

Akuaponik Sistemlerde Domates (*Lycopersicon esculentum*) ve Marul (*Lactuca sativa*) Yetiştiriciliğinin Sazan Balığı (*Cyprinus carpio*) Refahı Üzerine Etkilerinin İncelenmesi

İlker Zeki KURTOĞLU¹, Abidin KÜÇÜKAĞTAŞ^{2*}

¹ Recep Tayyip Erdoğan Üniversitesi Su Ürünleri Fakültesi, 53020, Rize, Türkiye

² Recep Tayyip Erdoğan Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, 53020, Rize, Türkiye

Sorumlu Yazar/Corresponding Author

E-mail: abidin_kucukagtas19@erdogan.edu.tr

Araştırma Makalesi/Research Article

Geliş Tarihi/Received: 19.02.2025

Kabul Tarihi/Accepted: 18.04.2025

Öz

Bu çalışmada, standart bir akuaponik sistemde balık refahı incelenmiştir. Oluşturulan 4×5 m²'lik naylon serada yürütülen araştırmada, 180 gün boyunca balık gelişimi, su kalitesi değişimleri ve bitki gelişimini izlenerek kontrol grubu (RAS) ve deneysel akuaponik sistem (DM) grubu birbiriyle karşılaştırılmıştır. Her iki grupta 25 adet sazan balığı (*Cyprinus carpio*) bireyleri, sırasıyla 35,98±2,96 g ve 36,06±3,23 g ortalama ağırlığında olup, sırasıyla 3,53±0,02 kg/m³ ve 3,54±0,02 kg/m³ yoğunlukta yerleştirilmiştir. DM grubunda domates (*Lycopersicon esculentum*) ve marul (*Lactuca sativa*) bitkileri entegre edilerek gelişimleri izlenmiştir. Çalışma sonunda stok yoğunluğu ve yem tüketiminde anlamlı fark bulunmuş (P<0,05), ancak balık gelişim performansında (son balık boyu, son balık ağırlığı, ağırlık artışı, ağırlık artışı oranı, spesifik büyüme oranı, yem değerlendirme oranı, kondisyon faktörü ve yaşama oranı) gruplar arasında anlamlı fark gözlemlenmemiştir (P>0,05). Bitki gelişimi de ölçülmüş olup, toplamda 6.082 g *L. esculentum* hasat edilmiştir. *L. sativa* hasadından ise toplamda 232,08±16,57 g ürün elde edilmiştir (60. günde 100,22±5,02 g, 135. günde 34,29±5,72 g ve 180. günde 97,57±5,83 g). Su kalitesi parametreleri (amonyum azotu (NH₄-N), amonyak azotu (NH₃-N), nitrit azotu (NO₂-N), nitrat azotu (NO₃-N), sıcaklık, pH, oksijen, elektriksel iletkenlik (EC) ve bulanıklık (NTU)) değerlerinde gruplar arasında anlamlı fark göstermemiştir (P>0,05). Ayrıca balık kanında lökosit (WBC), eritrosit (RBC), hemoglobin (HGB), hematokrit (HCT), kortizol, kalsiyum (Ca⁺⁺) ve sodyum (Na⁺) düzeyleri ölçüm değerleri arasında anlamlı bir fark bulunmamıştır (P>0,05). Bu çalışmada, sistemde bitki yetiştiriciliğinin yetiştirilen balık sağlığı için belirgin olumsuz etkisi olmasa da her iki bileşenin de sağlıklı bir şekilde gelişebilmesi için su kalitesi, sıcaklık, filtrasyon ile aydınlatma sistemleri ve besin dengesi gibi faktörlerin dikkatle izlenmesi gerektiği sonucuna varılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Akuaponik, balık refahı, kapalı devre balık yetiştiriciliği sistemi, sürdürülebilir akuakültür

Investigation of the Effects of Tomato (*Lycopersicon esculentum*) and Lettuce (*Lactuca sativa*) Cultivation in Aquaponic Systems on Carp (*Cyprinus carpio*) Welfare

Abstract

In the present study, fish welfare was investigated in a standart aquaponic system. The experimental observations were conducted in a 4×5 m² polyethylene greenhouse over a period of 180 days, during which fish growth, water quality parameters, and plant development were monitored. The control group (RAS- Recirculating Aquaculture System) and the experimental aquaponic group (DM) were compared. In both groups, 25 common carp (*Cyprinus carpio*) individuals were stocked, with mean initial weights of 35.98±2.96 g and 36.06±3.23 g, and stocking densities of 3.53±0.02 kg/m³ and 3.54±0.02 kg/m³, respectively. In the DM group, tomato (*Lycopersicon esculentum*) and lettuce (*Lactuca sativa*) plants were integrated, and their development was monitored. At the end of the study, a significant difference was observed in feed consumption and stocking density (P<0.05); however, there were no statistically significant differences between the groups in terms of fish growth performance parameters, including final fish length, final fish weight, weight gain, weight gain rate, specific growth rate, feed conversion ratio, condition factor, and survival rate (P>0.05). Plant growth was also measured, with a total of 6,082 g of *L. esculentum* harvested. For *L. sativa*, a total yield of 232.08±16.57 g was obtained (100.22±5.02 g on day 60, 34.29±5.72 g on day 135, and 97.57±5.83 g on day 180). Water quality parameters, including ammonium nitrogen (NH₄-N), ammonia nitrogen (NH₃-N), nitrite nitrogen (NO₂-N), nitrate nitrogen (NO₃-N), temperature, pH, dissolved oxygen, electrical conductivity (EC), and turbidity (NTU), did not show significant differences between the experimental groups (P>0.05). Additionally, no significant differences were found in the blood parameters of fish, including white blood cell (WBC), red blood cell (RBC), hemoglobin (HGB), hematocrit (HCT), cortisol, calcium (Ca²⁺), and sodium (Na⁺) levels (P>0.05). In this study, it was concluded that although plant cultivation in the system does not have a significant negative effect on the health of the fish grown, factors such as water quality, temperature, filtration and lighting systems and nutritional balance should be carefully monitored for sustainable development.

Keywords: Aquaponics, fish welfare, recirculating aquaculture systems, sustainable aquaculture

Cite as;

Kurtoğlu, İ.Z. ve Küçükağtaş, A. (2025). Akuaponik sistemlerde domates (*Lycopersicon esculentum*) ve marul (*Lactuca sativa*) yetiştiriciliğinin sazan balığı (*Cyprinus carpio*) refahı üzerine etkilerinin incelenmesi. *Recep Tayyip Erdogan University Journal of Science and Engineering*, 6(1), 259-286. Doi: 10.53501/rteufemud.1643036

1. Giriş

Su ürünleri yetiştiriciliği, tarım ve hayvancılık sektöründe en hızlı büyüyen alanlardan biridir. Mevcut akuakültür uygulamaları genellikle, yüksek kaliteli su ihtiyacı nedeniyle, insan faaliyetlerinden uzak su kaynaklarında ve açık sistemlerde planlanmaktadır. Açık sistemlerde kullanılan su doğrudan alıcı ortama salınmaktadır. Ancak, hassas biyolojik çevrelerde ve su kıtlığı olan bölgelerde, yoğun balık yetiştiriciliği için çevreyle uyumlu kapalı devre sistemler (RAS) tercih edilmektedir. Her ne kadar kurulum ve işletme maliyetleri daha yüksek olsa da RAS uygulamaları suyun %90'ından fazlasının mekanik filtrasyon, biyolojik filtrasyon, sterilizasyon ve oksijenlendirme gibi işlemlerden geçirilerek tekrar kullanılmasını sağlar.

Geleneksel açık sistemler geniş alanlar ve yüksek debili su kaynakları gerektirirken, akuaponik sistemler sınırlı alan ve az miktarda su kullanımıyla daha yoğun yetiştiricilik imkânı sunar (Resh, 2022). RAS sistemlerde ve akuaponik sistemlerde taze suya duyulan ihtiyaç açık sistemlerde (flow through sistemlerde) kullanılan suyun %1'i kadardır (Rakocy, 1989). Akuaponik sistemler birçok gelişmiş ülkede yaygınlaşırken, Türkiye'de henüz yeni bir akuakültür tekniğidir (Kerim ve Ustaoglu Tırıl, 2009). Yüksek kurulum ve işletme maliyetleri nedeniyle RAS sistemleri genellikle kuluçkahanelerde veya değerli türlerin yetiştiriciliğinde tercih edilmektedir (Losordo vd., 1998).

1980'lerden itibaren alternatif bir akuakültür yöntemi olarak ortaya çıkan akuaponik sistemler, bitki ve balık üretimini birleştiren yüksek teknolojiye dayalı sistemlerdir. Küçük ölçekli üretimlerin yanı sıra, endüstriyel akuaponik sistemlerde yoğun balık ve bitki

yetiştiriciliği de yapılmaktadır. Bu sistemlerde genellikle tilapia, alabalık, deniz levreği gibi ekonomik değeri yüksek balıklar tercih edilir. Akuaponik sistemlerde yaygın olarak kullanılan balık türleri arasında morina balığı (*Maccullochella peelii peelii*), gümüş levreği (*Bidyanus bidyanus*), altın levreği (*Macquaria ambigua*), dere alabalığı (*Salmo trutta fario*), Atlantik salmonu (*Salmo salar*), tatlı su levreği (*Perca fluviatilis*), gökkuşağı alabalığı (*Oncorhynchus mykiss*), ot sazani (*Ctenopharyngodon idella*), gümüş sazani (*Hypophthalmichthys molitrix*), koi (*Cyprinus carpio*) ve tilapia (*Oreochromis sp.*) bulunmaktadır (Rakocy vd., 2006; Kerim ve Ustaoglu Tırıl, 2009). Akuaponik sistemlerde marul, domates, salatalık, biber, ıspanak, kabak, maydanoz, fesleğen gibi birçok kültür sebzesi ve çeşitli süs bitkileri yetiştirilebilmektedir. Bu yönüyle, yoğun kentsel yaşamda, sınırlı su kullanımıyla balık ve bitki yetiştirilebilen akuaponik sistemlerin kullanımı giderek yaygınlaşmaktadır.

Akuaponik sistemlerde bitkiler, beslenme ve büyüme süreçleri sırasında sistem suyunda balık yaşamını olumsuz etkileyebilecek değişimlere neden olabilir. Çeşitli çalışmalarda balık refahına odaklanılmış olsa da (Yavuzcan Yıldız vd., 2017; Yavuzcan ve Bekcan, 2019), akuaponik sistemde bitki varlığının balık refahı üzerindeki etkilerine odaklanan bir çalışmaya rastlanmamıştır.

Bu çalışmada, akuaponik sistemde yetiştirilen *L. sativa* ve *L. esculentum* bitkilerinin biyoaktivasyonunun *C. carpio* gelişimi üzerine etkileri incelenmiştir. Deney süresince deney gruplarında su kalite parametreleri, balık ve bitki gelişim performansları, balıkların hematolojik ve biyokimyasal kan parametreleri değişimleri 180 gün boyunca takip edilmiştir. Kontrol grupları ile akuaponik sistem grupları

balıklarının gelişim performansları, kan parametreleri karşılaştırılarak balık refahı ve sistemin sürdürülebilir işletimi hakkında değerlendirmeler gerçekleştirilmiştir.

2. Materyal ve yöntem

2.1 Deney alanı ve sistem kurulumu

Çalışma, Recep Tayyip Erdoğan Üniversitesi İyidere Su Ürünleri Araştırma ve Uygulama Merkezi'nde, açık alanda kurulan, 4×5 m taban alanına sahip naylon sera ortamında yürütülmüştür. Balık bakımı, 115×50×50 cm ebatlarında fiber tanklarda yapılmıştır. Sistem, düşük basınçlı kompresör (Blower) ile desteklenen havalandırma sistemi aracılığıyla sürekli olarak havalandırılmıştır. Balık yetiştiriciliği tankından çıkan kullanılmış su, 100 L hacimli dairesel fiber rezerv tankına kendi cazibesiyle aktarılmış ve akvaryum süngeri (50×25×5 cm) ile filtrasyon gerçekleştirilmiştir. Bu filtrasyon başlangıçta haftada bir kez, balık büyüklüğüne bağlı olarak artan yemleme ve dışkı miktarına bağlı olarak haftada iki kez mekanik olarak temizlenmiştir. Kapalı devre su dönüşümü, Xilong XL-136 marka akvaryum taban pompası ile sağlanmış ve sistemin su debisi vanalar yardımıyla düzenlenmiştir. Bregnballe (2022) ve Uğural vd. (2018) tarafından belirtildiği üzere, RAS sistemlerinde suyun %90'ından fazlası muameleden geçirilerek yeniden kullanılmıştır. Her bir sisteme kaynak suyundan temin edilmek üzere günlük 20 L taze su ilave edilmiştir. Bu miktar toplam hacim göz önünde bulundurularak yapılan hesaplamada, sistemin günlük %5,63 taze su değişimine tekabül etmektedir. Bu değişim miktarı RAS sistem kullanımı için belirtilen <%10 su değişim miktarı için uygun bir su değişimi olarak değerlendirilmiştir (Masser vd., 1999; Rakocy vd., 2006).

2.2 Deneme düzeneği

Deneme, iki tekrar ve iki tekerrür olacak şekilde toplam dört adet deneme sisteminden oluşmuştur. Bunlardan ikisi RAS (Recirculating Aquaculture System) kontrol grubu (K), diğer ikisi ise akuaponik sistem (DM) olarak tasarlanmıştır. RAS sisteminde mekanik ve biyolojik filtrasyon sağlanırken bitki yetiştirilmemiştir. Akuaponik sistemde ise NFT (Nutrient Film Technique) bitki yatağı tekniği kullanılmıştır. DM deneme sistemlerinde 70 mm çapındaki polivinil klorür (PVC) borulara, 20 cm'lik periyodik aralıklarla yuvalar açılmıştır. Bu yuvalara, 9 haftalık 9 adet *Lycopersicon esculentum* (domates) ve 5 haftalık 9 adet *Lactuca sativa* (marul) olmak üzere, her bir deneme ortamı için toplam 18 adet fide özenle yerleştirilmiştir. *L. sativa* sisteme üç ayrı periyotta yerleştirilmiş ve üç kez hasat edilmiştir. Sisteme birinci, ikinci ve üçüncü periyotlarda yerleştirilen *L. sativa* boyları sırasıyla ortalama 11,56±0,39 cm, 12,20±0,47 cm ve 12,33±0,65 cm; ağırlıkları ise sırasıyla ortalama 6,56±1,17 g, 14,06±1,26 g ve 13,56±1,94 g olarak belirlenmiştir. Sisteme yerleştirilen *L. esculentum*'ların ortalama boyu 11,17±0,19 cm; ağırlıkları ise 61,6±0,56 g olarak belirlenmiştir. Fidelerin sisteme entegrasyonundan yaklaşık bir hafta önce sisteme *C. carpio*'lar yerleştirilerek adaptasyonları sağlanmış ardından fidelerin sisteme entegrasyonu gerçekleştirilmiştir. Bitki yatağında, PVC borular aracılığıyla ilerleyen su doğrudan balık yetiştirme tankına geri dönüştürülmüştür (Şekil 1)

2.3 Deneme balıkları ve besleme

Deneme başlangıcında RAS (K) ve akuaponik sistem (DM) tanklarına sırasıyla 3,53±0,02 kg/m³ ve 3,54±0,02 kg/m³ stok yoğunluğunda, başlangıç ağırlıkları sırasıyla ortalama 35,98±2,96 g ve 36,06±3,23, boyları

ise sırasıyla ortalama $12,24 \pm 0,32$ cm ve $12,24 \pm 0,32$ cm olan toplam 25 adet *C. carpio* yerleştirilmiştir. Balıklar, günde üç öğün, canlı ağırlıklarının %1,5'i oranında, 3 mm pelet boyutunda ticari balık yemi (%46 protein, %19 ham yağ, %9,5 ham kül ve %1,6 ham selüloz içeren; Gümüşdoğa yem) ile beslenmiştir. Yem miktarı, 15 günlük biyokütle ölçümleri doğrultusunda güncellenmiştir.



