

## ARAŞTIRMA MAKALESİ

### Öne Çıkan Sonuçlar:

- Akuaponik sistemler
- Balık atıksularının arıtımı
- Doğal arıtım

### Yazışma yazarı:

M. Yunus PAMUKOĞLU,  
yunuspamukoglu@sdu.edu.tr

### Referans:

Pamukoğlu, M. Y., Bayrak, H., Demir, H., Gürler, H., Türk, S. N., Çoban, Ö., Avci, T., Şahin, E., (2018), Akuaponik (Biyolojik Arıtma Tekniği) Tekniği ile Balık Atıksularının Arıtılması, İklim Değişikliği ve Çevre, 3, (2) 1–9,

Makale Gönderimi : 23 TEMMUZ 2018

Online Kabul : 11 AĞUSTOS

Online Basım : 10 EKİM 2018

## Akuaponik (Biyolojik Arıtma Tekniği) Tekniği ile Balık Atıksularının Arıtılması

<sup>1</sup>Muhammet Yunus PAMUKOĞLU, <sup>2</sup>Halit BAYRAK, <sup>1</sup>Hatice DEMİR, <sup>1</sup>Halime GÜRLER, <sup>1</sup>Seda Nur TÜRK, <sup>1</sup>Özlem ÇOBAN, <sup>1</sup>Tuğba AVCI, <sup>1</sup>Esra ŞAHİN

<sup>1</sup>Süleyman Demirel Üniversitesi Çevre Mühendisliği Bölümü

<sup>2</sup>Süleyman Demirel Üniversitesi Su Enstitüsü

**Özet** Akuaponik sistemler; geleneksel akuakültür (akuatik canlılardan olan balık, kerevit, karides üretimi) ile hidroponik sistemin (topraksız tarım/ bitkilerin su ve besin eriyikleri ile beslenmesi) birleşmesi ile sürdürülebilir gıda üretim sistemi alternatiflerindedir. Bu çalışmanın temel amacı azot, fosfor, askıda katı madde ve organik madde açısından zengin olan balık atıksularının, bir doğal arıtım yöntemi olan akuaponik tekniğiyle arıtılmasıdır.

Akuaponik tanklarındaki giriş ve çıkış sularından 3 günde bir numune alınarak analizler yapılmıştır. Çözünmüş oksijen, sıcaklık, pH ölçümleri anlık, nitrit azotu (NO<sub>2</sub>-N), amonyum azotu (NH<sub>4</sub>-N), toplam fosfor (TP) ve kimyasal oksijen ihtiyacı (KOİ) ölçümleri ise örnek alındıktan sonra süzülerek laboratuvarında kitler kullanılarak spektrofotometrik olarak ölçülmüştür. Bitki büyümeleri ise belirli zaman aralığında fotoğraflanmıştır.

Akuaponik sistemin KOİ giderim verimlerine bakıldığında ilk ölçüm ile beşinci ölçüm arasında ciddi bir KOİ giderimi görülmektedir. Bu sonuçlar bize akuaponik sistemde kullanılan bitkiler tarafından maliyetsiz olarak bir giderimin olduğunu göstermektedir. İlk ölçümde KOİ giderimi %2,1 iken 5. ölçümde giderim %36,1 değerlerine çıkmıştır. Akuaponik sistemin TP giderim verimlerine bakıldığında ilk ölçüm ile beşinci ölçüm arasında doğrusal bir TP giderimi görülmekte olup, akuaponik sistemin adaptasyonunun henüz tamamlanmadığı ve giderimin devam edeceğini göstermektedir. Bu sonuçlar bize akuaponik sistemde kullanılan bitkiler tarafından maliyetsiz olarak bir giderimin olduğunu göstermektedir. İlk ölçümde TP giderimi %2,2 iken 5. ölçümde giderim %23,4 değerlerine çıkmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** Akuaponik, Balık atıksuyu, Balık ve bitki büyümesi, Doğal arıtım, Giderim

## Treatment of Fish Wastewater with The Aquaponic (Biological Treatment Technique) Technique

**Abstract** Aquaponic systems; is a sustainable food production system alternative through the combination of traditional aquaculture (aquatic life fish, crayfish, shrimp production) and hydroponic system (feeding of landless plants with water and nutrient solutions). The main objective of this study is to treat fish wastewaters containing nitrogen, phosphorus and suspended solids and organic substances with an aquaponic technique which is a natural treatment method.

