırma sisteminin su debisi, hemen hemen havuzlara giren suyun debisine

eşittir. Bu nedenle havuz girişinden ileriye doğru su akımı iki katına çıkmıştır. Bu akıntının, havuzlarda kullanılan pedallı yüzey havalandırıcıların oluşturduğu akıntıdan daha düşük olduğu gözlemlenmiştir.

Havalandırıcı performans testlerinin, kararlı durum testi ve kararsız durum testi olmak üzere iki temel türü vardır. Kararlı durum testinde, bir havalandırıcının giriş suyu ve çıkış suyunda çözünmüş oksijen miktarı belirlenir. Giriş ve çıkış arasındaki çözünmüş oksijen farkı havalandırıcı tarafından suya aktarılan oksijen kütesini temsil eder (Boyd, 1998; Roy vd.,2024). Oksijenin suya geçişindeki itici güç, suyun oksijen doygunluğunun düşük olmasıdır. Düşük oksijen doygunluğu oksijen geçişini artırırken, oksijen doygunluğunun artması oksijen geçişini azaltmaktadır. Yeni geliştirilen havalandırma sisteminin, üretim havuzunda pedallı havalandırıcı ile birlikte kullanımında, suyun oksijen miktarını artırmada etkili olduğu görülmüştür. Ancak bu sistemin standart oksijen transfer değeri (SOTR) ve standart havalandırma verimliliği (SAE) değerlerinin belirlenmesi için ileri testlerin yapılmasına ihtiyaç duyulmaktadır (Boyd, 1998; Roy vd.,2024).

SONUÇ

Sonuç olarak, K havuzunda kullanılan geleneksel tahliye sisteminin, havuz suyunda bulunan askıda bulunan organik maddeyi tahliye etmede etkili olduğu ancak, havuz tabanında birikmiş olan organik maddeyi tahliye etmede etkisinin az olduğu ortaya çıkmıştır. Bu çalışmada yeni tasarlanan tahliye sistemi ise hem havuz suyunda bulunan askıdaki organik maddeyi tahliye etmede hem de havuz tabanda birikmiş olan organik maddeyi tahliye etmede başarılı olmuştur. Tahliye sistemlerinin varlık amacı, havuz tanında birikmiş olan atık maddelerin havuzdan uzaklaştırılmasını sağlamaktır. Geleneksel tahliye sisteminin tabana çökmüş organik maddeyi tahliye etme başarısı düşük kalmıştır. Yeni taban tahliye sistemi tabanda birikmiş organik maddeyi tahliye etmede, geleneksel tahliye sisteminden yaklaşık 7 kat daha etkili olmuştur.

Tasarlanan havalandırma sisteminin, havuzlardaki oksijen değerinin artırılmasında kullanılabileceği ancak standart oksijen transfer değeri (SOTR) ve standart havalandırma verimliliği (SAE) değerlerinin belirlenmesi ile ilgili çalışma yapılmasının gerekliliği kanaati oluşmuştur. Bununla birlikte geliştirilen havalandırma sisteminin, oksijen değeri nispeten daha düşük olan ve su kulesinden kendi cazibesıyla havuza akan yeraltı sularının havalandırılmasında kullanımının daha uygun olabileceği ve bunun işletmelere ilave maliyet getirmeden yapılabileceği sonucuna varılmıştır.

Bu çalışma kapsamında geliştirilen taban tahliye sistemi ve havalandırma sisteminin, su kalitesini olumlu yönde etkilediği sonucuna varılmıştır. Küçük ölçekli yetiştiricilerin, küresel üretime yapmış oldukları katkı hesaba katılırsa, yakın gelecekte meydana gelmesi beklenen üretim artışının büyük kısmının, düşük maliyetli teknolojilerle gerçekleştirilmesi gerektiği görülecektir (Bosma ve Verdegem, 2011). Bu çalışmada geliştirilen taban tahliye sistemi, çok düşük maliyetli ve kurulumu kolay bir sistemdir. Toprak havuz işletmelerinde bu sistemin kullanılmasının, havuzlarda organik madde birikiminin önlenmesine ve su kalitesinin iyileştirilmesine katkı sağlayacağı sonucuna ulaşılmıştır.

ETİK STANDARTLARA UYUM

Yazarların katkıları

1. RT: Çalışmanın tasarlanmasında, saha çalışmalarında, laboratuvar analizlerinde, verilerin yorumlanmasında ve makale yazımında görev almıştır.
2. KG: Çalışmanın tasarlanmasında, verilerin yorumlanmasında ve makale yazımında görev almıştır.

Çıkar çatışması

Yazarlar çıkar çatışması olmadığını beyan ettiler.

Hayvanların Refahına İlişkin Beyan

Bu tür bir çalışma için resmi onay gerekli değildir.

İnsan Hakları Beyanı

Bu çalışma insan katılımcıları kapsamamaktadır.