Şekil 1. Çalışmanın yürütülmesi amacıyla inşa edilen sera ve deney düzeneği. A: Seranın dışardan genel görünümü, B: Kontrol (K) grupları olarak hazırlanan bitkisiz deneme sistemi, C: Akuaponik sistem olarak tasarlanan sisteme bitkilerin yerleştirilmiş görünümü, D: Mekanik ve biyolojik filtrasyon ünitesi

Figure 1. Greenhouse and experimental set-up constructed for the study. A: General view of the greenhouse from outside, B: Experimental system without plants prepared as control (K) groups, C: View of plants placed in the system designed as aquaponic system, D: Mechanical and biological filtration unit

2.4 Verilerin toplanması ve su kalitesi ölçümleri

Balıkların ağırlık ölçümleri için 1 g hassasiyetli SF-400 model dijital terazi, boy ölçümleri için ise 1 mm hassasiyetli Von Bayer teknesi kullanılmıştır. Bitki gelişiminin takibi, marullarda yaprak uzunluğu ve yaprak

sayısı ölçümleriyle, domateslerde ise meyve ağırlığı ve sayısı kayıtlarıyla gerçekleştirilmiştir. Ölçüm işlemleri 15 günlük periyotlar halinde yapılmıştır. Su sıcaklığı, civalı termometre ile günlük olarak ölçülmüştür. pH ve çözünmüş oksijen değerleri, Orion Star™ A329 model multiparametre su kalitesi ölçüm cihazı ile belirlenmiştir. Amonyak, nitrit, nitrat ve fosfat değerleri ise DR3900 model spektrofotometre ile 15 günlük periyotlarla analiz edilmiştir.

2.5 Işık ve çevresel koşullar

Deneme Nisan-Ekim ayları arasında 180 gün boyunca yürütülmüştür. Çalışmada doğal gün ışığından faydalanılmış olup, en kısa gün uzunluğu 12,5 saat, en uzun gün uzunluğu 15,0 saat (ortalama 13,91 saat) olarak hesaplanmıştır. Sera içi ışık şiddeti, Mastech MS6610 marka lüksmetre ile ölçülerek kaydedilmiştir. Çalışmamızda, yağmurlu günlerde ölçülen ışık yoğunluğu $112-607 \mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$, güneşli günlerde ise $428-1930 \mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ aralığında ölçülmüştür.

2.6 Hematolojik ve biyokimyasal analizler

Balıklardan hematolojik kan örnekleri, çalışmanın başlangıç, 60, 120 ve 180'inci günlerinde alınmış ve hematolojik analizler aynı gün içinde yapılmıştır. Anestezi kullanılmadan her bir deney tankından rastgele seçilen üç balığın kaudal venasından, steril 2,5 mL'lik şırıngalar kullanılarak kan örnekleme yapılmıştır. Alınan örnekler, BD Vacutainer marka 500 μL hacmindeki EDTA'lı tüplere aktarılarak 8-10 kez nazikçe alt üst edilmiştir. Numunelerin eritrosit, lökosit, hematokrit ve hemoglobin değerleri, PROKAN PE-6800 VET marka otomatik kan sayım cihazı ile analiz edilmiştir. Bu cihaz, kan hücrelerini elektriksel empedans yöntemiyle saymakta ve boyutlandırmakta, hemoglobin değerini ise kolorimetrik

yöntemle belirlemektedir (Köse ve Arıman Karabulut, 2022). Biyokimyasal kan analizi için 60, 120 ve 180'inci günlerde kan alınmıştır. Alınan numuneler, +4°C'de 1180×g'de 10 dakika süreyle santrifüj edilerek plazmaları ayrılmıştır. Plazma örnekleri, toplu analiz için -20°C'de muhafaza edilmiştir (Iversen vd., 1998; Kurtoğlu, 2002). Hazırlanan kan plazmalarında kortizol, sodyum ve kalsiyum düzeyleri, RTEÜ Tıp Fakültesi Biyokimya Laboratuvarı'nda incelenmiştir. Sodyum ve kalsiyum analizleri, Beckman Coulter AU5800 (Beckman Coulter Inc., Brea, California, USA) tam otomatik biyokimya cihazı ile spektrofotometrik yöntemle, kortizol düzeyi ise enzim bağlantılı immünosorbent testi (ELISA) yöntemiyle belirlenmiştir.

2.7 Hesaplamalar ve veri analizi

Çalışma sonunda balık gelişim performansı ve besin kullanımın belirlenmesinde aşağıdaki formüllerden yararlanılmıştır.

$$\text{Ağırlık Artışı (AA, g)} = \text{Son vücut ağırlığı (W}_s\text{)} - \text{başlangıç vücut ağırlığı (W}_i\text{)} \quad (1)$$

$$\text{Ağırlık Artışı Oranı (AAO, \%)} = 100 \times [(W_s - W_i) \div W_i] \quad (2)$$

$$\text{Yem Değerlendirme Oranı (FCR)} = \text{Tüketilen yem miktarı (g)} \div \text{AA (g)} \quad (3)$$

$$\text{Spesifik Büyüme Oranı (SBO, \% gün}^{-1}\text{)} = 100 \times [\ln(W_s) - \ln(W_i)] \div \text{gün} \quad (4)$$

$$\text{Kondisyon faktörü (KF, g/cm}^3\text{)} = 100 \times [\text{vücut ağırlığı} \div \text{vücut boyu}^3] \quad (5)$$

$$\text{Yaşama Oranı (\%)} = 100 \times (\text{Çalışma sonu balık sayısı} \div \text{başlangıç balık sayısı}) \quad (6)$$

Çalışmada elde edilen su kalitesi, balık gelişimi, kan analizleri ve bitki gelişim verileri ve çalışmada oluşturulan grafikler Microsoft Office Excel ve SigmaPlot 14.00 (Systat Software Inc., San Jose, CA, USA) yazılımları kullanılarak yapılmıştır. Tüm veriler ortalama $\pm$ standart Hata ($\pm$ SH) olarak sunulmuş ve istatistiksel anlamlılık düzeyi

$p < 0,05$ olarak kabul edilmiştir. Verilerin normal dağılımı Shapiro-Wilk testiyle, eş varyansları ise Brown-Forsythe test ile test edilmiştir. Normal dağılan gruplarda Student's T-test'i kullanılmış, normal dağılmayan gruplar için ise Mann-Whitney U testi uygulanmıştır.

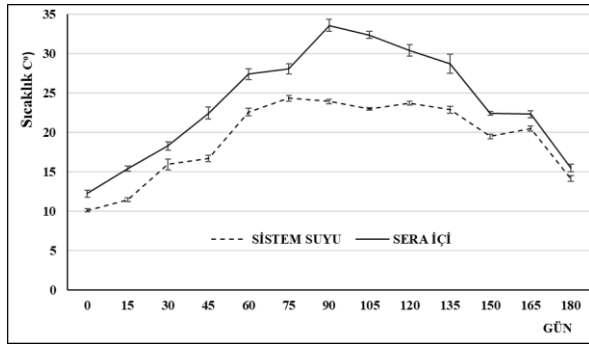
3. Bulgular

3.1 Su kalitesi ve çevresel koşullar

Çalışmanın yapıldığı RTEÜ Su Ürünleri Uygulama Araştırma Merkezi'nde balık yetiştiriciliğinde kullanılan taze su kalitesi temel parametreleri çalışma boyunca günlük olarak kaydedilmiştir. Buna göre taze su sıcaklığı $12,25 \pm 2,28$ °C (min 6,7 °C- mak 16,2 °C), çözünmüş oksijen $7,3 \pm 0,21$ mg/L (min 7,0 mg/L- mak 7,6 mg/L), pH $8,01 \pm 0,09$ (min 7,7- mak-8,2), iletkenlik $137,16 \pm 8,80$ μ s cm⁻¹ (min 120 μ s cm⁻¹ -mak 152 μ s cm⁻¹) olarak belirlenmiştir. Sistem suyunun sıcaklığı hem sera içerisinde oluşturulan iklim şartlarından hem de biyolojik aktivitelerden dolayı sisteme giren taze su sıcaklığından yüksek bulunmuştur. Buna göre sistem suyunun sıcaklığı DM grubunda $21,77 \pm 1,12$ °C ve K grubunda $22,53 \pm 0,77$ °C aralığında değişim göstermiştir. Benzer şekilde sistem suyunun pH düzeyi 6,4-8,5 aralığında farklılık göstermiştir.

Denemenin yapıldığı sera içerisinde sıcaklık meteorolojik şartlara bağlı olarak anlık değişim göstermiştir. Çalışma boyunca denemede kullanılan sistem suyu sıcaklığı en düşük 10°C ve en yüksek 24,3°C ($19,14 \pm 0,35$) olarak tespit edilmişken, sera içi sıcaklığı ise en düşük 12,23°C ve en yüksek 33,6°C ($23,78 \pm 0,59$) olarak tespit edilmiştir (Şekil 2).

Deneme boyunca Kontrol (K) ve Akuaponik sistemi (DM) gruplarında kullanılan suyun fiziksel özellikleri işe Şekil 3'te sunulmuştur.

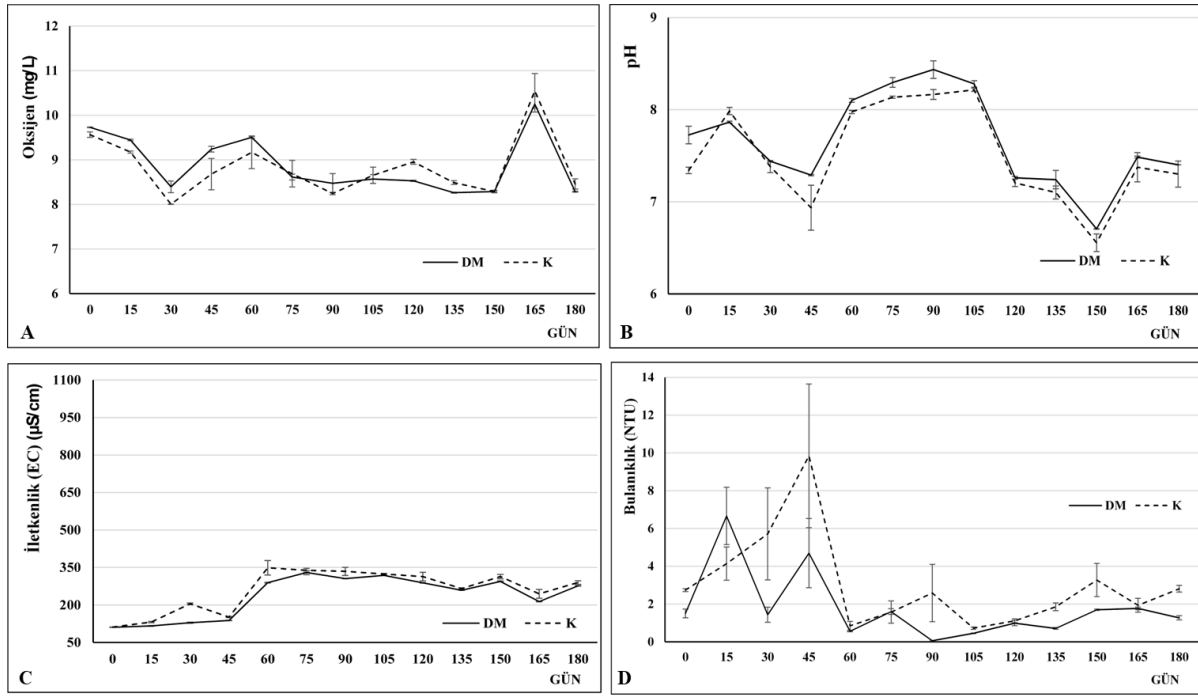


Şekil 2. Deneme süresince sistem suyu ve sera içindeki hava sıcaklığı değişimi (°C)

Figure 2. System water and greenhouse air temperature changes during the trial period (°C)

Buna göre, çalışmanın 0-30. günleri arasında çözünmüş oksijen seviyeleri K ve DM gruplarından benzer eğilim göstererek azalmış ve sırasıyla 9,57 mg/L den 8,01 mg/L'ye, DM ise 9,73 mg/L'den 8,40 mg/L düzeylerine kadar düşmüştür. 30-150 günler arasına kadar dalgalı bir eğilim seyreden oksijen seviyeleri K grubundan 8,01-9,17 mg/L, DM grubundan 8,40-9,51 mg/L aralığında seyretmiştir. 150-165'inci günlerde çözünmüş oksijen seviyeleri K grubunda 8,29-10,55 mg/L arasında seyretmiş sonra tekrar düşüşle 8,46 mg/L düzeylerine inmiştir, DM grubunda ise 8,29-10,25 mg/L arasında seyretmiş ardından 8,29 mg/L düzeyine inmiştir (Şekil 3A). Denemenin başlangıcından 45 güne kadar her iki grupta da pH düşüş eğilimi gösterirken, bu eğilim 45-105 günler arasında yükselerek K grubun en yüksek 8,22'de DM grubunda ise 8,44'te pik noktasına ulaşmıştır. Ardından 105-150 günler arasında keskin bir düşüşle K grubunda 6,56; DM grubunda ise

6,71 seviyesi düşmüştür. pH 150-180'inci günler arasında tekrar yükselerek K ve DM gruplarında sırasıyla 7,38-7,49 düzeylerine çıkmıştır (Şekil 3B). Çalışmada iletkenlik (EC) seviyeleri kontrol grubunda 0-30'uncu günler arasında yükselerek K grubunda 349 $\mu\text{S cm}^{-1}$, DM grubunda 330 $\mu\text{S cm}^{-1}$ düzeylerine kadar yükselmiş 45'inci günde bu eğilim azalarak akuaponik sistem grubuyla benzer olarak belirlenmiştir. 60'ıncı günden sonraki ölçüm periyotlarında her iki grupta da benze eğilimler gözlenirken, 60 ve 150 'inci günlerde iletkenlik değerleri K grubunda en yüksek 313,5 $\mu\text{S cm}^{-1}$, DM grubunda 294,5 $\mu\text{S cm}^{-1}$ düzeylerinde belirlenmiştir. Genel itibari ile 60-180'inci günler arasında EC değeri her iki grupta da 213-349 $\mu\text{S cm}^{-1}$ düzeyleri arasında kaldığı görülmüştür (Şekil 3C). Deneme gruplarında sistem suyunda askı yükü gruplar arasında değişkenlik göstermiş olup 45'inci günde K grubunda bulanıklık pik noktaya 9,84 NTU ulaşmıştır. Benzer şekilde DM gruplarında dalgalı bir eğilim 15'inci günde 6,66 NTU ile pik noktasına ulaşan bulanıklık her iki grupta da 60'ıncı günde benzer değere kadar düşmüştür (K= 0,85, DM= 0,56). 60-180'günler arasında dalgalı bir eğilim gösteren bulanıklık kontrol grubunda akuaponik sistem grubuna kıyasla daha yüksek seviyeler göstermiştir (K=3,27 NTU, DM=1,77) (Şekil 3D) Genel olarak çalışma boyunca kontrol grubunda bulanıklık 3 NTU seviyelerinde ölçülürken, akuaponik sistemde 1,80 NTU düzeylerinde belirlenmiştir (Tablo 1).



Şekil 3. Deneme süresince Kontrol (K) ve Akuaponik sistemi (DM) gruplarında kullanılan suyun fiziksel özellikleri. A: Sistem suyuunda çözülmüş oksijen düzeyleri, B: pH düzeyleri, C: İletkenlik düzeyleri, D: Bulanıklık düzeyleri

Figure 3. Physical properties of water used in Control (K) and Aquaponic system (DM) groups during the experiment. A: Dissolved oxygen levels in system water, B: pH levels, C: Conductivity levels, D: Turbidity levels

Deneneme sistemleri sularının amonyum azotu ($\text{NH}_4\text{-N}$), amonyak azotu ($\text{NH}_3\text{-N}$), nitrit azotu ($\text{NO}_2\text{-N}$), nitrat azotu ($\text{NO}_3\text{-N}$), sıcaklık, pH, oksijen, iletkenlik (EC) ve bulanıklık (NTU) düzeylerinin belirlenen

seviyeleri ortalama olarak hesaplanmış ve Tablo 1 de sunulmuştur. Bu parametreler bakımından akuaponik sistem ve kontrol grupları arasında anlamlı bir fark belirlenememiştir ($P>0,05$).