The samples were taken from the inlet and outlet waters of the aquaponic tanks every 3 days and analyzed. Measurements of dissolved oxygen, temperature and pH were measured instantaneously and nitrite nitrogen (NO<sub>2</sub>-N), ammonium nitrogen (NH<sub>4</sub>-N), total phosphorus (TP) and chemical oxygen demand (COD) measurements were spectrophotometrically measured in the laboratory after filtration. Plant growths were photographed at specific time intervals.

When we look at the COD removal efficiency of the aquaponic system, there is a serious COD removal between the first measurement and the fifth measurement. These results show us that the plants used in the aquaponic system are a cost-free expense. At the first measurement, the COD removal was 2.1% while the 5th measurement resulted in 36.1%. Considering the TP removal efficiencies of the aquaponic system, a linear TP removal between the first and fifth measurements is seen, indicating that the adaptation of the aquaponic system has not yet been completed and that the removal will continue. These results show us that the plants used in the aquaponics system are an expense without cost. At the first measurement, the TP removal was 2.2%, while the 5th measurement was 23.4%.

**Keywords:** Aquaponics, Fish wastewater, Fish and plant growth, Natural treatment, Removal

## 1. Giriş

Su kirliliği yaratan unsurlardan bir tanesi olan ve son yıllarda hem ülkemiz hem de dünyada hızla gelişen bir sektör olarak karşımıza çıkan su ürünleri yetiştiriciliği tesisleri çıkış suları su kaynaklarını kirleten önemli bir unsurdur. Bununla birlikte tarımsal faaliyetlerde artarak kullanılan gübreler de balık yetiştiriciliğinde olduğu gibi alıcı ortamlarda azot ve fosfor artışlarına neden olarak benzer bir kirlilik oluşturmaktadırlar. Bu kirliliğin bertaraf edilmesini sağlamak amacı ile farklı çalışmalar yapılmaktadır. Bu çalışmaların içerisinde doğal arıtma sistemleri hem ilk yatırım hem de işletim maliyetlerinin diğer geleneksel arıtım metotlarına kıyasla çok daha düşük olması sebebi son yıllarda ön plana çıkmakta ve bu konudaki çalışmalar artmaktadır. Bu doğal arıtım metotlarından bir tanesi de akuaponik sistemlerdir (Datta, Mahapatra et al. 2018, König, Janker et al. 2018).

Akuaponik sistemler su ve besin maddelerini devir daim yapan, su canlıları ve karasal bitkiler yetiştirmek için, kapalı döngü sisteminde su ürünleri yetiştiriciliği ile su ürünleri yetiştiriciliğini birleştiren bir gıda üretim yöntemi olarak tanımlanabilir (Bartelme, Oyserman et al. 2018, Maucieri, Forchino et al. 2018). Bununla birlikte bu sistemin bir takım amaçları bulunmaktadır. Bu amaçlar arasında hem balık ve bitki yetiştirmek hem de balık atıksularının arıtılması sayılabilir. Akuaponik sistemlerin topluluk ve ekonomik kalkınma faydaları ise Tablo 1'de verilmiştir (Goodman 2011).