Destekleyen kurum

Bu çalışma, Muğla Sıtkı Koçman Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi tarafından 18/050 kod numaralı proje ile Doktora Tez Projesi olarak desteklenmiştir.

Proje Numarası: 18/050

KAYNAKLAR

- Avnimelech, Y., Kochva, M. & Hargreaves, J.A. (1999). Sedimentation and resuspension in earthen fish ponds. *Journal Of The World Aquaculture Society*, 30(4): 401-409. <https://doi.org/10.1111/j.1749-7345.1999.tb00988.x>
- Bosma, R.H. & Verdegem M.C.J. (2011). Sustainable aquaculture in ponds: Principles, practices and limits. *Livestock Science*, 139 (1-2): 58-68. <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2011.03.017>

- Boyd, C.E. (1995). *Bottomsoils, sediment and pond aquaculture*. Chapman and Hall, New York City. 348 s.
- Boyd, C.E. (1998). Pond water aeration systems. *Aquacultural Engineering* 18 (1998): 9-40. [https://doi.org/10.1016/S0144-8609\(98\)00019-3](https://doi.org/10.1016/S0144-8609(98)00019-3)
- Boyd, C.E. & Tucker, C.S. (1998). *Pond aquaculture water quality management*. Springer Science+Business Media New York, 700 s.
- Brambilla, F., Lalumera, G., Terova, G., Crosa, G. & Saroglia, M. (2007). Inflow and outflow water quality control in aquaculture systems: a case study. *Aquaculture Research*, 38: 1654-1663. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2109.2007.01834.x>
- Bregnballe, J. (2015). *A guide to recirculation aquaculture*. Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO) and EUROFISH International Organisation, 95 s.
- Burford, M.A. & Lorenzen, K. (2004). Modeling nitrogen dynamics in intensive shrimp ponds: the role of sediment remineralization. *Aquaculture* 229:129–145. [https://doi.org/10.1016/S0044-8486\(03\)00358-2](https://doi.org/10.1016/S0044-8486(03)00358-2)
- Egemen, Ö. (2005). Su Kalitesi. Ege Üniversitesi Yayınları, Su Ürünleri Yayın No:14, V. Baskı, 150 s.
- EIFAC (1973). *Water Quality Criteria for European Freshwater Fish: Report on Ammonia and Inland Fisheries*. *Water Research*, 7(7): 1011-1022. [https://doi.org/10.1016/0043-1354\(73\)90183-8](https://doi.org/10.1016/0043-1354(73)90183-8)
- Farrelly, J.C., Chen, Y. & Shrestha, S. (2015). Occurrences of growth related target dissolved oxygen and ammoniain different catfish pond production systems in southeast Arkansas. *Aquacultural Engineering*, 64: 68-77. <https://doi.org/10.1016/j.aquaeng.2014.10.002>
- Guillen, J., Asche, F., Carvalho, N., Polanco, J.M.F., Llorente, I., Nielsen, R., Nielsen, M. & Villasante, S. (2019). Aquaculture subsidies in the European Union: Evolution, impact and future potential for growth. *Marine Policy*, 104: 19-28. <https://doi.org/10.1016/j.marpol.2019.02.045>
- Güllü, K. (2012). Muğla ili su ürünleri sektörünün mevcut durumu. *Muğla Ekonomi Dergisi*, 2: 76-77.
- Hargreaves, J.A. (1998). Nitrogen biogeochemistry of aquaculture ponds. *Aquaculture*, 166: 181-212. [https://doi.org/10.1016/S0044-8486\(98\)00298-1](https://doi.org/10.1016/S0044-8486(98)00298-1)
- Jescovitch, L.N., Boyd, C.E. & Whitis G.N. (2017). Effects of mechanical aeration in the waste-treatment cells of split-pond aquaculture systems on water quality. *Aquaculture*, 480: 32-41. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2017.08.001>
- Köymenoğlu, A. (2013). Milas ilçesinde (Muğla İli), toprak havuzlarda deniz balığı yetiştiriciliği yapan işletmelerin, bazı su kalitesi parametreleri ile yapısal analizleri üzerine bir çalışma. Yüksek Lisans Tezi. Muğla Sıtkı Koçman Üniversitesi, Muğla, Türkiye.
- Özdamar, K. (2011). *Paket Programlar ile İstatistiksel Veri Analizi 1*. 8. Baskı. Kaan Kitabevi. 635 s.
- Pillay, T.V.R. (2004). *Aquaculture and the environment*. Second Ed. Oxford, UK: Fishing News Books, an imprint of Blackwell Publishing Ltd. 196 s.
- Roy, S.M., Machavaram, R., Pareek, C.M. & Kim, T. (2024). Investigating the performance of a perforated pooled circular stepped cascade aeration system for intensive aquaculture. *Heliyon* 10 (2024) e26367. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e26367>
- Sajana, T.K., Ghangrekar, M.M. & Mitra, A. (2013). Application of sediment microbial fuel cell for in situ reclamationof aquaculture pond water quality. *Aquacultural Engineering*, 57: 101-107. <https://doi.org/10.1016/j.aquaeng.2013.09.002>
- SBB. (2023). Türkiye Cumhuriyeti Cumhurbaşkanlığı Strateji ve Bütçe Başkanlığı On İkinci Kalkınma Planı (2024-2028). 241 s.
- Serpa, D., Falcao, M., Pousao-Ferreira, P., Vicente, M. & Carvalho, S. (2007). Geochemical changes in white seabream (*Diplodus sargus*) earth ponds during a production cycle. *Aquaculture Research*, 38 (15): 1619-1626. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2109.2007.01829.x>
- Serpa, D., Pousão-Ferreira, P., Caetano M., Fonseca, L.C.D., Dinis, M.T. & Duarte, P. (2013). A coupled biogeochemical-dynamic energy budget model as a tool for managing fish production ponds. *Science of the Total Environment*, 463-464: 861-874. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2013.06.090>
- Svobodova, Z., Lloyd, R., Machova, J. & Vykusova, B. (1993). *Water quality and fish health*, EIFAC Technical Paper No: 54, FAO, Rome, 59 p.
- Şaşı, H. & Tuzkaya, T. (2012). Güney Ege Bölgesi Savran Mevkii'nde (Milas-Muğla) Balık Yetiştiriciliği Yapılan Suların Bazı Fiziko-Kimyasal Özellikleri ve Yetiştiricilik Faaliyetlerinin İncelenmesi. *Eğirdir Su Ürünleri Fakültesi Dergisi*, 8(2): 25-37.