Tablo 1. Deneme gruplarında çalışma süresince ölçülen sistem suyu kalitesi değerleri

Table 1. Water quality values measured in the experimental groups during the study period

	$\text{NH}_4\text{-N}$ mg/L	$\text{NH}_3\text{-N}$ mg/L	$\text{NO}_2\text{-N}$ mg/L	$\text{NO}_3\text{-N}$ mg/L	pH	O_2 mg/L	EC ($\mu\text{S cm}^{-1}$)	t ($^{\circ}\text{C}$)	NTU
DM	0,16±0,03	0,03±0,02	0,10±0,02	4,84±0,31	7,83±0,10	8,89±0,13	236,21±15,70		1,80±0,39
K	0,33±0,14	0,04±0,02	0,25±0,08	6,65±0,94	7,69±0,11	8,84±0,14	355,81±46,06	19,14±0,35	3,01±0,60

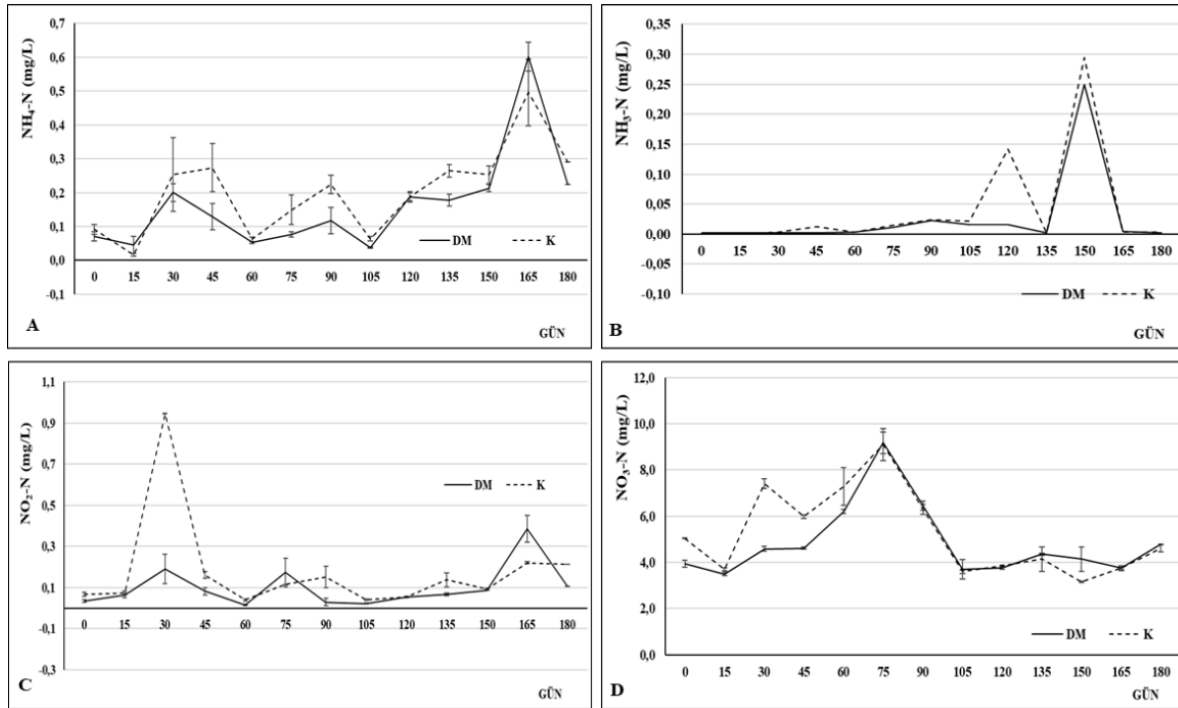
Veriler ortalama $\pm\text{SH}$ olarak sunulmuştur. DM: Akuaponik sistemi, K: Kontrol grubunu, $\text{NH}_4\text{-N}$: Amonyum, $\text{NH}_3\text{-N}$: Amonyak, $\text{NO}_2\text{-N}$: Nitrit, $\text{NO}_3\text{-N}$: Nitrat, O_2 : Çözülmüş oksijen, EC: Elektriksel iletkenlik, t ($^{\circ}\text{C}$): Çalışma süresince ortalama sıcaklık değeri ve NTU: Bulanıklığı ifade etmektedir.

Deneme boyunca Kontrol (K) ve Akuaponik sistemi (DM) gruplarında kullanılan suyun ölçüm periyotlarına bağlı olarak değişen, $\text{NH}_4\text{-N}$, $\text{NH}_3\text{-N}$, $\text{NO}_2\text{-N}$ ve $\text{NO}_3\text{-N}$ düzeyleri ise Şekil 4'te sunulmuştur. Buna göre Kontrol grubunda 30, 45, 90, 135 ve 165'inci

(sırasıyla 0,25±0,11; 0,27±0,07; 0,22±0,03; 0,27±0,02 ve 0,50±0,10) günlerde pik noktası oluşturan $\text{NH}_4\text{-N}$ düzeyleri, akuaponik sistem grubundan yüksek bulunmasına karşın anlamlı fark belirlenememiştir ($P>0,05$). 165'inci gün her iki grup açısından en yüksek

$\text{NH}_4\text{-N}$ düzeylerinin tespit edildiği gün olup sırasıyla kontrol ve akuaponik gruplarında $0,50\pm0,10$ ve $0,60\pm0,04$ $\text{NH}_4\text{-N}$ düzeyleri belirlenmiş fakat gruplar arasında anlamlı bir fark oluşmamıştır ($P>0,05$) (Şekil 4A). Çalışmanın 120'nci gününde kontrol grubunda ($0,14\pm0,001$) ve 150'nci gününde kontrol ve akuaponik grupların da $\text{NH}_3\text{-N}$ düzeyleri en yüksek düzeylerde (sırasıyla $0,29\pm0,01$ ve $0,25\pm0,01$) belirlenmişken gruplar arasında anlamlı bir fark oluşmamıştır ($P>0,05$) (Şekil 4 B). Çalışmanın 30 gününde kontrol grubunda $\text{NO}_2\text{-N}$ düzeyi en yüksek

seviyede ($0,95\pm0,001$) belirlenmişken, akuaponik sistemde en yüksek $\text{NO}_2\text{-N}$ ($0,39\pm0,07$) düzeyi tespit edilmiştir. Tüm çalışma boyunca $\text{NO}_2\text{-N}$ açısından gruplar arasında anlamlı bir fark oluşmamıştır ($P>0,05$) (Şekil 4C). Çalışmanın 75. gününde hem kontrol hem de akuaponik gruplarda en yüksek (sırasıyla, $9,11\pm0,70$ ve $9,19\pm0,47$) $\text{NO}_3\text{-N}$ düzeyleri belirlenmiş olup gruplar arasında tüm periyot boyunca gruplar arasında istatistiksel bir fark belirlenememiştir ($P>0,05$) (Şekil 4D).



Şekil 4. Deneme süresince kontrol (K) ve akuaponik sistem (DM) gruplarında kullanılan suyun kimyasal özelliklerinin değişimleri. A: Sistem suyu amonyak azotu ($\text{NH}_3\text{-N}$), B: Sistem suyunun amonyum azotu ($\text{NH}_4\text{-N}$), C: Sistem suyunun nitrit azotu ($\text{NO}_2\text{-N}$), D: Sistem suyunun nitrat azotu ($\text{NO}_3\text{-N}$)

Figure 4. Changes in the chemical properties of the water used in the control (K) and aquaponic system (DM) groups during the experiment. A: Ammonia nitrogen ($\text{NH}_3\text{-N}$) of system water, B: Ammonium nitrogen ($\text{NH}_4\text{-N}$) of system water, C: Nitrite nitrogen ($\text{NO}_2\text{-N}$) of system water ($\times 10^{-2}$), D: Nitrate nitrogen ($\text{NO}_3\text{-N}$) of system water

3.2 Balık ve bitki gelişim performansları

Deneme sonunda, *C. carpio* balıklarında RAS (Kontrol) ve akuaponik sistem (DM) gruplarında elde edilen veriler arasında yapılan karşılaştırmalar ve son vücut ağırlığı (W_s), son vücut boyu (L_s), son stok yoğunluğu

(SY_s), ağırlık artışı (AA), ağırlık artışı oranı (AAO), yem tüketimi (YT), yem değerlendirme oranı (FCR), spesifik büyüme oranı (SBO), kondisyon faktörü (KF) ve yaşama oranı (YO)'na ait belirlenen değerler Tablo 2 sunulmuştur. Çalışma sonunda SY_s ve YT bakımından Kontrol ve DM grupları

arasında anlamlı fark bulunmuşken ($P<0,05$), arasında anlamlı bir fark belirlenmemiştir diğer parametreler bakımından gruplar ($P>0,05$).

Tablo 2. Deneme sonunda *C. carpio*'da hesaplanan balık gelişim performansı ve besin kullanıma ait veriler

Table 2. Data on fish growth performance and feed utilization calculated for *C. carpio* at the end of the trial

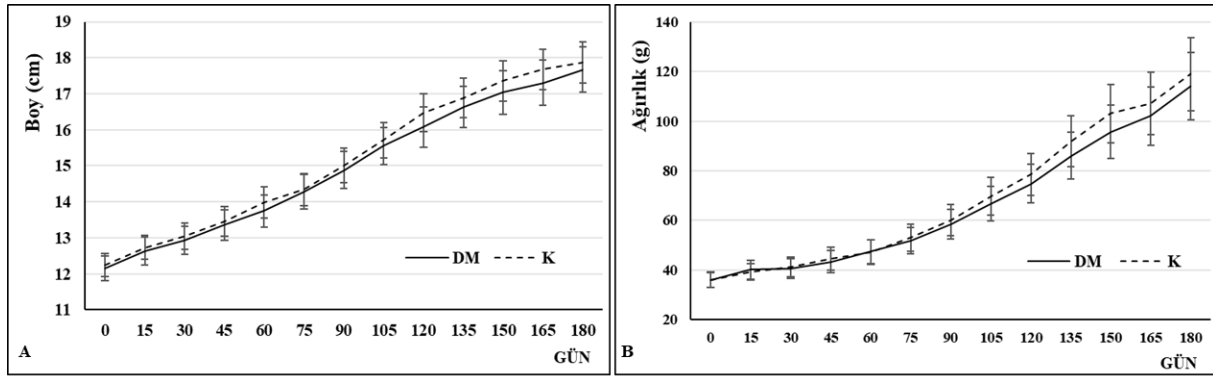
Parametreler	RAS (Kontrol)	Akuaponik sistem (DM)
L_i (cm)	$12,24 \pm 0,32$	$12,24 \pm 0,32$
L_s (cm)	$17,87 \pm 0,39$	$17,67 \pm 0,44$
W_i (g)	$35,98 \pm 2,96$	$36,06 \pm 3,23$
W_s (g)	$118,92 \pm 10,34$	$114,04 \pm 9,49$
SY_i (kg/km ³)	$3,53 \pm 0,02$	$3,54 \pm 0,02$
SY_s (kg/km ³)	$11,66 \pm 0,11^a$	$11,18 \pm 0,14^b$
AA (g)	$82,94 \pm 1,34$	$77,98 \pm 1,78$
AAO (%)	$230,5 \pm 2,059$	$216,23 \pm 3,37$
YT (g)	$4014,5 \pm 5,30^a$	$3958,0 \pm 6,36^b$
FCR	$2,51 \pm 0,40$	$2,60 \pm 0,42$
SBO (%)	$0,66 \pm 0,07$	$0,64 \pm 0,06$
KF (g/cm ³)	$1,87 \pm 0,02$	$1,88 \pm 0,02$
YO (%)	$100,0 \pm 0,00$	$100,0 \pm 0,00$

Tüm veriler ortalama $\pm$ SH olarak verilmiştir ($n=25$). Aynı satırda farklı harflere sahip veriler istatistiksel olarak önemlidir ($P<0,05$). L_i : Başlangıç balık boyu, L_s : Son balık boyu, W_i : Başlangıç balık ağırlığı, W_s : Son balık ağırlığı, SY_i : Başlangıç stok yoğunluğu, SY_s : Son stok yoğunluğu, AA: Ağırlık artışı, AAO: Ağırlık artışı oranı, YT: Tüketilen yem, FCR: Yem değerlendirme oranı, SBO: Spesifik büyüme oranı. KF: Kondisyon faktörü ve YO: Yaşama oran'ını temsil etmektedir.

Deneme boyunca ölçüm periyotlarında belirlen balık boy ve ağırlıkları Şekil 5'te kondisyon faktörleri Şekil 6'da FCR değerleri ise Şekil 7'de sunulmuştur. Her iki grup arasında, boy (Şekil 5A) ve ağırlık (Şekil 5B), kondisyon faktörü bakımından ve FCR değerleri bakımından ölçüm periyot günleri için anlamlı bir fark belirlenmemiştir ($P>0,05$).

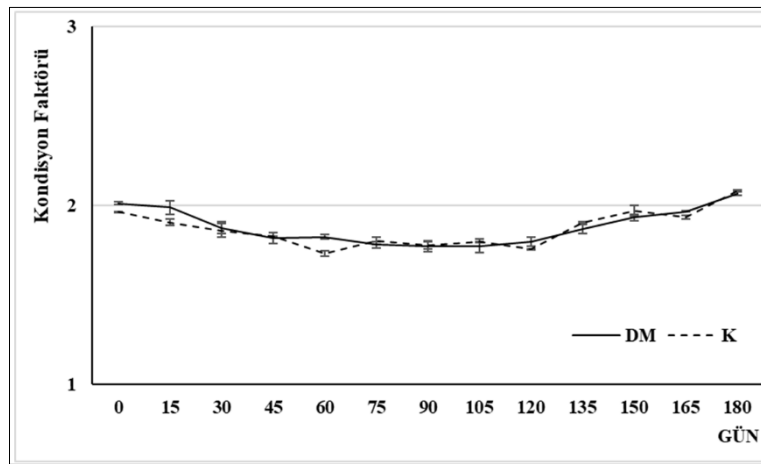
Akuaponik sistem gruplarında *L. sativa*'nın üç periyot halinde sisteme yerleştirildiği bölüm 2.2 de ifade edilmişti. Bu nedenle *L. sativa* hasatları nisan (DM1), haziran (DM2) ve temmuz (DM3) aylarında (çalışmanın 60,

135 ve 180'inci günlerinde) gerçekleştirilmiştir. Belirtilen aylarda hasat edilen *L. sativa*'ların sırasıyla ortalama boyları (DM1) $34,14 \pm 2,13$ cm, (DM2) $51,29 \pm 6,47$ cm ve (DM3) $59,79 \pm 3,93$ cm; ağırlıkları ise sırasıyla (DM1) $100,22 \pm 5,02$ g, (DM2) $34,29 \pm 5,72$ g ve (DM3) $97,57 \pm 5,83$ g olarak belirlenmiştir. Çalışma boyunca *L. sativa*'da belirlenen gelişim performansına ait ortalama bitki boyu Şekil 8A'da, hasat edilen ortalama ürün ağırlığı Şekil 8B'de, hasat günlerindeki (DM1, DM2 ve DM3) toplam ürün ağırlığı Şekil 8C de sunulmuş olup, hasat edilen ürünlerin gelişimine ait görseller Şekil 9'da sunulmuştur.



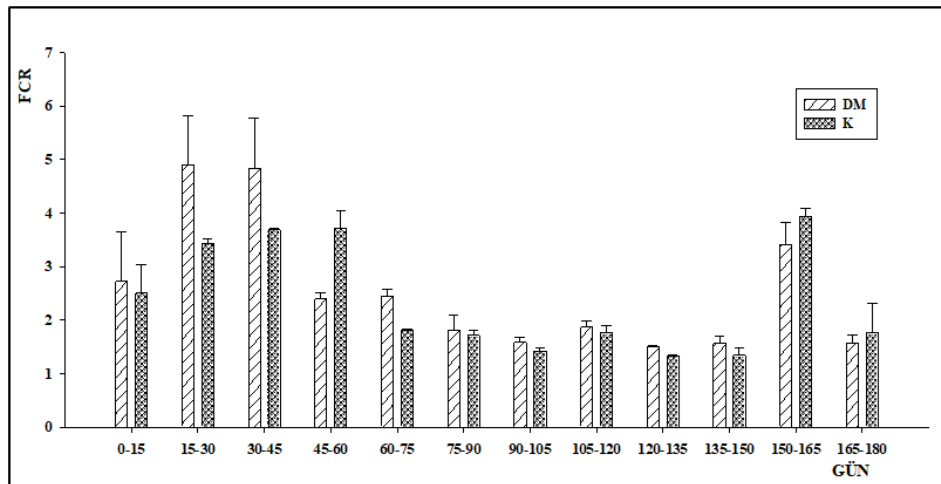
Şekil 5. Deneme gruplarında çalışma süresince balıkların ortalama boy (A) ve ağırlık (B) değişimleri.