**Tablo 1.** Akuaponik sistemlerin topluluk ve ekonomik kalkınma faydaları (Goodman 2011)

<b>ÇEVRESEL FAYDALAR</b>	<b>GIDA GÜVENLİĞİ VE GIDAYA ERİŞİM YARARLARI</b>	<b>TOPLUM KALKINMA YARARLARI</b>
Azalan su ürünlerinde gerilimi azaltır Tarımsal kirliliği ve balık ölümünü azaltır Açık okyanus balık çiftliklerinin neden olduğu sorunları önler Tarımsal üretim ve su ürünleri yetiştiriciliği için gereken su miktarını azaltır Yerel üretim nakliye problemlerini azaltır	Aşağıdaki alanlarında taze, yerel ürünler sunmaktadır: Düşük su şartları Sınırlı ekilebilir arazi Kirlenmiş araziler Zayıf toprak kalitesi Aşırı avcılık / balıkçılık çöküşü Zayıf yol erişimi	Toplum için öğretim aracı Okul müfredatına dahil olur Ekolojik okur yazarlığını öğretir İş becerileri eğitim olanakları sağlar İstihdam sağlar

Akuaponik tarihçesine baktığımızda ilk örneklerden birisi Azteklere ait olan Chinampa adlı tarım metodu olduğu tahmin edilmektedir (Fernández Cañero, Pérez Urrestarazu et al. 2015). Bazı araştırmacılara göre ise ilk örneğinin Mısırlılara ait olan ve halen bu metot ile günümüzde Çin ve Tayvan gibi uzak doğu ülkelerinde uzun yıllardan beri çiftlik artıklarının besin olarak kullanıldığı pirinç tarlalarında balık yetiştiriciliği olarak karşımıza çıkmaktadır (Shaalan, El-Mahdy et al. 2018). "Akuaponik" terimi ise 1990'lı yılların sonlarında akademik literatürde yer almaya başlamıştır.

Akuaponik üzerine ilk makaleler 1970'li yıllarda yayınlanmaya başlanmış olup, 1974 yılında, The Journal of New Alchemists dergisinin 2. ve 3. sayılarında William McLarney tarafından "Balık Havuzlarının Verimli Sularıyla Bahçe Bitkilerinin Sulanması" ve "Balık Havuzlarının Verimli Sularıyla Bahçe Bitkilerinin Sulanması Üzerine Denemeler" adlı makaleler yayınlanmıştır (Diver 2000). 1985 yılında ise Kuzey Karolayna Üniversitesi'nde domates ve diğer bitki türleri ekilmiş olan kum biyofiltre içinden Tilapia havuzlarından gelen atık suyun geçirildiği sistemle bilinen ilk kapalı devre akuaponik sistem oluşturulmuştur (Goddek, Delaide et al. 2015).

Bu çalışmada kurulan akuaponik sistemde Tilapia cinsi balık ile marul bitkisi kullanılmıştır. Akuakültürde zamanla suyun kirliliği balık için zararlı düzeye gelmektedir. Bu su, hidroponik sistemde yetişen ürünlere, bitkinin ihtiyaç duyduğu hayati besin maddelerini almasına, aynı zamanda akuakültürde yetişen canlıların suyunun temizlenerek kapalı devre simbiyotik yaşamın oluşması sağlanmıştır. Bu çalışmanın temel amacı azot, fosfor, askıda katı madde ve organik madde açısından zengin olan balık atıksularının, bir doğal arıtım yöntemi olan akuaponik tekniğiyle arıtılmasıdır.

## 2. Materyal ve Metot

Tanklardaki giriş ve çıkış sularından 3 günde bir numune alınarak analizler yapılmıştır. Laboratuvarında kullanılan malzemeler; spektrofotometre, termo reaktör, hassas terazi, pH metre, otomatik pipet, analizleri yapmak için kullanılan deney kitleri, tüp ve beherlerden oluşmuştur. Analizlerde kullanılan spektrofotometre ve termo reaktör cihazlarının gösterimi Şekil 1'de verilmiştir.



Şekil 1. Analizlerde kullanılan spektrofotometre ve termo reaktör cihazlarının gösterimi

### 2.1. Akuaponik Sistemin Kurulması

Sistemde kullanılmak üzere marul fideleri tedarik edilmiştir. Akuaponik sistemin kurulması amacıyla çeşitli ebatlarda file saksı, omza taşı, torf ve strafor alınmıştır. Saksıların dibine toprağın file saksılardan kaymasını engellemek için pomza taşı yerleştirilmiş ve üzerine torf eklenmiştir. Torf eklenmesinde ki amaç torfun yüksek su tutma, yüksek havalanma kapasitesi ve düşük hacim özelliklerinden faydalanmaktır. Pomza taşının ve torfun üstüne marul fideleri dikilmiştir. Straforlar tank boyutlarına göre şekillendirilerek kesilmiştir. Ardından file saksılar ebatlarına göre delinerek strafora yerleştirilmiştir.