- Tezel, R. & Güllü, K. (2017). Toprak havuzlarda deniz balıkları üretimi yapan işletmelerin sürdürülebilirliklerinin sağlanması üzerine bir araştırma. *Journal of Aquaculture Engineering and Fisheries Research*, 3(3): 128-140.
- USEPA (1997) USEPA Method 446: In vitro determination of chlorophylls a, b, c1 + c2 and pheopigments in marine and freshwater algae by visible spectrophotometry. National Exposure Research Laboratory Office of Research and Development U.S. Environmental Protection Agency Cincinnati, Ohio, Uyarlama: Elizabeth J. Arar, 26 s.
- USEPA (1979) USEPA Methods for Chemical Analysis of Water and Wastes. Publ. 600/4-79-020, rev. Mar. 1983. Environmental Monitoring and Support Lab., U.S. Environmental Protection Agency, Cincinnati, Ohio.
- Xinglong, J. & Boyd, C.E. (2006). Relationship between organic carbon concentration and potential pond bottom soil respiration. *Aquacultural Engineering*, 35: 147-151. <https://doi.org/10.1016/j.aquaeng.2005.10.002>
- Yang, P., Lai, D.Y.F., Jin, B., Bastviken, D., Tan, L. & Tong C. (2017) Dynamics of dissolved nutrients in the aquaculture shrimp ponds of the Min River estuary, China: Concentrations, fluxes and environmental loads. *Science of the Total Environment*, 603-604: 256-267. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.06.074>.

Çizelgeler

Çizelge 1. Fiziko-kimyasal parametre değerleri

		Tesis Giriş		K		T		TH	
		Suyu	Havuz	Çıkış Suyu	Havuz	Çıkış Suyu	Havuz	Çıkış Suyu	
Sıcaklık (°C)	Ort.	18,65±0,58	18,88±5,98	18,85±6,09	19,10±6,03	19,05±6,03	19,04±6,12	19,01±6,09	
	Min.	17,33	9,19±0,12	8,90	9,37±0,05	9,30	8,97±0,05	8,90	
	Maks.	19,30	26,62±0,08	26,70	26,91±0,06	26,90	27,04±0,07	26,90	
Çözünmüş Oksijen (mg/L)	Ort.	5,98±0,48	5,92±1,88	6,12±1,78	5,89±1,51	5,87±1,51	5,90±1,64	5,96±1,57	
	Min.	5,41	3,22±0,29	3,85	3,91±0,26	3,44	3,53±0,23	3,66	
	Maks.	7,00	9,00±0,09	9,03	8,67±0,19	8,40	9,10±0,09	8,73	
Oksijen Doygunluğu (%)	Ort.	66,95±5,34	64,7±14,0	67,1±12,7	64,9±11,9	64,0±11,7	64,7±11,2	64,9±10,0	
	Min.	60,37	39,24±3,61	47,8	49,83±3,56	43,6	45,15±2,93	50,2	
	Maks.	79,05	84,32±1,62	83,4	88,78±5,08	81,7	82,89±0,77	79,7	
Tuzluluk (‰)	Ort.	8,51±0,26	8,43±0,41	8,43±0,42	8,47±0,39	8,49±0,35	8,47±0,43	8,48±0,42	
pH	Ort.	8,51±0,13	8,64±0,16	8,67±0,17	8,59±0,12	8,72±0,18	8,63±0,11	8,68±0,17	
TDS (g/L)	Ort.	9,49±0,28	9,43±0,28	9,45±0,44	9,47±0,40	9,49±0,36	9,47±0,45	9,48±0,44	
İletkenlik (µS/cm)	Ort.	14578±431	14500±661	14504±658	14572±616	14620±569	14574±691	14576±679	