Figure 5. Changes in average length (A) and weight (B) of fish in experimental groups during the study period.



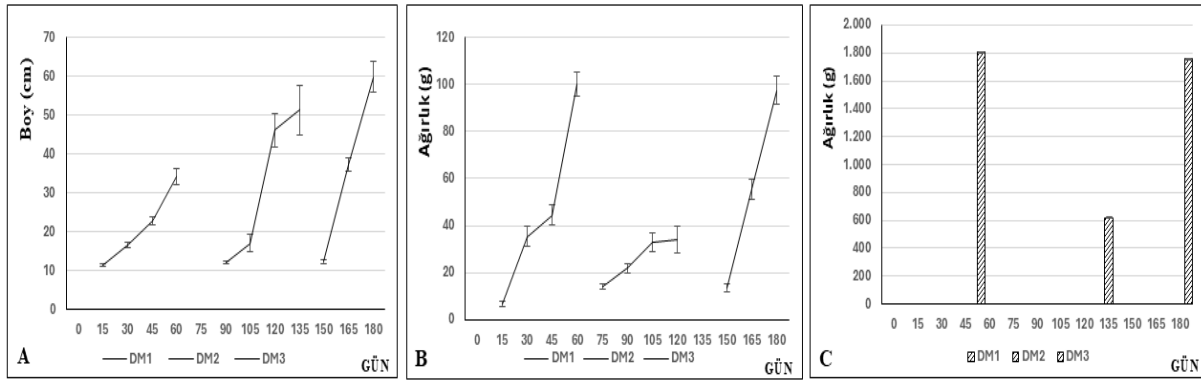
Şekil 6. Deneme süresince kontrol (K) ve akuaponik sistem (DM) gruplarında hesaplanan kondisyon faktörü değişimleri

Figure 6. Condition factor changes calculated in control (K) and aquaponic system (DM) groups during the experiment



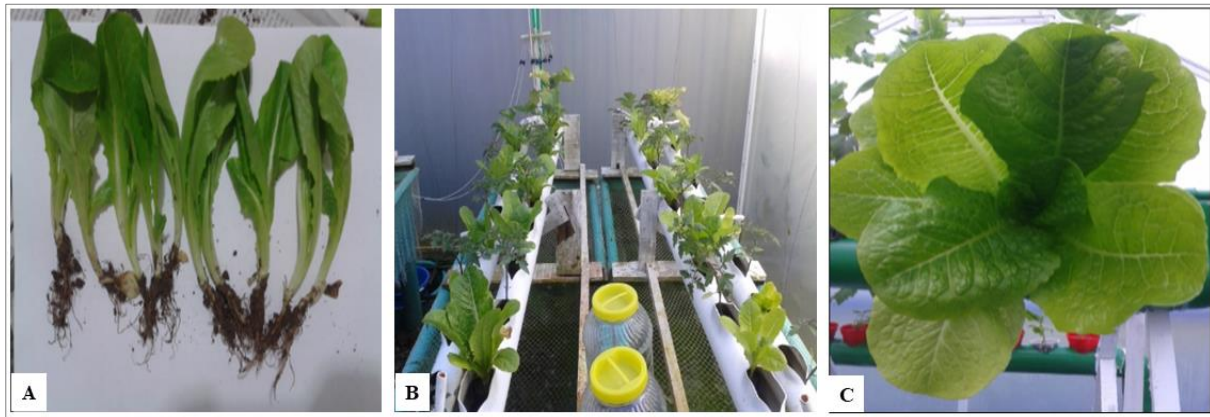
Şekil 7. Deneme süresince kontrol (K) ve akuaponik sistem (DM) gruplarında hesaplanan yem dönüşüm değeri (FCR) değişimleri

Figure 7. Changes in feed conversion ratio (FCR) calculated in control (K) and aquaponic system groups during the experiment



Şekil 8. Çalışma boyunca *L.sativa*'da belirlenen gelişim performansı. A: çalışma süresince ölçülen ortalama *L.sativa* boyları, B: çalışma süresince ortalama *L.sativa* ağırlıkları, C: çalışma süresince hasat edilen toplam *L.sativa* ağırlıkları (Üç farklı zamanda gerçekleştirilen marul hasadı DM1, DM2 ve DM3 terimleri ile özetlenmiştir).

Figure 8. Growth performance of *L.sativa* during the study. A: average *L.sativa* height measured during the study, B: average *L.sativa* weight during the study, C: total *L.sativa* weight harvested during the study. (Lettuce harvests at three different times are summarized as DM1, DM2 and DM3).

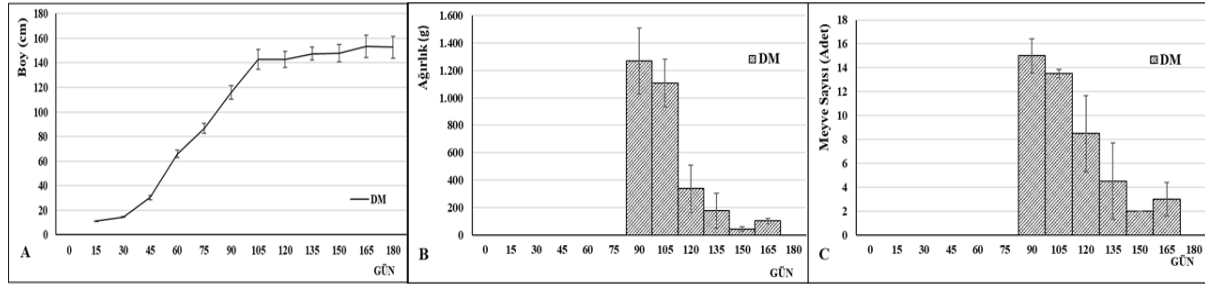


Şekil 9. Akuaponik sistemde yetiştirilen marul (*L.sativa*) bitkilerine ait görseller. A: Sisteme yerleştirilmek üzere hazırlanan *L.sativa* fideleri, B: sisteme entegre edilen *L.sativa* fideleri, C: hasat boyuna ulaşmış *L.sativa*.

Figure 9. Image of lettuce (*L.sativa*) plants grown in an aquaponic system. A: *L.sativa* seedlings prepared for placement in the system, B: *L.sativa* seedlings integrated into the system, C: *L.sativa* plants reaching harvest height

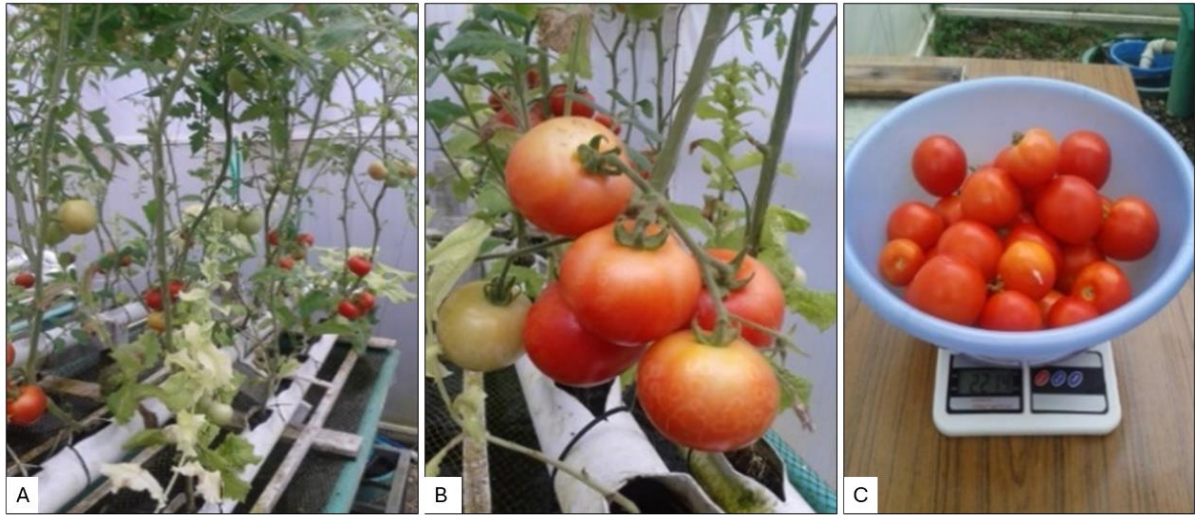
Akuaponik sistem gruplarında *L.esculentum*'larda meyve hasadı temmuz, ağustos ve eylül aylarında gerçekleştirilmiş olup, ilk *L.esculentum* hasadı çalışmanın 90'ıncı gününde yapılmıştır. En yüksek hasat verimi temmuz ayında gerçekleşmiş olup $1.188,5 \pm 18,87$ g olarak gerçekleşmiştir. Ağustos ayında $258,25 \pm 16,20$ g ve eylül aylarında $73,75 \pm 6,61$ g ürün elde edilmiştir. Çalışma boyunca iki tekrardan oluşan akuaponik sisteminde toplam 6.082 g ürün

elde edilmiş olup ortalaması $3,041 \pm 26,02$ kg ürün eldesi gerçekleşmiştir. Ortalama *L.esculentum* boyu ise $152,69 \pm 8,83$ cm'ye kadar ulaşmıştır. Çalışma boyunca *L.esculentum*'da belirlenen gelişim performansına ait bitki boyu Şekil 10A'da, hasat edilen ürün ağırlığı Şekil 10B'de, hasat edilen meyve sayısı Şekil 10C'de, hasat edilen ürünlere ait görseller ise Şekil 11 de sunulmuştur.



Şekil 10. Akuaponik sistem gruplarında domates (*L.esculentum*) fidelerinin gelişim grafikleri. A: Ortalama boyca büyüme grafiği, B: Hasat edilen domates ağırlığının zamansal değişimi, C: Hasat edilen domates sayısının zamansal değişimi

Figure 10. Growth graphs of tomato (*L.esculentum*) seedlings in aquaponic system groups. A: Graph of average height growth, B: Temporal variation of harvested tomato weight, C: Temporal variation of harvested tomato number



Şekil 11. Akuaponik sistemde yetiştirilen domates (*L.esculentum*) bitkilerine ait görseller. A: Besin film teknik sisteme (NFT) ile yerleştirilen *L.esculentum* bitkileri, B: Hasat olgunluğuna ulaşmış *L.esculentum*, C: Hasat edilen *L.esculentum* ürünleri

Figure 11. Images of tomato (*L.esculentum*) plants grown in an aquaponic system. A: *L.esculentum* plants placed with nutrient film technical system (NFT), B: *L.esculentum* reaching harvest maturity, C: Harvested *L.esculentum* products

3.3 Hematolojik ve biyokimyasal analizler

Çalışma sonunda Kontrol ve akuaponik sistem grupları arasında belirlenen ortalama lökosit (WBC), eritrosit (RBC), hemoglobin (HGB) ve hematokrit (HCT), kortizol, Ca^{++} ve Na^{+} düzeyleri Tablo 3'te sunulmuştur. Sonuçlara göre çalışma sonunda gruplar arasında anlamlı bir fark oluşmamıştır

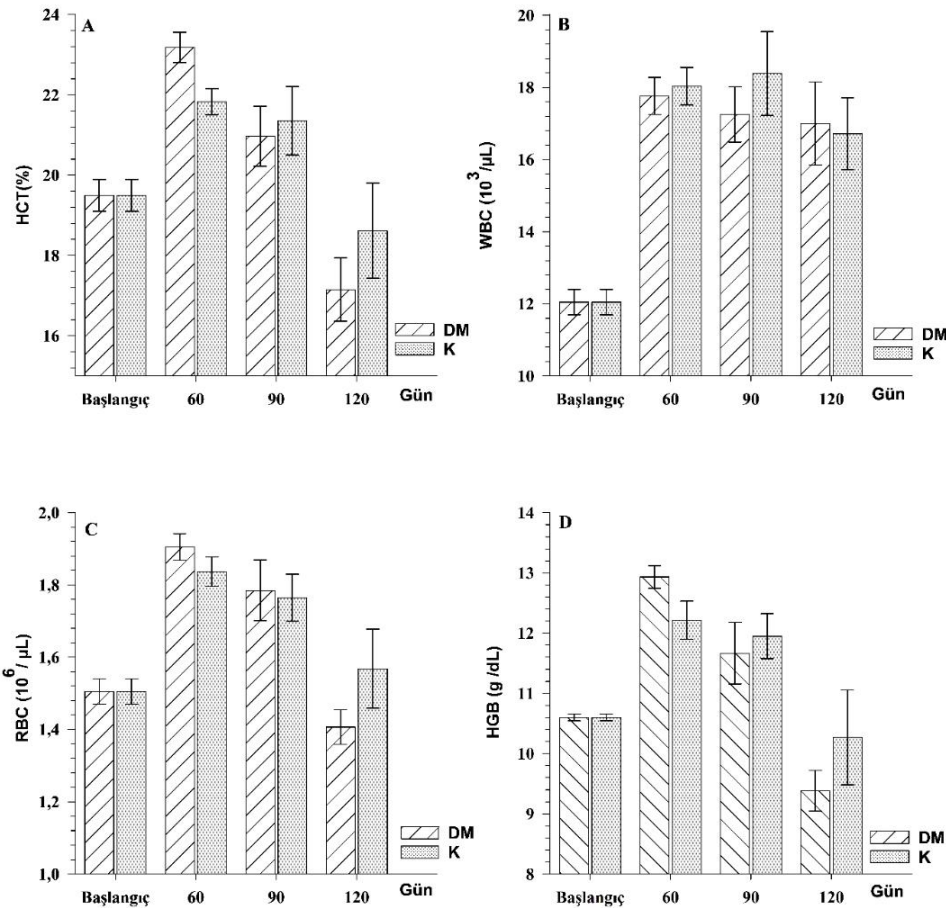
($P>0,05$). Çalışma boyunca ölçüm dönemlerinde WBC değerleri $10,8 \times 10^3$ - $20,8 \times 10^3/\mu L$, RBC değerleri $1,15 \times 10^6$ - $2,20 \times 10^6/\mu L$, HGB değerleri 8,6-13,9 g/dL ve HCT değerleri %15,1-24,5 arasında değişim göstermiştir grupların periyotlar içinde anlamlı bir fark oluşturmadığı belirlenmiştir ($P>0,05$) (Şekil 12).

Tablo 3. RAS ve akuaponik sistemlerde yetiştirilen *C. carpio* balıklarında çalışma boyunca belirlenen hematolojik ve plazma parametrelerinin ortalama değerleri.