Balıkların ihtiyacı olan oksijen miktarını karşılamak için hava motoru kullanılmıştır. Bitki ve balıkların yaşamaları için gerekli olan ortam sıcaklığını sağlamak amacıyla ısıtıcı kullanılmıştır. Balıkların günde iki kere yememesi için yemleme makinesi kullanılmıştır. Marulların strafora sabitleme aşaması Şekil 2'de görülmektedir.



Şekil 2. Marulların strafora sabitleme aşaması

### 2.2 Sistemde Kullanılan Balıklar

Kurulmuş olan akuaponik sistemde Tilapia balığının atıksularının arıtılması araştırılmıştır. Sistemde kullanılmak üzere 32 adet balık mevcut olup balıkların toplam ağırlığı 2440 gramdır. Bir balığın ortalama ağırlığı 76,25 gramdır. Balıkların tartılma aşaması Şekil 3'de görülmektedir.



Şekil 3. Balıkların tartılma aşaması

### 2.3 Bitkilerin Gelişim Süreci

Bitkilerin gelişim aşamaları ve boyları aşağıdaki görsellerde yer aldığı gibi fotoğraflanmıştır (Şekil 4, Şekil 5, Şekil 6).



Şekil 4. Sistemin kurularak marul fidelerinin dikildiği ilk gün



Şekil 5. Marulların dikildikten 3 hafta sonraki hali



Şekil 6. Marulların dikiminden 5 hafta sonraki hali

### 3. SONUÇLAR ve DEĞERLENDİRMELER

#### 3.1 pH, Çözünmüş Oksijen ve Sıcaklık Ölçüm Sonuçları

Tablo 1. Ölçüm sonuçlarında elde edilen pH, çözünmüş oksijen ve sıcaklık verileri

Numuneler / Parametre	Çözünmüş oksijen (mg/L)		pH		Sıcaklık (°C)
	Balık tankı giriş	Balık tankı çıkış	Balık tankı giriş	Balık tankı çıkış	
1. Ölçüm	5,6	5,4	7,5	7,6	23,1
2. Ölçüm	6,0	5,9	7,5	7,7	22,9
3. Ölçüm	6,3	6,1	7,6	7,7	22,6
4. Ölçüm	6,4	6,4	7,7	7,9	23,4
5. Ölçüm	6,2	6	7,6	7,5	23,6

Kurulan akuaponik sistemde yapılan ölçümler sonucunda elde edilen pH, sıcaklık ve çözünmüş oksijen değerleri Tablo 1'de verilmiştir. Çözünmüş oksijen giriş ve çıkış değerleri 5 ölçüm için yaklaşık olarak 6 mg/L civarlarında ölçülmüş olup, balıkların ve ortamda bulunan organizmaların yaşayabilmesi için uygun bir değer olarak tespit edilmiştir. Benzer şekilde pH ve sıcaklık değerleri 5 ölçüm için sırası ile yaklaşık olarak 7,5 ve 23 °C olarak ölçülmüş olup bu değerlerinde ortamda bulunan canlılar için optimum değerler olduğu düşünülmektedir.