Çizelge 2. Fiziko-kimyasal parametre değerlerinin gece-gündüz karşılaştırması

Parametreler	K		T		TH	
	Gündüz	Gece	Gündüz	Gece	Gündüz	Gece
Çözünmüş Oksijen	4,66±1,12 ^{bc}	4,27±0,73 ^a	5,20±1,32 ^d	4,81±0,75 ^{bcd}	5,04±1,10 ^{cd}	4,57±0,90 ^{ab}
Oksijen	56,01±10,46 ^b	51,28±5,78 ^a	62,42±13,61 ^d	58,10±5,72 ^{bc}	60,27±9,93 ^{cd}	55,06±7,10 ^b

Doygunluğu						
pH	8,58±0,09 ^c	8,25±0,17 ^a	8,65±0,11 ^d	8,57±0,07 ^c	8,60±0,07 ^c	8,47±0,08 ^b
Sıcaklık	22,68±3,82 ^a	22,60±3,87 ^a	22,96±3,92 ^a	22,73±3,93 ^a	22,94±3,94 ^a	22,80±3,96 ^a
Tuzluluk	8,66±0,24 ^a	8,65±0,24 ^a	8,68±0,22 ^a	8,68±0,22 ^a	8,68±0,26 ^a	8,68±0,27 ^a
TDS	9,68±0,24 ^a	9,67±0,24 ^a	9,70±0,21 ^a	9,69±0,21 ^a	9,71±0,27 ^a	9,73±0,36 ^a
İletkenlik	14883±368 ^a	14870±368 ^a	14925±325 ^a	14915±332 ^a	14930±416 ^a	14922±423 ^a

* Her parametre kendi içerisinde istatistiksel olarak analiz edilmiştir.

Çizelge 3. Sudaki amonyak, amonyum, nitrit, nitrat ve toplam fosfor değerleri

Parametreler	Tesis Giriş Suyu	K		T		TH		
		Havuz	Çıkış Suyu	Havuz	Çıkış Suyu	Havuz	Çıkış Suyu	
Amonyak (mg/L)	Ort.	0,02±0,03	0,36±0,21	0,38±0,22	0,43±0,25	0,47±0,26	0,45±0,23	0,48±0,29
	Min.	0,00	0,00	0,05	0,00	0,02	0,02	0,14
	Maks.	0,08	0,66	0,65	0,63	0,88	0,59	1,19
Amonyum (mg/L)	Ort.	0,12±0,05	0,69±0,77	0,75±0,69	0,62±0,45	0,62±0,33	0,59±0,19	0,54±0,15
	Min.	0,08	0,15	0,19	0,13	0,16	0,24	0,37
	Maks.	0,23	4,48	2,63	2,89	1,28	1,04	0,83
Nitrit (mg/L)	Ort.	0,01±0,01	0,20±0,19	0,21±0,20	0,22±0,18	0,23±0,18	0,22±0,18	0,22±0,15
	Min.	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,02	0,06
	Maks.	0,03	0,66	0,56	0,63	0,56	0,59	0,50
Nitrat (mg/L)	Ort.	0,33±0,16	0,66±0,17	0,63±0,17	0,73±0,23	0,74±0,25	0,76±0,23	0,76±0,26
	Min.	0,12	0,42	0,43	0,48	0,54	0,56	0,56
	Maks.	0,73	0,99	1,00	1,30	1,23	1,44	1,43
Toplam Fosfor (mg/L)	Ort.	0,04±0,12	0,12±0,22	0,14±0,15	0,17±0,29	0,20±0,35	0,22±0,30	0,18±0,23
	Min.	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00
	Maks.	0,41	1,13	0,43	1,32	1,22	1,54	0,81

Çizelge 4. Sularda askıda katı madde (organik-inorganik) değerleri

Parametreler	Tesis Giriş Suyu	K		T		TH		
		Havuz	Çıkış Suyu	Havuz	Çıkış Suyu	Havuz	Çıkış Suyu	
Organik	Ort.	3,2±1,2	37,2±18,0	38,3±16,9	33,5±10,0	45,3±18,2	36,0±13,1	47,3±18,2

Madde (g)	Min.	1,8	14,5	15,5	19,3	20,5	20,8	22,5
	Maks.	5,5	71,7	69,0	51,2	78,0	57,0	84,0
İnorganik Madde (g)	Ort.	2,5±1,4	88,0±38,3	102,6±32,0	95,2±32,3	155,0±79,4	106,6±34,3	146,1±51,6
	Min.	0,6	49,5	50,0	52,8	67,5	47,7	86,0
	Maks.	4,9	176,8	146,0	137,5	356,0	152,0	240,0