Table 3. The average values of the hematological parameters determined at the end of the study in *C. carpio* fish raised in RAS and aquaponic systems

Parametreler	RAS (Kontrol)	Akuaponik (DM)
WBC ($10^3/\mu\text{L}$)	17,71 $\pm$ 0,50	17,34 $\pm$ 0,22
RBC ($10^6/\mu\text{L}$)	1,72 $\pm$ 0,08	1,70 $\pm$ 0,15
HGB (g/dL)	11,48 $\pm$ 0,61	11,32 $\pm$ 1,03
HCT (%)	20,60 $\pm$ 0,99	20,43 $\pm$ 1,76
Kortizol (ng/ml)	52,74 $\pm$ 4,00	59,27 $\pm$ 0,58
Ca ⁺⁺ (mmol/l)	8,92 $\pm$ 0,40	9,40 $\pm$ 0,23
Na ⁺ (mmol/l)	142,11 $\pm$ 0,82	142,94 $\pm$ 1,15

Tüm veriler ortalama $\pm$ SH olarak verilmiştir (n=3). Aynı satırda farklı harflere sahip veriler istatistiksel olarak önemlidir (P<0.05, Student's t-test). WBC: lökosit, RBC: eritrosit, HGB: Hemeglobin, HCT: Hematokrit

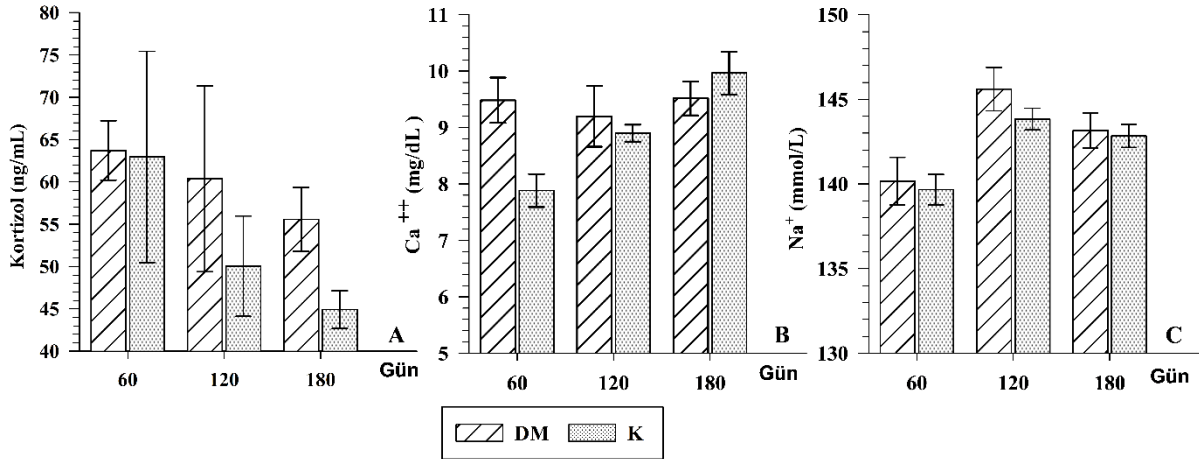


Şekil 12. Deneme süresince kontrol (K) ve akuaponik sistem (DM) gruplarında ölçülen ortalama hematolojik kan parametreleri değişimi. Veriler ortalama $\pm$ SH olarak sunulmuştur (n=6) (P>0,05, t-Testi)

Figure 12. Change in mean hematologic blood parameters measured in the control (K) and aquaponics system (DM) groups during the trial. Data are presented as mean $\pm$ SD (n=6) (P>0.05, t-Test)

Deneme boyunca Kontrol ve akuaponik sistemlerde ölçüm periyotlarına göre biyokimyasal kan parametrelerinden kortizol, kalsiyum iyonu (Ca^{++}), sodyum iyonu (Na^+) seviyelerinin plazmada belirlenen düzeyler Şekil 13'te sunulmuştur. Çalışma boyunca en düşük kortizol seviyesi 44,93 ng/ml, en

yüksek 63,72 ng/ml; en düşük Ca^{++} düzeyi 7,88 mmol/l, en yüksek 9,97 olarak; en düşük Na^+ düzeyi 139,67 mmol/l, en yüksek 145,5 mmol/l olarak belirlenmiştir. Her üç parametrede de ölçüm periyotlarında kontrol ve akuaponik grupları arasında anlamlı bir fark belirlenmemiştir ($P>0,05$).



Şekil 13. Deneme süresince kontrol (K) ve akuaponik sistem (DM) gruplarındaki balıklarda belirlenen biyokimyasal kan plazmasında ölçülen ortalama kortizol, Ca^{++} (kalsiyum iyonu) ve Na^+ (Sodyum iyonu) değerleri değişimi. Veriler ortalama $\pm$ SH olarak sunulmuştur ($n=6$) ($P>0,05$, t-Testi)

Figure 13. Change in mean cortisol, Ca^{++} (calcium ion) and Na^+ (sodium ion) values measured in biochemical blood plasma determined in fish in the control (K) and aquaponic system (DM) groups during the experiment. Data are presented as mean $\pm$ SD ($n=6$) ($P>0.05$, t-Test)

4. Tartışma

4.1 Su kalitesi değişimleri

Çalışma sonunda elde edilen su kalite parametrelerinin, *C. carpio* yetiştiriciliği ile ilgili Çelikkale (1988), Verap (2017) ve Mohale vd. (2020) tarafından bildirilen kriterlerle genel olarak uyumlu olduğu tespit edilmiştir.

RAS sistemlerde, balık refahını doğrudan ve dolaylı etkileyen kriterlerden biri suyun pH değeridir. Nötr seviyesi ($\text{pH}=7$) altında balıklar için yüksek toksik amonyak (NH_3) daha az toksik olan amonyum (NH_4) yapısında dönüşmektedir (Serezli, 2011; Küçükağtaş, 2012). Hidroponik sistemlerde bitki gelişimi için uygun pH aralığının 5,5-6,8

arasında olması gerektiği belirtilmiştir (Tyson vd., 2004). Bitki köklerinin besin maddelerini emmesi için sistem suyunun pH değeri önemlidir (White, 2012). Birçok iz element, düşük pH seviyelerinde bitkiler tarafından kullanılabilir. Akuaponik sistemlerde optimal nitrifikasyon pH 8,5 gerçekleşir. pH 6,0 düzeyi birçok bitki türü için en verimli besin alımı düzeyi olarak bildirilmiş bu nedenle akuaponik sistemlerde sistem suyunun pH değerinin 7,0'a yakın olması tavsiye edilmiştir (Wortman, 2015; Cerozi ve Fitzsimmons, 2016). Mevcut çalışmada, akuaponik sistemde belirlenen ortalama pH düzeyi literatürden farklı olarak biraz yüksek bulunmuş olsa da *L. esculentum* gelişimi bitki yapraklarında belirgin kloroz etkisi olmaksızın devam etmiştir. Ürün hasat

miktarı ile ortalama pH=7,58 değeri arasında ise ters orantılı bir gelişim gözlenmiştir. Bunun nedeni, yüksek pH'nın bitkilerin besin maddelerini daha az verimli bir şekilde alması nedeniyle açıklanabilir. Öte yandan, *L.esculentum* ve *L.sativa* gibi bazı bitkiler belirli pH seviyelerine uyum sağlama konusunda yüksek tolerans gösterebilir ve bu da yapraklarda belirgin bir kloroz etkisi olmaksızın gelişimlerini sürdürebilmelerine olanak tanıyabilir (Marschner, 2012). Bitki kökleri, rizosfer bölgesinde çeşitli mekanizmalar yoluyla pH'ı düşürebilir. Bu süreç genellikle bitkilerin besin alımını optimize etmek için gerçekleşir (Marschner, 2012). pH'nın yüksek olmasına rağmen ürün elde edilebilmesinin bir başka nedeni bu bildirimle de açıklanabilir.

Elektriksel iletkenlik (EC), belirli besin maddelerinin iyonik formlarının seviyesini belirlemek için kullanılabilir ve akuaponik sistemde çözünür ve biyolojik olarak erişilebilir besinlerin toplam miktarını kontrol etmek için bir kılavuz veya araç görevi görebilir (Bildirici ve Bildirici, 2021). Akuaponik sistemlerde başarılı bitki gelişimi için EC<3000 μ S/cm olması istenir (Soliman, 2022). Optimal EC bitkiye özgü olup çevresel koşullara bağlıdır. Genel olarak, yüksek EC, besin alımını engelleyerek ozmotik basıncı arttırabilir, besin kayıplarına ve çevre kirliliğine neden olabilir. Çok düşük EC seviyesi ise bitki sağlığını ve verimini olumsuz etkileyebilir (Ding vd., 2018). Akuaponik sistemlerde optimal EC *L.sativa* için 800-1200 μ S/cm ve *L.esculentum* için 2000-5000 μ S/cm olarak bildirilmiştir (URL-1, 2024). Mevcut çalışmada bulunan değerler literatürden düşük bulunarak farklılık göstermiştir. Fakat düşük EC düzeylerine rağmen çalışmada bitki gelişimi meydana gelmiştir. Düşük EC düzeylerine rağmen bitki gelişiminin gözlemlenmesi, sistem suyundaki besin elementlerinin yeterli seviyelerde

olması, bitkinin kök bölgesinde bulunan mikrobiyal organizmaların organik maddeleri parçalayarak besinleri bitkinin alabileceği daha biyoyararlanımlı formlara dönüştürmesi veya düşük EC nedeniyle bitkinin hücredeki turgor basıncını korumak amacıyla kökleri aracılığıyla daha fazla su almasıyla açıklanabilir. Doğal sular olan göller ve rezervuarlarda bulanıklık düzeyleri genellikle 1–20 mg/L arasında değişmekte olup, bu aralık sazan yetiştiriciliği için uygun kabul edilmektedir (Anzecc, 2000; Selek vd., 2017). Bu çalışmada, kontrol ve akuaponik sistem gruplarında ölçülen bulanıklık değerleri, söz konusu kaynaklarda belirtilen sınırlar içerisinde kalmıştır.

Kapalı devre sistemlerde nitrojenli bileşiklerin ve karbondioksitin balıklar açısından ölümcül etkisi dikkat edilmesi gereken başlıca risklerdendir. NH₄-N sazanda akut koşullarda 2,33 mg/L konsantrasyonda 96 saat içinde, kronik koşullarda ise 1,03-1,74 mg/L konsantrasyonlarda ölüme neden olmaktadır (Hasan ve Machintosh, 1986; Ebeling vd., 1995; Losordo vd., 1998; Masser vd., 1999; Das vd., 2004; Guan vd., 2010). NH₄-N düzeyi, pH $\leq$ 7,0 ise toksik olmayan NH₄-N formunda kalırken, pH >7,0 olduğunda toksik olan NH₃-N formuna dönme eğilimi gösterir (Hasan ve Machintosh, 1986; Das vd., 2004; Verrep, 2017). Bu çalışmadan farklı olarak, Hassan vd. (2025), çalışmasında bitkisiz kontrol grubunda NH₃-N seviyesini 0,01 mg/L, farklı bitkilerin olduğu guruplarda ise 0,01-0,013 mg/L düzeylerinde bildirmiştir. Mevcut çalışmada pH düzeyi ortalama 7,58 değeriyle birlikte NH₃-N düzeyi genel olarak literatürde *C.capio* için bildirilen sınırlar içinde kalmıştır (Çelikkale, 1988; Guan vd., 2010; Hasan ve Machintosh, 1986). Bu akuaponik sistemde mikroorganizmalardan oluşan biyolojik filtreleme süreçlerinin etkin bir şekilde çalışıyor olduğunun göstergesidir. Filtrasyon

sistemin iyi çalışması ise su sirkülasyonu ve oksijen seviyelerinin mikrobiyal aktiviteyi destekleyecek yeterlikte olduğunu gösterebilir.

Özellikle sucul ortamlarda yüksek NO_3 düzeyleri bitkiler için en çok tercih edilen besinlerden biridir ve balıklara toksik açıdan zararları oldukça azdır (Rakocy vd., 2007). Nitrat konsantrasyonları ile ilgili olarak literatürde farklı pek çok bildirim yapılmıştır. Ilıman su balıklarında, 182 mg/L $\text{NO}_3\text{-N}$ düzeyinin 24-96 saat içinde %50 ölüm oranına neden olduğu bildirilmişken (Lewis ve Morris, 1986), Ebeling vd. (1993) yetiştiricilik sistemlerinde 25 mg/L üzerindeki $\text{NO}_3\text{-N}$ düzeylerinin bile balıklarda zararlı bir durum oluşturmadığını bildirmiştir. Başka bir bildirimde ise marul-tilapia akuaponik isteminde $\text{NO}_3\text{-N}$ seviyesi 50 mg/L olarak rapor edilmiştir (Licamele, 2009). Mao vd. (2023) *Carassius auratus*'ta yaptıkları çalışmada RAS grubunda 6,83 mg/L, akuaponik grubunda ise 5,19 mg/L $\text{NO}_3\text{-N}$ seviyeleri bildirmiştir. Bu çalışmada hem kontrol hem de akuaponik sistem gruplarında çalışma süresince $\text{NO}_3\text{-N}$ düzeyleri literatürde bildirilen değerlerin (Çelikkale, 1988; Küçükağtaş, 2012; Mohale vd. 2020) altında ölçülmüştür (Şekil 4). Literatürle bildirilen farkın nedeni, çalışılan hayvan ve bitki türlerinin, çevresel şartların ve çalışma sürelerinin farklı olmasıyla ilişkilendirilebilir.

Nitrit, azot döngüsündeki önemli bir ara üründür ve balık yetiştiriciliği sistemlerinde, özellikle RAS ve akuaponik gibi kapalı devre su sistemlerinde izlenmesi gereken kritik bir parametredir. Yetersiz nitrifikasyon, özellikle başlangıç döneminde biyofiltrelerde önemli bir sorundur. Başlangıç dönemlerinde azot oksitleyen bakteri (AOB) büyüme hızı ve bolluğu nitrit oksitleyen bakteri (NOB) bolluğundan daha düşük olduğu bunun da

NO_2^- birikmesine yol açtığı fakat nitrifikasyon tamamen kurulduğunda NH_4^+ ve NO_2^- oksidasyon oranlarının sabit duruma ulaştığı bildirilmiştir (Kuhn vd., 2010; Delong ve Losordo, 2012). Hem RAS sistemlerinde hem de akuaponik sistemlerde arzu edilen $\text{NO}_2\text{-N}$ 'nin hiç bulunmamasıdır. Sazan balığı yetiştiriciliği için de NO_2 düzeyinin 0,06-0,1 mg/L arasında olması gerektiği ifade edilmişken (Verrep vd., 2017), genel akuaponik sistemlerde NO_2 düzeyinin <1 mg/L altında olması gerektiği bildirilmiştir (Sallenave, 2016). *L.esculentum*-tilapia (*Oreochromis niloticus*) akuaponik sisteminde $\text{NO}_2\text{-N}$ <0,3 mg/L (Hu vd.,2015), Çin lahanası (*Brassica chinensis*)-*C. carpio* akuaponik sisteminde $\text{NO}_2\text{-N}$ <0,2 mg/L (Zou vd., 2016) düzeylerinde bildirilmiştir. Mao vd. (2023) *Carassius auratus*'ta yaptıkları çalışmada RAS grubunda 0,24 mg/L, akuaponik grupta ise 0,12 mg/L $\text{NO}_2\text{-N}$ seviyeleri bildirmiştir. Hassan vd. (2025), çalışmasında bitkisiz grupta 0,27 mg/L, bitkili gruplarda ise 0,13-0,20 mg/L aralığında bildirmiştir. Bu çalışmada, kontrol grubunda çalışma boyunca belirlenen ortalama değer ($0,25 \pm 0,08$ mg/L) bazı bildirimlerden yüksek bulunmuş fakat *C.carpio* üzerinde olumsuz bir etki gözlenmemiştir. Çalışmalar arasındaki farkın temel nedeni sistem tipleri, balık türleri, su koşulları, nitrifikasyon sisteminin durumu ve çalışma süresi gibi faktörlerle açıklanabilir. Kuhn vd. (2010), Delong ve Losordo (2012) bildirimleriyle uyumlu olarak çalışmanın 30'uncu gününde özellikle kontrol grubunda görülen yükselen $\text{NO}_2\text{-N}$ eğilimi nitrifikasyon sisteminin tamamen oturmamış olmasıyla açıklanabilir.