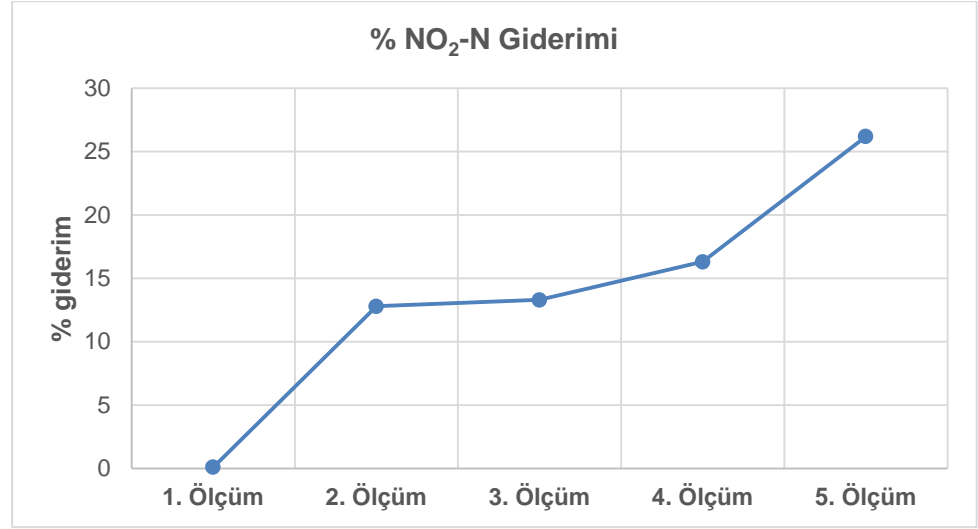
#### 3.2 Nitrit Azotu (NO<sub>2</sub>-N) Ölçümü

Tablo 2. Ölçüm sonuçlarında elde edilen NO<sub>2</sub>-N verileri

Numuneler / Parametre	NO <sub>2</sub> -N (mg/L)		% Giderim
	Balık tankı giriş	Balık tankı çıkış	
1. Ölçüm	0,1	0,09	10,0
2. Ölçüm	0,47	0,41	12,8
3. Ölçüm	0,75	0,65	13,3
4. Ölçüm	0,8	0,67	16,3
5. Ölçüm	0,103	0,076	26,2

Kurulan akuaponik sistemde yapılan ölçümler sonucunda elde edilen NO<sub>2</sub>-N analiz değerleri Tablo 2'de verilmiştir. Benzer şekilde ölçüm dönemlerine göre hesaplanan % NO<sub>2</sub>-N

giderimlerinin değişimleri de Şekil 7'da gösterilmektedir. İlk ölçüm ile beşinci ölçüm arasında ciddi bir  $\text{NO}_2\text{-N}$  giderimi görülmektedir. Bu sonuçlar bize akuaponik sistemde kullanılan bitkiler tarafından maliyetsiz olarak bir giderimin olduğunu göstermektedir. Özellikle 4 ve 5. ölçümler arasında %10'luk bir artış, sistemin henüz yeni adaptasyon gösterdiğini ve artırımın çok daha iyi olabileceğini ortaya koymaktadır.



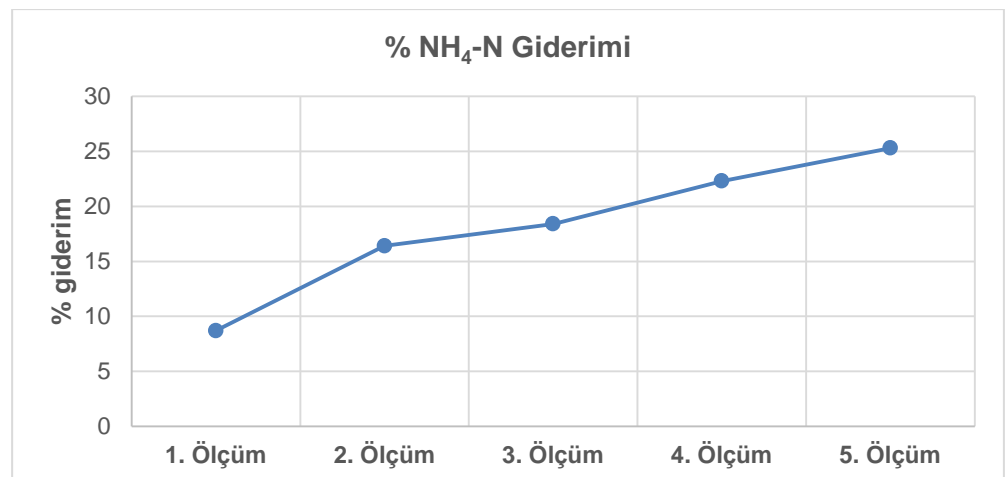
Şekil 7. Ölçüm dönemlerine göre hesaplanan %  $\text{NO}_2\text{-N}$  giderimlerinin değişimleri