Çizelge 5. Bazı su kalite parametrelerinin, havuz içerisinde ve çıkış sularında bulunan miktarları arasındaki oran ve korelasyon ilişkisi

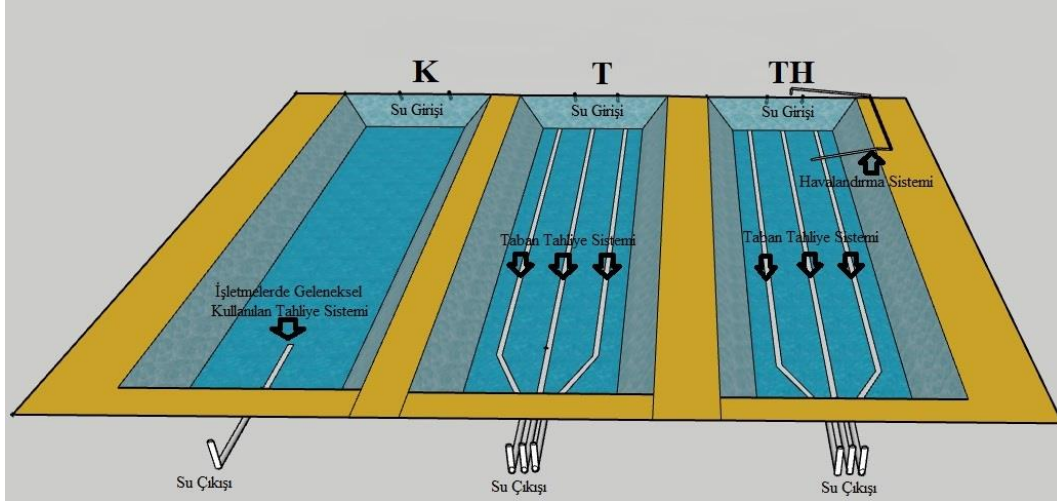
	K	T	TH
Askıda Organik Madde	%105,4 r=0,96	%136,1 r=0,54	%133,1 r=0,77
Amonyak	%106,24 r=0,94	%107,96 r=0,74	%106,83 r=0,83
Amonyum	%109,82 r=0,99	%99,38 r=0,94	%90,95 r=0,88
Nitrit	%105,73 r=0,98	%104,56 r=0,91	%101,72 r=0,94
Nitrat	%95,31 r=0,79	%101,04 r=0,94	%100,02 r=0,97
Toplam Fosfor	%114,77 r=0,83	%118,47 r=0,94	%80,13 r=0,91

Çizelge 6. Havalandırma sisteminin çözünmüş oksijen miktarını artırma etkinliği

Tarih	Giriş Suyu		Çıkış Suyu		Oksijen Artışı
	Mg/L	% Doymunluk	Mg/L	% Doymunluk	Mg/L
28.10.2018	6,28	70,7	7,36	78,8	1,08
28.11.2018	5,87	62,0	6,65	68,5	0,78
27.12.2018	9,03	82,4	9,11	83,2	0,08
28.01.2019	7,90	76,7	9,45	91,0	1,55
27.02.2019	7,29	74,4	7,83	78,8	0,54
27.03.2019	6,56	68,9	7,23	76,0	0,67
29.04.2019	6,00	70,9	6,45	75,6	0,45

28.05.2019	4,54	55,6	5,71	67,8	1,17
28.06.2019	4,10	54,2	4,80	61,1	0,70
28.07.2019	4,58	59,0	5,52	68,0	0,94
27.08.2019	3,25	41,7	4,21	53,8	0,96
22.09.2019	4,43	52,6	5,90	70,6	1,47