4.2 Balık gelişimi ve besin kullanımı

Çalışma sonunda YT ve SY_s bakımından gruplar arasında anlamlı farklılık bulunurken kontrol grubunda DM grubuna oranla daha yüksek değerler bulunmuştur. Kontrol

grubunda L_s , W_s , AA, AAO, SBO ve KF bakımından daha yüksek, FCR bakımından ise daha düşük değerler bulunmasına karşın DM grubuyla anlamlı bir fark belirlenmemiştir ($P>0,05$). Bu çalışmadan farklı olarak, Mao vd. (2023) *Carassius auratus*'ta yaptıkları çalışmada RAS grubunda akuaponik grubuna kıyasla daha düşük W_s , SBO, AAO bildirmişken yaşama oranları ise çalışmamızla benzer bulunmuştur. Khalil vd. (2022) akuaponik sistemde *Oreochromis niloticus* ve *C. carpio* polikültür ve monokültür yetiştiriciliğinde *C. carpio* KF değerini 1,4, SBO değerini %2,5-2,6 aralığında, FCR değerini ise 1,3-2,0 aralığında bildirilmişlerdi. Hassan vd. (2025), çeşitli sebzelerin filtrasyon bitkileri olarak kullanılmasının ortak akuaponik sistemde sazan balığının (*Cyprinus carpio*) su kalitesi ve büyüme performansı üzerindeki etkilerini incelemiştir. Çalışmada, bitkisiz grupta W_s , AA, SBO değerleri bitkili gruplara göre daha düşük, FCR ve KF değerleri ise daha yüksek düzeylerde bildirdiği eğilimler bizim çalışmamızdan farklılık göstermiştir. Cordeli vd. (2021) RAS sisteminde stok yoğunluğunun gelişim performansı üzerine etkilerini araştırdığı çalışmada V4 grubunda $3,50 \text{ kg/m}^3$ stok yoğunluğunda FCR değerini, 3,69, SBO değerini %1,80 olarak bildirerek çalışmamızdan daha yüksek değerlerde bildirilmiştir. RAS sistemlerinde farklı stok yoğunluklarının balık gelişim performansları üzerine etkileri incelenmiştir. Enache vd. (2011), *C. carpio*'da farklı deneme gruplarında $50,62-95,54 \text{ kg/m}^3$ 'ekadar stoklama yapmış en iyi SBO ve FCR değerleri için optimum stoklamaya yoğunluğunu 32 kg/m^3 olarak bildirmiştir. Menezes vd. (2015) gümüş kedi balığının (*Rhamdia quelen*)'da herhangi bir olumsuz etki olmadan $16-32 \text{ kg/m}^3$ stok yoğunluğunun balık refahını etkilemediğini tespit etmiştir. Mevcut bu çalışmada, elde edilen stok yoğunluğu

bildirilen değerlerden düşük olmakla birlikte balık refahı açısından uygun sınırlar içinde kalmıştır. Büyüme parametrelerinde grup bazında daha önceki çalışmalarla gözlemlenen farklar balıkların farklı çevresel koşullarda, beslenme düzeylerinde ya da sistem özelliklerinde farklı büyüme performanslarına sahip olabileceğini göstergesidir. Bu çalışmada, kontrol grubunda bazı parametrelerin (L_s , W_s , AA, AAO, SBO, KF) daha yüksek, FCR'nin ise daha düşük bulunması, bu grubun büyüme açısından daha verimli olabileceğini düşündürülebilir. Öte yandan, çalışmada balıkların yaşama oranının %100 olması, oldukça olumlu bir sonuçtur ve balıkların refahı açısından hiçbir sorun olmadığını göstermektedir. Bu, balıkların sağlıklı bir şekilde yaşadığını ve çevresel koşulların iyi yönetildiğini, stres düzeylerinin düşük olduğunu ve balıkların uygun şekilde beslenip bakıldığını işaret etmektedir.

4.3 Hematolojik ve biyokimyasal değişimler

Hematolojik parametreler; balıkların, sağlık ve fizyolojik durumları, yaşadıkları su kalitesi, beslenme koşulları gibi durumlarda bilgi sağlayabilir. Yoğun akuakültür sistemlerinde balık sağlığını izlemek amacıyla düzenli olarak hematolojik kan parametrelerinin takibi önerilmektedir (Fazio vd., 2013). Balıklarda kan parametreleri türlere, su sıcaklığına, balık büyüklüğüne, cinsiyete, cinsi olgunluk durumuna ve diğer çevresel stres parametrelerinin varlığına bağlı olarak değişim gösterebilir (Yılayaz ve Bitmiş, 2002). Lökosit (WBC)'ler canlıları patojenik mikro organizmalara karşı korur bu nedenle de canlının fizyolojik ve patolojik durumunu değerlendirmede kullanılabilir (Mohammadi vd., 2020). Kanda yüksek seviyede belirlenen WBC düzeylerinin balığın sağlıklı olduğunun göstergesi olduğu

ifade edilmişse de (Morgan ve Iwama, 1997), organizmada inflamasyon varsa yüksek WBC değerlerinin görüleceği de bildirilmiştir (Czech vd., 2009). Eritrosit (RBC)'ler dokulara oksijen taşıyan hemoglobin (HGB)'leri içerir (Ferhanoğlu, 2004). Eritrosit değeri beslenme, balık sağlığı ve çevresel şartlara bağlı olarak azalabilir (Çelik vd., 2006). Balıklarda RBC düzeyi türler arasında farklılık gösterirken genel itibari ile $0,03 \times 10^3$ - $5,3 \times 10^6/\mu\text{l}$ arasında değişir (Fange, 1992; Hrubec ve Smith, 2010). Doğal ortamdan yakalanan *C. carpio*'larda hemogram değeri üzerine farklı çalışmalar yürütülmüştür (Harikrishnan vd., 2003; Tabakoğlu, 2016; Tabakoğlu vd., 2020; Sanoesi vd., 2020). *C. carpio* türü için optimum çevresel şartlarda RBC değeri $1,44 \times 10^6/\mu\text{l}$ olarak bildirilmiştir (Tabakoğlu vd., 2020). Hematokrit (HCT), RBC'lerin hacimsel olarak yüzdesini ifade eder ve kandaki HCT düzeyi, RBC düzeyine bağlı olarak doğru oranda artar veya azalır (Mohammadi vd., 2020). RBC, HGB ve HCT değerleri birlikte anemik durumlar hakkında bilgi sağlar (Yılmaz, 2015).

Mevcut çalışmada, WBC, RBC, HGB ve HCT değerlerinde Kontrol ve akuaponik gruplar arasında çalışma sonu itibariyle anlamlı bir fark gözlenmemiştir ($P>0,05$). HGB, HTC ve WBC değerleri Sanoesi vd. (2020) ve Harikrishnan vd. (2003)'ün bildirimleriyle uyumlu, RBC değeri Tabakoğlu vd. (2020) ve Sanoesi vd. (2020) uyumlu iken, Harikrishnan vd. (2003) den ise farklılık göstermiştir. Çalışmalar arasındaki farkın nedeni, su kalitesi, beslenme rejimleri, biyolojik veya çeşitli genetik faktörler, farklı sistem tasarımları ve yönetim uygulamalarıyla açıklana bilir.

Sodyum iyonu (Na^+) ve kalsiyum iyonu (Ca^{++}) balıklarda en çok çalışılan kan elektrolitlerindendir (Çelik, 2006). Kalsiyum,

kemik ve dişlerin temel bileşeni, sinir ve kas işlevlerinin ise düzenleyicilerindendir. Kalsiyum iyonu kanın pıhtılaşması, sinir ve kas uyarımları, sekreter olaylar, enzim reaksiyonları, hormonlar ve nörotransmitterlerin açığa çıkması gibi bazı önemli fizyolojik ve biyokimyasal olayların düzenleyicisidir (Çelik, 2006). Balığın yaşadığı çevre ile etkileşiminde vücudun sıvı/elektrolit değişimini dengeler (Uncumusaoğlu, 2018). Çelik (2006), yaptığı derleme çalışmasında, *Acipenser naccarii*, *Chionodraco kathleenae*, *Cryodraco antarcticus*, *Pagothenia bernacchii*, *Piaractus brachypomus*, *Oreochromis mossambicus*, *Oreochromis niloticus*, *Chalcalburnus tarichi*, *Cyprinus carpio*, *Leuciscus cephalus*, *Rutilus rutilus*, *Ictalurus punctatus*, *Oncorhynchus mykiss*, *Salmo salar*, *Scophthalmus aquosus*, *Pagrus auratus*, *Sparus aurata* balıkları için verilen değerleri en düşük 0,60 mmol/l, en yüksek 14,30 mmol/l ve ortalama 3,64 mmol/l olarak belirlemiştir. Dragomir vd., (2021) yaptığı çalışmada Ca^{++} düzeyini 0,22-0,28 mmol/l olarak, Chakraborti ve Mukherjee (1995) ise genç *C.carpi* da 3,15 mmol/l olarak bildirilmiştir. Bu çalışma sonunda her iki grupta hesaplanan ortalama Ca^{++} düzeyleri arasında anlamlı bir fark bulunmamıştır. Çelik (2006) 'nın bildirdiği en yüksek Ca^{++} düzeyi hariç olmak üzere mevcut çalışma, Dragmar vd (2021), Chakraborti ve Mukherjee (1995) ve Çelik (2006)'nın bildirimlerden yüksek bulunmuştur. Çalışmalar arasındaki fark, akuaponik ve RAS sistemlerinin su yönetimi ve çevresel faktörlerin etkisiyle açıklanabilir.

Sodyum ekstra selüler sıvıdaki temel katyondur. Plazmada, asit-baz dengesi, kas ve sinir fonksiyonlarının sodyum-potasyum ATPase düzenleyişidir. Kan plazmasındaki osmotik basınca katkıda bulunan maddelerin çoğunu oluşturur ve vücut sıvısının dağılımını

önemli düzeyde etkiler. Çelik (2006), yaptığı derleme çalışmasında *Acipenser naccarii*, *Chionodraco kathleenae*, *Cryodraco antarcticus*, *Pagothenia bernacchii*, *Piaractus brachypomus*, *Oreochromis mossambicus*, *Oreochromis niloticus*, *Chalcalburnus tarichi*, *Cyprinus carpio*, *Gadus morhua*, *Ictalurus punctatus*, *Oncorhynchus mykiss*, *Salmo salar*, *Scophthalmus aquosus*, *Pagrus auratus*, *Sparus aurata* balıkları için verilen değerleri en düşük 61,80 mmol/l, en yüksek 264,80 mmol/l ve ortalama 162 mmol/l olarak belirlemiştir. Uncumusaoğlu, (2018) doksan günlük çalışmasının sonunda *C. carpio* da Na^+ düzeyini 210 mmol/l olarak tespit etmiştir. Bu çalışma sonunda hesaplanan ortalama Na^+ değerleri bakımından gruplar arasından anlamlı bir fark belirlenmemiştir. Çalışma boyunca belirlenen en düşük değer olan 139,67 mmol/l değeri Çelik (2006)'nın bildirdiği en düşüktüğü farklı olsa bile genel, ortalama olarak verdiği değerle uyumludur. Benzer şekilde Uncumusaoğlu (2018)'in bildirimiyle bu çalışma uyumlu bulunmuştur.

Stres faktörleri, kortizol gibi stres göstergelerinin seviyelerini değiştirerek bazı hormonal değişikliklere yol açar. Bu değişiklikler, balıklarda fizyolojik, morfolojik ve biyolojik değişimlere neden olabilir ve stresin etkilerini izlemeye yardımcı olur (Haond vd., 2003; Güleç ve Şahan, 2010). Wojtaszek vd. (2002), böbreküstü bezlerden salgılanan kortizolün, teleost balıklarının kanında en bol bulunan ve biyolojik olarak en aktif kortikosteroid olduğunu belirtmiş ve sağlıklı sazan balığı bireylerinde kortizol seviyesinin 32,0-54,2 ng/mL arasında değiştiğini bildirmişlerdir. Güleç ve Şahan (2010), strese maruz bıraktıkları balıklarda ortalama 28,54 ng/mL kortizol seviyesi ölçerken, sağlıklı çevrede tuttukları balıklarda bu değer 17,13 ng/mL

olduğunu rapor etmişlerdir. Baßmann vd. (2017) ise Afrika yayın balığı (*Clarias gariepinus*) üzerinde gerçekleştirdiği çalışmada, farklı yetiştirme tekniklerinin balık refahı üzerindeki etkilerini gözlemlemiş ve balıklarda kortizol seviyesinin 10-12 ng/mL arasında değiştiğini bildirmiştir. Mao vd. (2023) *Carassius auratus*'ta yaptıkları çalışmada serum kortizol düzeylerini çalışmamızdan farklı olarak RAS sistemlerinde akuaponik sistemden daha yüksek ve anlamlı derecede farklı olarak bildirmiştir. Mevcut çalışmada Wojtaszek vd. (2002)'nin bildirdiği maksimum düzey hariç diğer çalışmalardan nispeten daha yüksek değerler bulunmuştur. Mevcut çalışmada kortizol seviyelerinin daha yüksek bulunmasının nedeni, akuaponik ve RAS sistemlerinin çevresel koşulları, su kalitesindeki değişiklikler, stok yoğunluğu, sıcaklık dalgalanmaları ve beslenme farklılıkları gibi faktörlerden kaynaklanabilir. Bu faktörlerin bir kombinasyonu, balıklarda daha yüksek stres yanıtlarına yol açarak kortizol seviyelerinin artmasına neden olmuş olabilir. Bu tür sistemlerde stresin daha belirgin hale gelmesinin nedeni, sistemin yönetimsel ve çevresel koşullarına bağlı olarak değişebilir.

4.4 Bitki gelişimi

Sıcaklık ve ışık, *L. esculentum* yetiştiriciliğinde bitkinin gelişim performansını belirleyen en önemli çevresel parametreler arasında yer almaktadır (Çeçen ve Çakmakçı, 1996; Odabaş vd., 2007; Tüzel ve Gül, 2008; Tüzel vd., 2019). Optimal yetiştirme koşulları için önerilen sıcaklık aralığı 20-25°C (Özkaplan ve Balkaya, 2021), ışık yoğunluğu ise 200-500 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ olarak bildirilmiştir (Linn, 2024). Yapılan bir çalışmada, ışık şiddetinin 96,10 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{sn}$ 'den 455,93 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{sn}$ 'ye artmasının meyve birim ağırlığında doğrusal

bir artışa neden olduğu belirlenmiştir (Özkaplan ve Balkaya, 2021). Bununla birlikte, ortam sıcaklığının yükselmesi ve ışık yetersizliği çiçek tutunumu ile meyve verimini olumsuz yönde etkilemektedir (Odabaş vd., 2007). Mevcut çalışmada, güneşli ve yağmurlu günlerde ölçülen ışık şiddetlerinin literatürde bildirilen değerlerle kısmen uyumlu olduğu belirlenmiştir. Ancak, 60. ve 130. günler arasında sera içi sıcaklığının 27,4-33,6°C arasında ölçülmesi, önerilen sıcaklık aralığının üzerinde kalmıştır. Bu durum, Odabaş vd. (2007)'nin bildirimiyle uyumlu olarak *L. esculentum* gelişimini olumsuz etkilemiş ve çiçeklenme sürecinin tamamlanmadan çiçek dökülmesine neden olarak düşük meyve üretimine yol açmıştır. Bu sonuç, mevcut çalışmada elde edilen meyve ağırlıklarının, Özkaplan ve Balkaya (2021)'nin çalışmasında bildirilen meyve ağırlıklarından farklı olmasını da açıklayabilir. *L. esculentum* için açık alanda topraklı yetiştiricilikte fide dikiminden itibaren ilk meyve hasadının 80-100 gün aralığında gerçekleştirildiği, tohumdan itibaren ise hasadın 4,5-5 ay sonra yapılabildiği bildirilmektedir (Kaygısız ve Aybak, 2004; Kasap, 2010; URL-2, 2024). Mevcut çalışmada, ilk hasat 90'ıncı günde başlamış ve 165'inci güne kadar devam etmiştir. Bu sürecin literatürle uyumlu olduğu belirlenmiştir.