### 3.3 Amonyum Azotu ( $\text{NH}_4\text{-N}$ ) ölçümü

Tablo 3. Ölçüm sonuçlarında elde edilen  $\text{NH}_4\text{-N}$  verileri

Numuneler / Parametre	$\text{NH}_4\text{-N}$ (mg/L)		% Giderim
	Balık tankı giriş	Balık tankı çıkış	
1. Ölçüm	2,08	1,9	8,7
2. Ölçüm	2,01	1,68	16,4
3. Ölçüm	2,07	1,69	18,4
4. Ölçüm	1,66	1,29	22,3
5. Ölçüm	2,3	1,72	25,3

Kurulan akuaponik sistemde yapılan ölçümler sonucunda elde edilen  $\text{NH}_4\text{-N}$  analiz değerleri Tablo 3'de verilmiştir. Benzer şekilde ölçüm dönemlerine göre hesaplanan %  $\text{NH}_4\text{-N}$  giderimlerinin değişimleri de Şekil 8'da gösterilmektedir. İlk ölçüm ile beşinci ölçüm arasında ciddi bir  $\text{NH}_4\text{-N}$  giderimi görülmektedir. Bu sonuçlar bize akuaponik sistemde kullanılan bitkiler tarafından maliyetsiz olarak bir giderimin olduğunu göstermektedir. İlk ölçümde  $\text{NH}_4\text{-N}$  giderimi %8,7 iken 5. ölçümde giderim %25,3 değerlerine çıkmıştır.



Şekil 8. Ölçüm dönemlerine göre hesaplanan %  $\text{NH}_4\text{-N}$  giderimlerinin değişimleri

## 3.4 Kimyasal Oksijen İhtiyacı (KOİ) Ölçümü

**Tablo 4.** Ölçüm sonuçlarında elde edilen KOİ verileri

Numuneler / Parametre	KOİ (mg/L)		% Giderim
	Balık tankı giriş	Balık tankı çıkış	
1. Ölçüm	96	94	2,1
2. Ölçüm	101	92	8,9
3. Ölçüm	91	77	15,3
4. Ölçüm	105	77	26,6
5. Ölçüm	94	60	36,1

Kurulan akuaponik sistemde yapılan ölçümler sonucunda elde edilen KOİ analiz değerleri Tablo 4'de verilmiştir. Benzer şekilde ölçüm dönemlerine göre hesaplanan % KOİ giderimlerinin değişimleri de Şekil 9'da gösterilmektedir. İlk ölçüm ile beşinci ölçüm arasında ciddi bir KOİ giderimi görülmektedir. Bu sonuçlar bize akuaponik sistemde kullanılan bitkiler tarafından maliyetsiz olarak bir giderimin olduğunu göstermektedir. İlk ölçümde KOİ giderimi %2,1 iken 5. ölçümde giderim %36,1 değerlerine çıkmıştır.