Şekiller



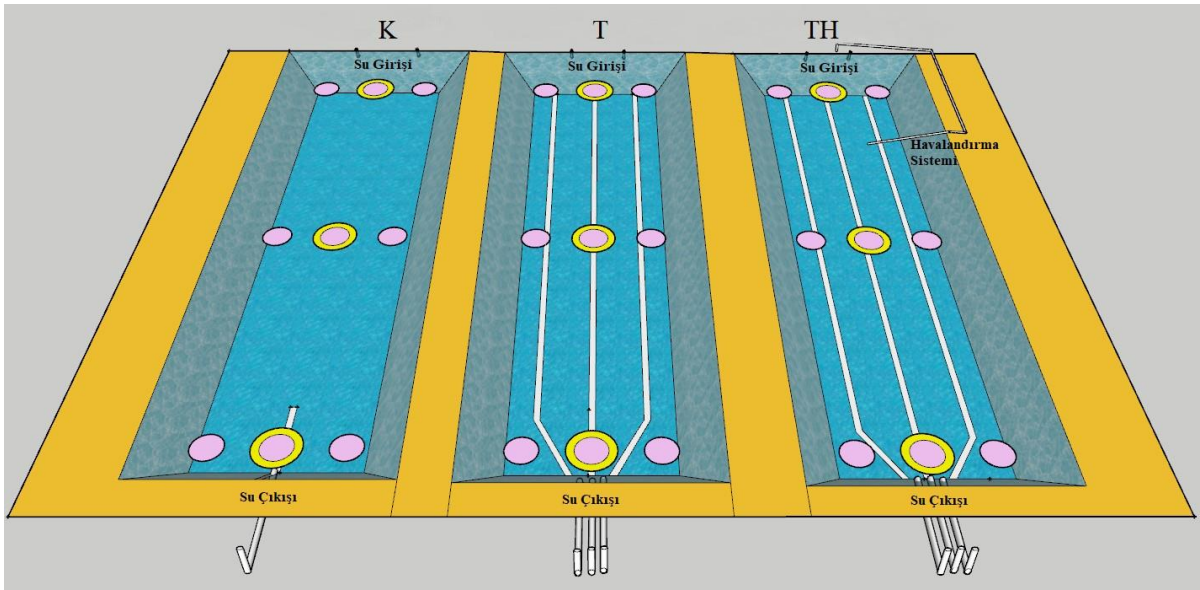
Şekil 1. Çalışmada kullanılan toprak havuzların deneme deseni



Şekil 2. Taban tahliye sisteminin kurulumu



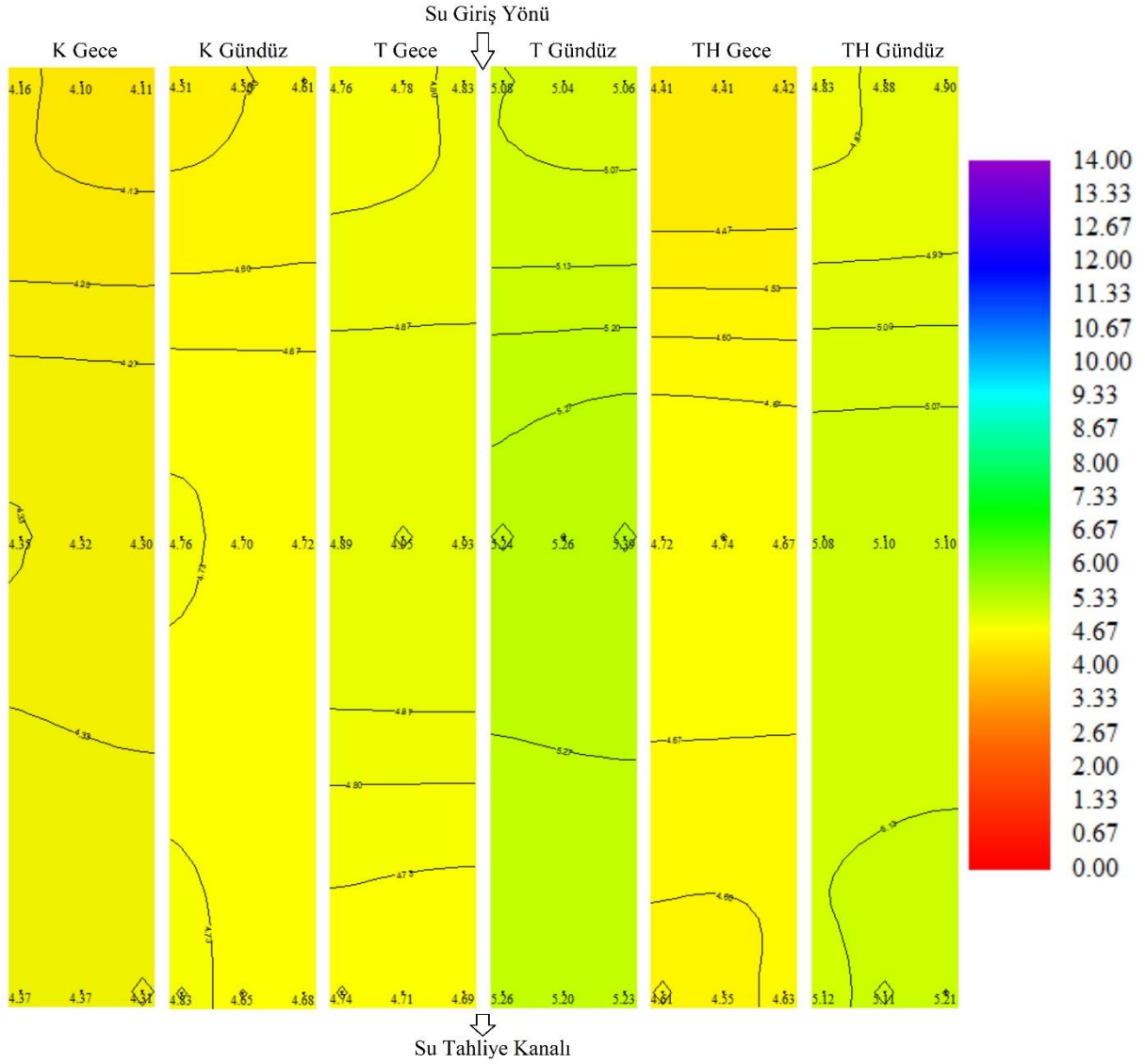
Şekil 3. Suyun çözülmüş oksijen miktarını artıracak yeni havalandırma sistemi