L. sativa yetiştiriciliğinde sıcaklık aralığının 7-24°C arasında değiştiği, optimal sıcaklık aralığının ise 15-18°C olduğu bildirilmiştir (Eşiyok, 2012). Tavsiye edilen ışık yoğunluğu aralığının 250-500 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ olduğu belirtilmiştir (Massa vd., 2008; Çakırer vd., 2017). Başka bir çalışmada, uygun çevresel koşullar altında *L. sativa*'nın 2-3 ay içinde hasat aşamasına ulaşabildiği ifade edilmektedir (Aybak, 2002). Ayrıca, en uygun sıcaklık aralığının 15,5-18,3°C olduğu, sıcaklığın artması durumunda ise vejetatif

büyümeden tohumlanmaya geçişin hızlandığı bildirilmiştir (Aybak, 2002; URL-2, 2024). Mevcut çalışmada, üç kez fide dikimi gerçekleştirilmiş ve her dikim sonrası 30-45 gün içinde fidelerin hasat edilecek büyüklüğe ulaştığı belirlenmiştir. Üç kez gerçekleştirilen hasat sürecinin literatürde bildirilen büyüme ve gelişim süreci ile uyumlu olduğu görülmüştür. Ayrıca, çalışmada ölçülen ışık şiddetinin literatürde önerilen değerlerle örtüştüğü tespit edilmiştir. *L. sativa* fidelerinin büyüme performansı, Aybak (2002) ve URL-2 (2024)'in bildirdiği gibi ortam sıcaklığının 18°C'nin üzerine çıkmasıyla vejetatif büyümenin yanı sıra jeneratif büyümenin de başlamasıyla açıklanabilir. Bu süreç, sıcaklık artışına bağlı olarak bitkinin gelişiminde önemli bir etken olarak değerlendirilebilir. Akuaponik sistemler, bitki ve balık yetiştiriciliğinin entegre edildiği, çevresel sürdürülebilirliği yüksek üretim sistemleridir. Christopher vd. (2014), kapalı devre sistemlerinde kullanılan tank suyunun yüksek besin elementleri içermesi nedeniyle bitki yetiştiriciliği için uygun olduğunu belirtmiştir. Bu çalışmada elde edilen bulgular, sazan yetiştiriciliğinde kullanılan balık yetiştirme suyunun *L. esculentum* ve *L. sativa* yetiştiriciliğinde başarılı bir şekilde kullanılabileceğini göstermektedir. Çalışmada sera içi sıcaklık ortalamasının $23,78 \pm 0,59^\circ\text{C}$ olarak ölçülmesine rağmen, önerilen sıcaklık aralığının üzerinde olmasına karşın kabul edilebilir sınırlar içinde olduğu görülmüştür. Ek olarak, bitki köklerinin içinde bulunduğu sistem su sıcaklığının maksimum $24,33^\circ\text{C}$ 'ye ulaşması, bitkilerin yaşamsal dayanıklılığına katkı sağlamıştır. Ancak, sera içi sıcaklığının yüksekliği özellikle *L. esculentum* gelişimini olumsuz yönde etkileyerek verim düşüşüne yol açmıştır. Bu bağlamda, akuaponik sistemlerde sıcaklık kontrolünün sağlanması hem balık refahı hem de bitki gelişimi

açısından önemli bir unsur olarak değerlendirilebilir.

5. Sonuç ve öneriler

Bu çalışmada, akuaponik sistemlerin bitki yetiştiriciliği üzerindeki etkilerinin yanı sıra, balık refahı açısından da çeşitli değerlendirmeler yapılmıştır. Akuaponik sistemler, balıkların sağlığını ve refahını etkileyen birçok faktörü içerdiğinden, bu sistemlerin sürdürülebilirliğini sağlamak için bitki gelişimi kadar balık sağlığına da dikkat edilmesi gerekmektedir. Çalışmanın bulguları, balıkların sağlığını ve yaşam kalitesini korumanın, başarılı ve verimli bir akuaponik sistem için temel unsurlardan biri olduğunu göstermektedir. Bu çalışmada, suyun pH değeri, oksijen seviyesi ve amonyak gibi kimyasal parametrelerin, balıkların refahı ve büyümesi üzerinde belirleyici etkiler yarattığı gözlemlenmiştir. Balık refahı açısından önemli bir bulgu, suyun kalitesinin hem bitkiler hem de balıklar üzerinde büyük bir etkiye sahip olduğudur. Akuaponik sistemde balıkların sağlığı, su parametrelerinin sürekli izlenmesine ve optimize edilmesine bağlıdır. Balıkların sağlıklı bir ortamda yetişebilmesi için bu parametrelerin, özellikle de amonyak ve nitrit seviyelerinin düzenli olarak kontrol edilmesi ve sistemin biyolojik dengelemesinin sağlanması gerekmektedir. Balık refahı açısından bir diğer önemli nokta, sıcaklık kontrolüdür. Sıcaklık, balıkların metabolizması üzerinde doğrudan etkili olup, doğru sıcaklık aralığında tutulmayan balıklar, bağışıklık sistemleri zayıflayarak hastalıklara daha yatkın hale gelirler. Bu çalışmada, su sıcaklığının, balık sağlığı ve sistem verimliliği üzerindeki etkileri incelenmiş ve optimal sıcaklık aralıklarının balıkların sağlıklı gelişimi için kritik öneme sahip olduğu tespit edilmiştir. Ancak, sıcaklık kontrolünün bitkiler için de uygun olması

gerektiği dikkate alındığında, bu dengeyi sağlamak bazen güçleşebilir. Bu durum, her iki bileşenin (balık ve bitkiler) sağlığını dengeleme gerekliliğini ortaya koymaktadır. Sistem tasarımının karmaşıklığı da balık refahını etkileyen bir diğer faktördür. Akuaponik sistemler, özellikle büyük ölçekli uygulamalarda, suyun temizlenmesi ve filtrelmesi işlemlerini sürekli olarak yönetmeyi gerektirir. Eğer sistemdeki filtrasyon işlemi yetersizse, balıklar kirli suya maruz kalır ve bu durum sağlıklarını olumsuz yönde etkileyebilir. Bu nedenle, filtrasyon ve biyolojik dengeleme mekanizmalarının her iki bileşeni de (bitkiler ve balıklar) aynı anda dikkate alacak şekilde optimize edilmesi, sistemin genel verimliliğini artırırken balık refahını da güvence altına alacaktır. Bir diğer eleştiri noktası ise, balıkların büyüme hızlarının, bitkilerin büyüme hızlarına olan etkisidir. Balıkların sağlıklı bir şekilde büyüebilmesi için yeterli miktarda ve doğru bileşimde besinlerin mevcut olması gerekir. Akuaponik sistemde, balıklardan elde edilen atıklar, bitkilerin besin kaynağı olarak kullanılmaktadır. Ancak, bu döngünün sürdürülebilirliği, balıkların yeterli besin almasıyla doğrudan ilişkilidir. Eğer bitkiler, balıklara ihtiyaç duyduğu besinleri sağlamakta yetersiz kalıyorsa, balıkların sağlığı olumsuz yönde etkilenebilir. Dolayısıyla, bitkilerin yeterli büyümeyi sağlaması, balıkların besin ihtiyaçlarını karşılamak için kritik bir faktördür.

Sonuç olarak, akuaponik sistemlerin başarıyla işletilebilmesi için, balık refahının göz önünde bulundurulması büyük önem taşımaktadır. Bu çalışma, bitki gelişimi ve balık sağlığı arasındaki karmaşık etkileşimi ortaya koyarak, her iki bileşenin de sağlıklı bir şekilde gelişebilmesi için su kalitesi, sıcaklık, filtrasyon sistemleri ve besin dengesi gibi faktörlerin dikkatle izlenmesi gerektiğini vurgulamaktadır. Ayrıca, balıkların sağlığı ve

refahının doğrudan etkilediği akuaponik sistem verimliliği, sistemin sürdürülebilirliğini sağlamak için kritik bir unsur olarak öne çıkmaktadır. Gelecekteki araştırmalar, akuaponik sistemlerde balık sağlığını ve refahını optimize edecek yeni yöntemler ve teknolojilerin geliştirilmesine odaklanmalıdır. Bu şekilde, akuaponik sistemlerin hem çevresel hem de ekonomik sürdürülebilirliği artırılabilir.

Yazar katkısı (Author contribution)

Yazarlar makalenin oluşturulması noktasında gerekli olan tüm aşamalarda eşit katkıda bulunduklarını beyan etmişlerdir.

Abidin KÜÇÜKAĞTAŞ: Kavramsallaştırma, Araştırma, Metodoloji, Yönetim, Görselleştirme, Proje Doğrulama, Görselleştirme, Yazma-İnceleme, Kaynaklar.

İlker Zeki KURTOĞLU: Kavramsallaştırma, Denetleme, Biçimsel Analiz, Metodoloji, Yönetim, Doğrulama, Görselleştirme, Araştırma, Yazma-İnceleme ve Düzenleme, Kaynaklar.

Teşekkür

Yazarlar, çalışmada desteklerini esirgemeyen Doç. Dr. Kübra Ak, Öğr. Gör. Dr. Muhammet Nurullah Arslan, Öğr. Gör. Dr. İsmail Aksu, Öğr. Gör. Dr. Özay Köse, Yük. Müh. Cansu Yılmaz Terzi, Şükrü Güneş ve güvenlik personellerine teşekkür eder.

Finansman beyanı

FDK-2021-1314 kod numaralı “*Akuaponik Sistemlerde Liquid Vermicompost Kullanımının Sistem Kullanım Başarısına Etkilerinin Araştırılması*” isimli tez projesi olarak hazırlanan çalışma, Recep Tayyip Erdoğan Üniversitesi BAP Birimi tarafından finanse edilmiştir.

Çıkar çatışması beyanı

Yazarlar herhangi bir çıkar çatışması olmadığını beyan eder.

Etik standartlar

Projede canlı materyal kullanım protokolünün uygunluğunun teyidi amacıyla Recep Tayyip Erdoğan Üniversitesi Hayvan Deneyleri, Yerel Etik Kurulu Başkanlığından 20.02.2015 tarih ve 2015/12 Numaralı Etik Kurul İzin Raporu alınmıştır.

Kaynaklar

- Aybak, H.Ç. (2002). Salata ve Marul Yetiştiriciliği, Hasad Yayıncılık Ltd.Şti., İstanbul, 96s.
- ANZECC, (2000). Australian and New Zealand Guidelines for Fresh and Marine Water Quality. National Water Quality Management Strategy Paper No. 4, Volume 1. The Guidelines (Chapters 1-7), October 2000. ISBN 09578245 0 5, Australian and New Zealand. 311p.
- Baßmann, B., Brenner, M., Palm, H.W. (2017). Stress and welfare of African catfish (*Clarias gariepinus burchell, 1822*) in a coupled aquaponic system. *Water*, 9(7), 504. <https://doi.org/10.3390/w9070504>
- Bildirici, N ve Bildirici, D.E. (2021). Sağlıklı Bir Gelecek için Akuaponik Sistemler, İKSAD yayın evi, ISBN: 978-605-74646-9-9, Ankara, Türkiye.
- Bregnballe, J. (2022). *A guide to recirculation aquaculture – An introduction to the new environmentally friendly and highly productive closed fish farming systems*. Rome. FAO and Eurofish International Organisation. <https://doi.org/10.4060/cc2390en>
- Cerozi, B.S. and Fitzsimmons, K. (2016). The effect of pH on phosphorus availability and speciation in an aquaponics nutrient solution. *Bioresource Technology*, 219, 778-781. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2016.08.079>

- Chakraborti, P., Mukherjee, D. (1995). Effects of prolactin and fish pituitary extract on plasma calcium levels in common carp, (*Cyprinus carpio*). *General and comparative endocrinology*, 97(3), 320-326.
<https://doi.org/10.1006/gcen.1995.1032>
- Christopher, S., Moti, C., Edoardo, P., Austin, S., Alessandro, L. (2014). Small-scale aquaponic food production: Integrated fish and plant farming. FAO Fisheries and Aquaculture Technical Paper, 589, 261.
- Cordeli, A.N., Oprea, L., Cretu, M., Mocanu, M. (2021). The influence of stocking densities on growth performance of common carp (*Cyprinus carpio*, Linne 1758) reared in a recirculating aquaculture system. *Scientific Papers. Series D. Animal Science*, 64(1), 509-516.
- Czech, A., Kowalczyk, E. and Grela, E.R. (2009). The effect of an herbal extract used in pig fattening on the animals performance and blood components. *Annals Universitatis Mariae Curie-Skłodowska*, 27, 25–33.
- Çakırer, G., Akan, S., Demir, K., Yanmaz, R. (2017). Bahçe bitkilerinde kullanılan ışık kaynakları. *Akademik Ziraat Dergisi*, 6, 63-70.
- Çeçen, S., Çakmakçı, S. (1996). Yüksek sıcaklığın bitkilerin gelişimi üzerine etkileri. *Akdeniz University Journal of the Faculty of Agriculture*, 9(1), 216-231.
- Çelik, E.Ş., Akbulut, M., Odabaşı, S.S., Odabaşı, D.A., (2006), Farklı tür balıklarda hematolojik indekslerin referans değerleri. *Anadolu Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 7(2), 277-293.
- Çelik, E.Ş. (2006). Bazı balık türleri için kan elektrolitlerinin standardizasyonu. *Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Fen Bilimleri Dergisi*, 22(1), 245-255.
- Çelikkale, M.S., (1988). İç Su Balıkları ve Yetiştiriciliği. Cilt II, K.T.Ü. Sürmene Deniz Bilimleri ve Teknolojisi Yüksek Okulu, Genel Yayın No: 128, Fakülte Yayın No:3, Karadeniz Teknik Üniversitesi Matbaası. Trabzon, 460 s
- Das, P., Ayyappan, S., Jena, J. (2004). Acute toxicity of ammonia and its sub-lethal effects on selected haematological and enzymatic parameters of mrigal, (*Cirrhinus mrigala*) Hamilton. *Aquaculture Research*, 35: 134–143.
<https://doi.org/10.1111/j.1365-2109.2004.00994.x>
- Delong, D.P and Losordo, T.M (2012). How to Start a Biofilter. SRAC Publication No. 4502, 1-4p
- Ding, X., Jiang, Y., Zhao, H., Guo, D., He, L., Liu, F., Zhou, Q., Nandwani, D., Hui, D., Yu, J. (2018). Electrical conductivity of nutrient solution influenced photosynthesis, quality, and antioxidant enzyme activity of pakchoi (*Brassica campestris* L. ssp. Chinensis) in a hydroponic system. *PloS one*, 13(8), e0202090.
<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0202090>
- Dragomir, E.C., Doltu, M., Tănasă, V., Patriche, N., Dima, F.M., Crivineanu, M. (2021). Effect of paraprotex and the mixture of grape marc, cinnamon and clove on the carp (*Cyprinus carpio*) grown in ras recirculating aquaponic system. *Carpathian Journal of Food Science and Technology* 13(4), 117-132.
<http://dx.doi.org/10.34302/crpjfst/2021.13.4.10>
- Ebeling, J.M., Losordo T.M., DeLong D.P. (1993). Engineering design and performance of a model aquaculture recirculating system (MARS) for secondary school aquaculture education programs. In: *Techniques for Modern Aquaculture: Proceedings of an Aquacultural Engineering Conference*, 21-23 June 1993, Spokane, Washington, USA
- Ebeling, J., Jensen, G., Losordo, T., Masser, M., McMullen, J., Pfeiffer, L., Sette, M. (1995). Model aquaculture recirculation system (MARS). In: *Engineering and Operations Manual*, (Ed: W. Wade) Miller, National Council for Agricultural Education, Alexandria, Virginia: 16 pp.