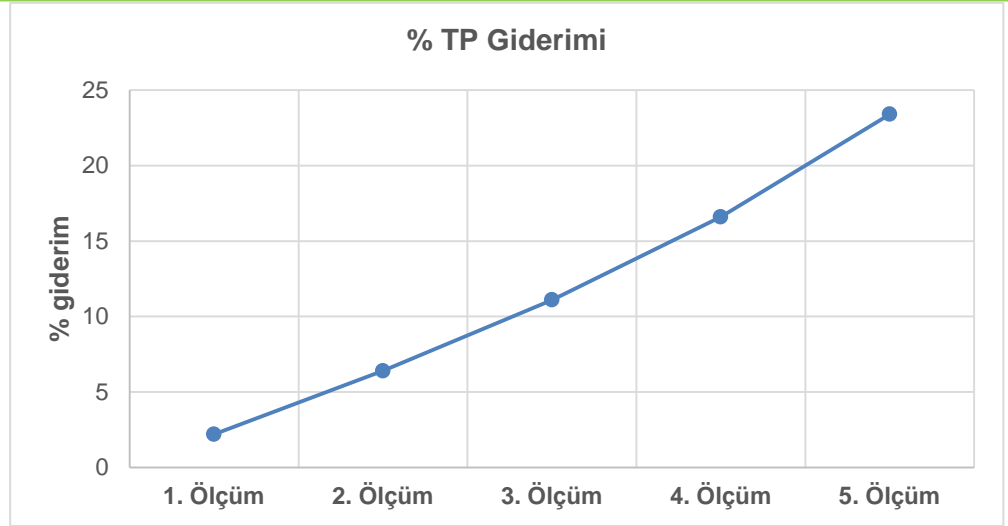
**Şekil 9.** Ölçüm dönemlerine göre hesaplanan % KOİ giderimlerinin değişimleri

## 3.5 Toplam Fosfor Ölçümü (TP)

**Tablo 5.** Ölçüm sonuçlarında elde edilen toplam fosfor verileri

Numuneler / Parametre	TP (mg/L)		% Giderim
	Balık tankı giriş	Balık tankı çıkış	
1. Ölçüm	4,5	4,4	2,2
2. Ölçüm	6,2	5,8	6,4
3. Ölçüm	5,4	4,8	11,1
4. Ölçüm	4,8	4,0	16,6
5. Ölçüm	4,7	3,6	23,4

Kurulan akuaponik sistemde yapılan ölçümler sonucunda elde edilen TP analiz değerleri Tablo 5'de verilmiştir. Benzer şekilde ölçüm dönemlerine göre hesaplanan % TP giderimlerinin değişimleri de Şekil 10'da gösterilmektedir. İlk ölçüm ile beşinci ölçüm arasında doğrusal bir TP giderimi görülmekte olup, akuaponik sistemin adaptasyonunun henüz tamamlanmadığı ve giderimin devam edeceğini göstermektedir. Bu sonuçlar bize akuaponik sistemde kullanılan bitkiler tarafından maliyetsiz olarak bir giderimin olduğunu göstermektedir. İlk ölçümde TP giderimi %2,2 iken 5. ölçümde giderim %23,4 değerlerine çıkmıştır.



**Şekil 10.** Ölçüm dönemlerine göre hesaplanan % KOİ giderimlerinin değişimleri

## 4. SONUÇLAR

Elde edilen sonuçlar aşağıda madde imleri halinde verilmiştir;