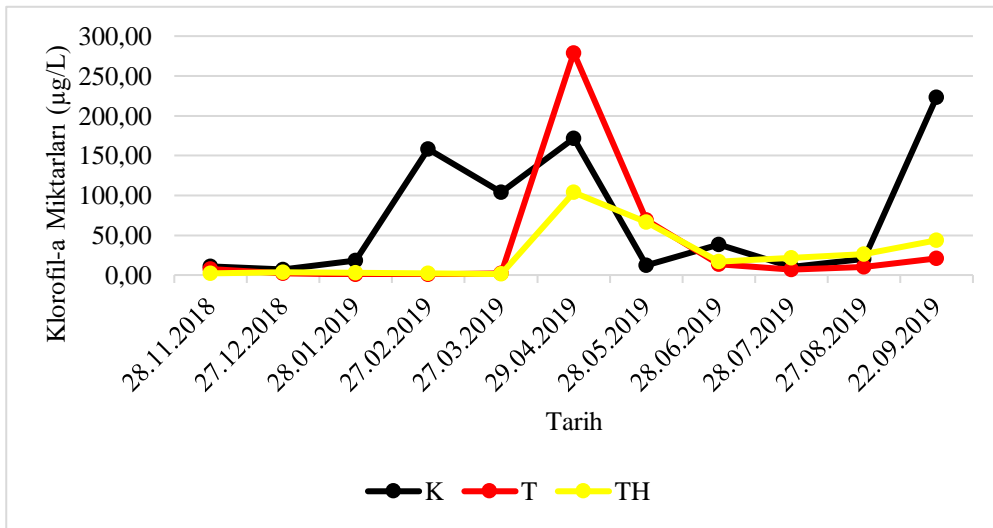
Şekil 4. Havuzlarda fiziko-kimyasal parametre ölçüm noktaları ve su örneği alım noktaları



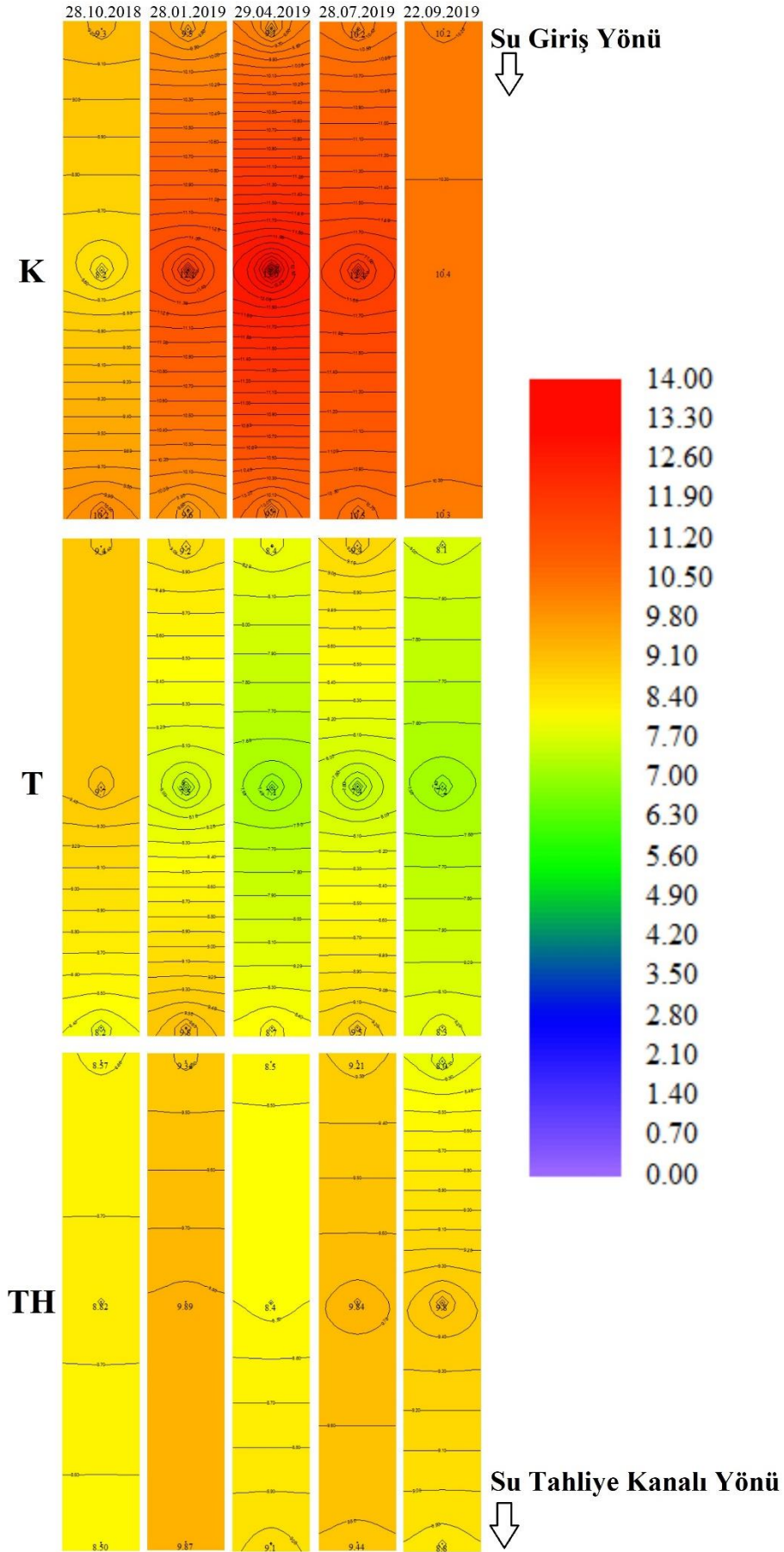
Şekil 5. Tahliye sisteminin etkinliğinin incelenmesinde kullanılan başarı göstergesi