- Enache, I., Cristea, V., Ionescu, T., Ion, S. (2011). The influence of stocking density on the growth of common carp, *Cyprinus carpio*, in a recirculating aquaculture system. *Aquaculture, Aquarium, Conservation and Legislation*, 4(2), 146-153.
- Eşiyok, D. (2012). Kışlık ve Yazlık Sebze Yetiştiriciliği, Meta Basım Matbaacılık, ISBN:978-605-871-890-6, İzmir, Türkiye. 404 s
- Fange, R., (1992). Fish Blood Cells. In: Hoar, W.S., Randall, D.J., Farrell, A.P., (Eds). Fish Physiology. 12B, 1-54. San Diego, CA: Academic Press Inc.
- Fazio, F., Marafioti, S., Torre, A., Sanfilippo, M., Panzera, M., Faggio, C. (2013). Haematological and serum protein profiles of *Mugil cephalus*: effect of two different habitats. *Ichthyological research*, 60, 36-42
- Ferhanoglu, B., (2004). PDQ Hematoloji, İstanbul Medikal Yayıncılık; ISBN: 978-975-639-523-0, İstanbul, Türkiye. 440 s
- Guan, B., Hu, W., Zhang, T., Duan, M., Li, D., Wang, Y., Zhu, Z. (2010). Acute and chronic un-ionized ammonia toxicity to 'all-fish' growth hormone transgenic common carp (*Cyprinus carpio* L.). *Chinese Science Bulletin*, 55(35), 4032-4036. <https://doi.org/10.1007/s11434-010-4165-5>
- Güleç, A.K., Şahan, A. (2010). Aynalı sazanlarda (*Cyprinus Carpio* Linnaeus, 1758) parazit enfestasyonlarının serum glikoz, kortizol ve kan hemoglobin düzeylerine etkileri. *Kafkas Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 3(1), 1-8.
- Haond, C., Nolan, D.T., Ruane, N.M., Rotllant, J., Bonga, S.W. (2003). Cortisol influences the host-parasite interaction between the rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) and the crustacean ectoparasite *Argulus japonicus*. *Parasitology*, 127(6), 551-560. <https://doi.org/10.1017/s0031182003004116>
- Harikrishnan, R., Rani, M., Balasundaram, C. (2003). Hematological and biochemical parameters in common carp (*Cyprinus carpio*) following herbal treatment for *Aeromonas hydrophila* infection. *Aquaculture*, 221(1-4), 41-50. [https://doi.org/10.1016/S0044-8486\(03\)00023-1](https://doi.org/10.1016/S0044-8486(03)00023-1)
- Hasan, M., Machintosh, D. (1986). Acute toxicity of ammonia to common carp fry. *Aquaculture*, 54, 97-107. [https://doi.org/10.1016/0044-8486\(86\)90261-9](https://doi.org/10.1016/0044-8486(86)90261-9)
- Hassan, S.M., Rashid, M.S., Albassam, N.H., Madlul, N.S., Muhaimed, A.R., Sulaiman, M.A., (2025). Using the diverse vegetables as a filtration plants in aquaculture intensive system. *Tikrit Journal for Agricultural Sciences*, 25(1), 1-16. <https://doi.org/10.25130/tjas.25.1.1>
- Hrubec, T.C. ve Smith, S.A (2010). *Hematology of Fishes*. In: Weiss, D.J and Wardrop, K.J (Edt). Schalm's Veterinary Hematology, Sixth Edition, Blackwell Publishing Ltd, State Avenue, Ames, Iowa, USA, 994-1003.
- Hu, Z., Lee, J. W., Chandran, K., Kim, S., Brotto, A. C., Khanal, S. K. (2015). Effect of plant species on nitrogen recovery in aquaponics. *Bioresource technology*, 188, 92-98.
- Iversen, M., Finstad, B., Nilssen K. (1998). Recovery from loading and transport stress in atlantic salmon (*Salmo salar* L.) smolt, *Aquaculture*, 168, 387-394. [https://doi.org/10.1016/S0044-8486\(98\)00364-0](https://doi.org/10.1016/S0044-8486(98)00364-0)
- Kasap, H. (2010). Sebzeçilik, Samsun İl Tarım Müdürlüğü Çiftçi Eğitimi ve Yayım Şubesi Yayını, Samsun, Türkiye, 60p. değiştirin.
- Kaygısız, H., Aybak, H.Ç. (2004). Domates Yetiştiriciliği, Hasat Yayıncılık. Başer Ofset, ISBN: 975-8377-24-8 İstanbul, Türkiye. 280 s

- Kerim, M. ve Ustaoglu Tırlı, S. (2009). Su ürünleri yetiştiriciliğinde akuaponik uygulamalar. *XV. Ulusal Su Ürünleri Sempozyumu*, (01-04) /07/2009, Rize, Türkiye.
- Khalil, A.H., Badrey, A.E.A., Harabawy, A.S., Ibrahim, A.T.A., Kloas, W., Osman, A.G.M. (2022). Effect of polyculture and monoculture of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) and common carp (*Cyprinus carpio*) on water quality, growth performance and productivity of vegetables in an aquaponics system (ASTAF-PRO). *Aquaculture, Aquarium, Conservation and Legislation*, 15(6), 3171-3180.
- Köse O., Arıman Karabulut H. (2022). Effects of dandelion (*Taraxacum officinale*) methanolic root leaf and flower extracts on growth performance body composition and hematologic blood parameters of fingerling rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss* Walbaum 1792). *Fresenius Environ. Bull.* 31, 4459–4471.
- Kuhn, D. D., Drahos, D. D., Marsh, L., Flick Jr, G. J. (2010). Evaluation of nitrifying bacteria product to improve nitrification efficacy in recirculating aquaculture systems. *Aquacultural Engineering*, 43(2), 78-82. <https://doi.org/10.1016/j.aquaeng.2010.07.001>
- Kurtoğlu, İ.Z. (2002). Kahverengi Alabalıkların (*Salmo Trutta Labrax*, L.) Doğal Stokları Zenginleştirmek ve Kültür Potansiyellerini Belirlemek Amacıyla Yoğun Şartlarda Üretim İmkânlarının Araştırılması, Doktora Tezi, İstanbul Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Türkiye.
- Küçükağtaş, A. (2012). Amonyak ve Nitrit'in Melek Balığı (*Pterophyllum Scalare*) Üzerine Akut Toksisitesi ve Eritrosit Morfolojisine Etkisi, Yüksek Lisans Tezi, Rize Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Türkiye.
- Lewis, W.M., Morris, D. (1986). Toxicity of nitrite to fish: A review. *Transactions of the American Fisheries Society*, 115, 183–195. [https://doi.org/10.1577/1548-8659\(1986\)115%3C183:TONTF%3E2.0.CO;2](https://doi.org/10.1577/1548-8659(1986)115%3C183:TONTF%3E2.0.CO;2)
- Licamele, J.D. (2009). Biomass Production and Nutrient Dynamics In An Aquaponics System, Graduate Dissertation, The University of Arizona, USA.
- Linn, R. (2024). Experimental Processes for Optimized Lighting Techniques: Enhancing Vertical Farming Crop Growth And Yield Efficiency, Doctoral Thesis, Kansas State University, ABD
- Losordo, T.M., Masser, M.P. and Rakocy, J. (1998). Recirculating aquaculture tank production systems: An overview of critical considerations. *Southern Regional Aquaculture Center*, 451: 18–31.
- Mao, H., Wang, B., Zhao, J., Wang, Y., Du, X., Shi, Q. (2023). Influences of aquaponics system on growth performance, antioxidant parameters, stress parameters and gene expression of *Carassius auratus*. *Fishes*, 8(7), 360. <https://doi.org/10.3390/fishes8070360>
- Marschner, P. (2012). Marschner's Mineral Nutrition of Higher Plants (3rd edition), Academic Press, ISBN: 978-0-12-384905-2, London, U.K, 651. <https://doi.org/10.1016/C2009-0-63043-9>
- Massa, G., Kim, H., Wheeler, R., Mitchell, C. (2008). Plant productivity in response to LED lighting. *HortScience*, 43(7), 1951-1956. <https://doi.org/10.21273/HORTSCI.43.7.1951>
- Masser, M.P., Rakocy, J., Losordo, T.M. (1999). Recirculating aquaculture tank production systems-management of recirculating systems. *Southern Regional Aquaculture Center*, 452, 12 pp.
- Menezes, C., Ruiz-Jarabo, I., Martos-Sitcha, J.A., Toni, C., Salbego, J., Becker, A., Loro, V.L., Rodriguez, G.M., Mancera, J.M., Baldisserotto, B. (2015). The influence of stocking density and food deprivation in silver catfish (*Rhamdia quelen*): A metabolic and endocrine approach. *Aquaculture*, 435, 257-264. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2014.09.044>

- Mohale, H.P., Sarang, N., Desai, A.Y. (2020). The Common Carp and its Culture System Management, Academic Publications, ISBN: 978-93-90002-17-7, Delhi, India, 103 p
- Mohammadi, G., Rashidian, G., Hoseinifar, S. H., Naserabad, S. S. ve Van Doan, H. (2020). Ginger (*Zingiber officinale*) extract affects growth performance, body composition, haematology, serum and mucosal immune parameters in common carp (*Cyprinus carpio*). *Fish ve shellfish immunology*, 99: 267-273.
<https://doi.org/10.1016/j.fsi.2020.01.032>
- Morgan, J.D. ve Iwama, G.K. (1997). *Measurements of Stressed States in the Field*. In: Iwama, G.K., Pickering, A.D., Sumpter, J.P., Schreck C.B., (Eds). Fish stress and health in aquaculture. Cambridge University Press, Cambridge. 247-270.
- Odabaş, M.S., Uzun, S., Gülümser, A. (2007). The quantitative effects of temperature and light on growth, development and yield of faba bean (*Vicia faba* L.): I. Growth. *International Journal of Agricultural Research*, 2 (9), 765-775.
<https://doi.org/10.3923/ijar.2007.765.775>
- Özkaplan, M., Balkaya, A. (2021). Örtü altı domates yetiştiriciliğinde değişen sıcaklık ve ışık koşulları ile verim parametreleri arasındaki ilişkinin modellenmesi. *Harran Tarım ve Gıda Bilimleri Dergisi*, 25(4), 438-447.
<https://doi.org/10.29050/harranziraat.910583>
- Rakocy, J. E. (1989). Vegetable hydroponics and fish culture, a productive interface. *World Aquaculture*, 20(3), 42-47.
- Rakocy, J.E., Masser, M.P., Losordo, T.M. (2006). Recirculating aquaculture tank production systems: Aquaponics integrating fish and plant culture. *Southern Regional Aquaculture Center*, 454, 1-16.
- Rakocy, J.E. (2007). An Integrated Fish and Field Crop System for Arid Areas, In: *Ecological Aquaculture: The Evolution of the Blue Revolution*. (Edt: Costa-Pierce, B.A.), Blackwell Science Ltd, Oxford, UK. p.263-285
- Resh, H.M. (2022). Hydroponic Food Production: A Definitive Guide For The Advanced Home Gardener And Commercial Hydroponic Grower (8th edition), Boca Raton, eBook ISBN: 9781003133254, USA. 642
<https://doi.org/10.1201/9781003133254>
- Sallenave, R. (2016). *Important Water Quality Parameters in Aquaponics Systems*, New Mexico State University, Circular No:680, Las Cruces, New Mexico, USA.
- Sanoesi, E., Asmara, S., Haromain, A., Nurcholis, A., Wijanarko, E. (2020). Hematological analysis of common carp (*Cyprinus carpio*) using hematology analyzer tools and manual at fish seed center, East Java. In *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 01/2011, Pasuruan., Indonesia.
<https://doi.org/10.1088/1755-1315/493/1/012011>
- Selek, M., Endo, M., Yiğit, M., Takeuchi, T. (2017). The integration of fish and plant production: Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) and basil (*Ocimum basilicum*) culture in recirculating and aquaponic systems. *Journal of aquaculture engineering and fisheries research*, 3(1), 28-43.
<https://doi.org/10.3153/JAEFR17005>
- Serezli, R. (2011). Sularda amonyak ve sucul canlılarda toksik etkileri. *Yunus Araştırma Bülteni*, 2011(3), 5-7.
- Soliman, H., Sayed, A., Kloas, W., Badrey, A., Osman, A. (2022). Growth performance and hematological, biochemical, and histological characters of the Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*, L.) cultivated in an aquaponic system with green onion: The first study about the aquaponic system in sohag, Egypt. *Egyptian Journal*, 26(2), 119-131.
- Tabakoğlu, R. (2016). Dumlupınar Üniversitesi Göletinden Yakalanan *Carassius Gibelio* (Gümüşü Havuz Balığı) ve *Cyprinus Carpio* (Aynalı Sazan) Türü Balıkların Hemogram Değerlerinin İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Dumlupınar Üniversitesi, Türkiye.

- Tabakoğlu, R., Uysal, K., Kavasoğlu, M. (2020). İki tatlısu balığı türünün (*Cyprinus carpio* ve *Carassius gibelio*) doğal ortam ve laboratuvar şartlarındaki hemogram değerlerinin incelenmesi. *Journal of Scientific Reports-B*, 1, 34-42.
- Tüznel, Y. ve Gül, A. (2008). Seralarda İyi Tarım Uygulamaları. Tıbyan Yayıncılık, 172s
- Tüznel, Y., Gül, A., Tüznel, I. H., Öztekin, G. B. (2019). Different soilless culture systems and their management. *Journal of Agricultural, Food and Environmental Sciences, JAFES*, 73(3), 7-12. <https://doi.org/10.55302/jafes19733007t>
- Tyson, R., Simonne, E., White, J., Lamb, E. (2004). Reconciling water quality parameters impacting nitrification in aquaponics: The pH levels. *Proceedings of the Florida State Horticultural Society*, 117, 79-83.
- Uğural, B., Serezli, R., Hamzaçebi, S., Öztürk, F., Gündüz, H. (2018). Uluslararası su ve çevre kongresi kapalı devre yetiştiricilik sistemleri gereklidir? *Uluslararası Su ve Çevre Kongresi, SUCEV2018 Bildiriler Kitabı*, 22-24/Mart/2018, Bursa, Türkiye.
- Uncumusaoğlu, A.A. (2018). Blood biochemical changes in common carp (*Cyprinus carpio* Linnaeus, 1758) fed different levels of copper sulphate and zeolite. *Turkish Journal of Agriculture-Food Science and Technology*, 6(1), 01-06. <https://doi.org/10.24925/turjaf.v6i1.01-06.1651>
- URL-1, (2024). http://www.homehydrosystems.com/ph_tds_ppm/ph_vegetables_page.html, Erişim Tarihi: 13.03.2024
- URL-2, (2024). https://adana.tarimorman.gov.tr/Belgeler/SUBELER/bitkisel_uretim_ve_bitki_sagligi_sube_mudurlugu/sebze_yetistirciligi_ve_mucadelesi/Domates.pdf, 11 Aralık 2024.
- Verep, B., Mutlu, T., Çakır, V., Aydın, G. (2017). Derepazarı deresinin (Rize-TÜRKİYE) fiziko-kimyasal su kalitesinin belirlenmesi ve bazı su kalite standartlarına göre değerlendirilmesi. *Journal of Anatolian Environmental and Animal Sciences*, 2(1), 19-22.
- White, P.J., (2012). Ion Uptake Mechanisms Of Individual Cells and Roots: Short- Distance Transport. **In:** Marschner, P. (Ed.), *Marschner's Mineral Nutrition of Higher Plants*. Academic Press, London, pp. 7-47. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-384905-2.00002-9>
- Wojtaszek, J., Dziewulska-Szwajkowska, D., Łozińska-Gabska, M., Adamowicz, A., Dżugaj, A. (2002). Hematological effects of high dose of cortisol on the carp (*Cyprinus carpio* L.): Cortisol effect on the carp blood. *General and comparative endocrinology*, 125(2), 176-183. <https://doi.org/10.1006/gcen.2001.7725>
- Wortman, S.E. (2015). Crop physiological response to nutrient solution electrical conductivity and pH in an ebb-and-flow hydroponic system. *Scientia Horticulturae*, 194, 34-42. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2015.07.045>
- Yavuzcan Yildiz, H., Robaina, L., Pirhonen, J., Mente, E., Domínguez, D., Parisi, G. (2017). Fish welfare in aquaponic systems: its relation to water quality with an emphasis on feed and faeces - A review. *Water*, 9(1), 1-17. <https://doi.org/10.3390/w9010013>
- Yavuzcan, H., Bekcan, S. (2019). Interactions between economy and fish welfare in aquaponics systems. *Mediterranean Fisheries and Aquaculture Research*, 2(1), 27-38.
- Yılayaz, Ö., Bitmiş, K. (2002). Keban baraj gölünde yaşayan barbus rajanorum (*Mystaceus Heckel, 1843*)'da kan parametrelerinin incelenmesi. *Gazi Üniversitesi Gazi Eğitim Fakültesi Dergisi*, 22(2), 11-21.
- Yılmaz, E. (2015). A review on hematology of fish and effect of dietary medicinal herb on blood parameters of fish summary. *Cumhuriyet University Faculty of Science Journal (CSJ)*, 36(2), 37-50.

Zou, Y., Hu, Z., Zhang, J., Xie, H., Guimbaud, C., Fang, Y. (2016). Effects of pH on nitrogen transformations in media-based aquaponics. *Bioresource technology*, 210, 81-87.