- Akuaponik sistemlerde tilapia balıklarının ihtiyaç duyduğu çözünmüş oksijen aralığı 5-9 mg/L'dir. Yapılan ölçümlerde çıkan sonuçlara göre yapılan havalandırmanın yeterli olduğu görülmüştür. Sistemde kullanılan çözünmüş Oksijen miktarı düzenli olarak artış göstermiş olup sistemin sağlıklı bir şekilde yürütüldüğünün göstergesidir.
- Akuaponik sistemlerde bitkiler (marul) ve balıklar (Tilapia) için uygun pH aralığı 7-8'dir. Yapılan ölçümlere göre sistemde ki pH aralığı uygundur.
- Akuaponik sistemlerde tilapia balıkları için optimum sıcaklık aralığı 20-30 olup sistemde ortalama 23 °C ile bu aralık sağlanmıştır.
- Akuaponik sistemlerde, akuakültür kısmında balıklardan dolayı nitrit oranı yüksek olup hidroponik kısımda bitkiler tarafından besi maddesi olarak kullanılarak giderimi yapılır. Yapılan ilk ölçümlerde sistem henüz yeni kurulduğu ve bitkiler küçük olduğu için istenilen giderim verimi elde edilememiştir. Sistem düzenli olarak işlemeye devam ettiğinde zamanla giderim veriminin arttığı gözlemlenmiştir.
- Akuaponik sistemlerde, amonyum balıklardan ve yemden kaynaklanmakta olup miktarı yüksek değerlerdedir. Marullar tarafından giderimi yapılan amonyumun giderim verimi zamanla artmakta olup, akuaponik sistemin adaptasyonunun daha iyi bir şekilde tamamlanmasından sonra giderimin artarak devam edeceği ortaya konmuştur.
- Akuaponik sistemin KOİ giderim verimlerine bakıldığında ilk ölçüm ile beşinci ölçüm arasında ciddi bir KOİ giderimi görülmektedir. Bu sonuçlar bize akuaponik sistemde kullanılan bitkiler tarafından maliyetsiz olarak bir giderimin olduğunu göstermektedir. İlk ölçümde KOİ giderimi %2,1 iken 5. ölçümde giderim %36,1 değerlerine çıkmıştır.
- Akuaponik sistemin TP giderim verimlerine bakıldığında ilk ölçüm ile beşinci ölçüm arasında doğrusal bir TP giderimi görülmekte olup, akuaponik sistemin adaptasyonunun henüz tamamlanmadığı ve giderimin devam edeceğini göstermektedir. Bu sonuçlar bize akuaponik sistemde kullanılan bitkiler tarafından maliyetsiz olarak bir giderimin olduğunu göstermektedir. İlk ölçümde TP giderimi %2,2 iken 5. ölçümde giderim %23,4 değerlerine çıkmıştır.

## TEŞEKKÜR

Bu çalışma, TÜBİTAK 2209 Üniversite Öğrencileri Araştırma Projeleri Destekleme Programı tarafından desteklenmiştir. Desteklerinden dolayı TÜBİTAK'a teşekkürlerimizi sunarız.

## KAYNAKLAR

- Bartelme, R. P., B. O. Oyserman, J. E. Blom, O. J. Sepulveda-Villet and R. J. Newton (2018). "Stripping Away the Soil: Plant Growth Promoting Microbiology Opportunities in Aquaponics." *Frontiers in Microbiology* 9: 8.
- Datta, S., B. Mahapatra, J. Bhakta, S. Bag, S. Lahiri, R. Mandal and B. Jana (2018). *Aquaponics: A Green and Sustainable Eco-tech for Environmental Cum Economic Benefits Through Integration of Fish and Edible Crop Cultivation. Wastewater Management Through Aquaculture*, Springer: 207-224.
- Diver, S. (2000). *Aquaponics-Integration of hydroponics with aquaculture*, Attra.



- Fernández Cañero, R., L. Pérez Urrestarazu and G. Egea Cegarra (2015). Design and preliminary assessment of a vertical aquaponics system for ornamental purposes. *International Conference on Living Walls and Ecosystems Services* (2015), p 1-41.
- Goddek, S., B. Delaide, U. Mankasingh, K. V. Ragnarsdottir, H. Jijakli and R. Thorarinsdottir (2015). "Challenges of sustainable and commercial aquaponics." *Sustainability* 7(4): 4199-4224.
- Goodman, E. R. (2011). *Aquaponics: community and economic development*, Massachusetts Institute of Technology.
- König, B., J. Janker, T. Reinhardt, M. Villarroel and R. Junge (2018). "Analysis of aquaponics as an emerging technological innovation system." *Journal of Cleaner Production* 180: 232-243.
- Maucieri, C., A. A. Forchino, C. Nicoletto, R. Junge, R. Pastres, P. Sambo and M. Borin (2018). "Life cycle assessment of a micro aquaponic system for educational purposes built using recovered material." *Journal of Cleaner Production* 172: 3119-3127.
- Shalan, M., M. El-Mahdy, M. Saleh and M. El-Matbouli (2018). "Aquaculture in Egypt: Insights on the Current Trends and Future Perspectives for Sustainable Development." *Reviews in Fisheries Science & Aquaculture* 26(1): 99-110.