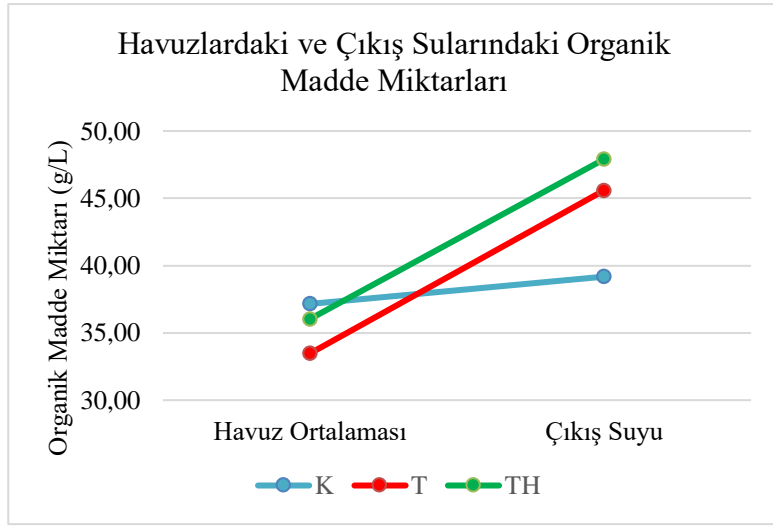
Şekil 6. Havuzlarda ortalama çözülmüş oksijen değerinin gece-gündüz dağılımları



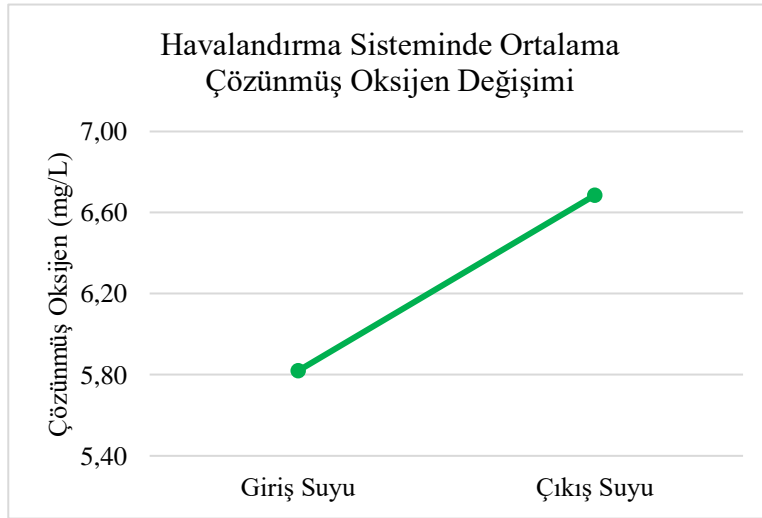
Şekil 7. Havuzlarda zamana bağlı klorofil-a miktarı değişimleri



Şekil 8. K, T ve TH havuzunun taban çamuru organik madde miktarları değişimi



Şekil 9. Havuzlardaki ve havuz çıkış sularında ortalama organik madde miktarı



Şekil 10. Havalandırma sisteminin giriş ve çıkışında ortalama çözünmüş oksijen değerleri