



**T.C.
RECEP TAYYİP ERDOĞAN ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ
SU ÜRÜNLERİ ANABİLİM DALI**

**AKUAPONİK SİSTEMLERDE SIVI SOLUCAN GÜBRESİ
KULLANIMININ SİSTEM KULLANIM BAŞARISINA
ETKİLERİNİN ARAŞTIRILMASI**

(Doktora Tezi)

Abidin KÜÇÜKAĞTAŞ

**Danışman
Prof. Dr. İlker Zeki KURTOĞLU**

**RİZE
2025**

KABUL VE ONAY

Recep Tayyip Erdoğan Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Su Ürünleri Anabilim Dalında, Prof. Dr. İlker Zeki KURTOĞLU danışmanlığında, Abidin KÜÇÜKAĞTAŞ tarafından hazırlanan *Akuaponik Sistemlerde Sıvı Solucan Gübresi Kullanımının Sistem Kullanım Başarısına Etkilerinin Araştırılması* adlı bu tez çalışması, 19/08/2025 tarihinde yapılan savunma sınavı sonucunda oy birliğiyle/oy çokluğuyla başarılı bulunarak jürimiz tarafından **Doktora Tezi** olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri	Ünvanı, Adı SOYADI	İmza
Başkan	: Prof. Dr. Ramazan SEREZLİ	
Üye	: Prof. Dr. İlker Zeki KURTOĞLU	
Üye	: Prof. Dr. Şevki KAYIŞ	
Üye	: Doç. Dr. Arzu KARATAŞ	
Üye	: Doç. Dr. Rafet Çağrı ÖZTÜRK	

ETİK BEYAN

Su Ürünleri Anabilim Dalı Doktora Programından mezun olmak üzere teslim ettiğim “Akuaponik Sistemlerde Sıvı Solucan Gübresi Kullanımının Sistem Kullanım Başarısına Etkilerinin Araştırılması” adlı tezim, bilim ve araştırma etiği prensiplerine riayet edilerek tarafımdan yazılmıştır.

Tez çalışmamda, başka kaynaklardan aktarılan bütün bilgi ve alıntılar, Enstitünüz Tez Yazım Kılavuzuna uygun olarak açıkça gösterilmiştir. Kaynağı gösterilenler dışında kalan bütün bilgiler uygun araştırma yöntemi kullanılarak tarafımdan edinilmiş ve esere bu şekilde yansıtılmıştır. Şahsıma ait olmayan hiçbir bilgi, kasıt veya kusurlar, şahsıma aitmiş gibi gösterilmemiştir. İnternet kaynakları dâhil, sahibine/kaynağına atıf yapılmaksızın hiçbir bilgi kullanılmamıştır. Aksinin ortaya çıkması halinde doğacak bütün hukuki, idari, akademik ve etik sorumluluk tarafıma ait olacaktır. Eserin tesliminden sonra herhangi bir zamanda, bilim etiğine aykırılık tespit edilmesi ve / veya eserimle ilgili intihal veya intihal şeklinde anlaşılabilecek bir durumun ortaya çıkması halinde; Üniversiteniz ve eğitim kadronuzun hiçbir şekilde sorumlu tutulmayacağını hür irademle kabul, beyan ve taahhüt ederim.

19/08/2025

Abidin KÜÇÜKAĞTAŞ

ÖN SÖZ

“Akuaponik Sistemlerde Sıvı Solucan Gübresi Kullanımının Sistem Kullanım Başarısına Etkilerinin Araştırılması” başlıklı doktora tez çalışması, Recep Tayyip Erdoğan Üniversitesi Su Ürünleri Fakültesi’nde yürütülmüştür.

Tez sürecim boyunca değerli bilgi ve tecrübeleriyle rehberlik eden, her aşamada desteğini esirgemeyen danışmanım Sayın Prof. Dr. İlker Zeki Kurtuluş’a en içten teşekkürlerimi sunarım.

Tez izleme komitesinde yer alarak kıymetli görüş ve katkılarıyla çalışmama yön veren Sayın Prof. Dr. Şevki Kayış’a ve Dr. Öğr. Üyesi Arzu Karataş’a teşekkür ederim. Ayrıca, tez süresince değerli katkılarıyla bana destek olan Sayın Prof. Dr. Ramazan Serezli’ye şükranlarımı sunarım.

Çalışmanın yürütülmesinde desteklerini esirgemeyen Doç. Dr. Kübra Ak’a, Öğr. Gör. Dr. Muhammet Nurullah Arslan’a, Öğr. Gör. Dr. İsmail Aksu’ya, Öğr. Gör. Dr. Özey Köse’ye, Yüksek Mühendis Cansu Yılmaz Terzi’ye, Şükrü Güneş’e ve üniversite güvenlik personeline teşekkür ederim.

Hayatım boyunca üzerimde sonsuz emeği bulunan kıymetli anneme ve rahmetli babama en derin minnet ve şükranlarımı sunarım. Yanımda olan ve desteğini her daim hissettiren değerli eşim ve diğer aile üyelerime de teşekkür ederim.

“Bu çalışma Recep Tayyip Erdoğan Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinatörlüğü birimince desteklenmiştir. Proje Numarası: FDK-2021-1314” (“This work was supported by the Research Fund of Recep Tayyip Erdogan University. Project Number: FDK-2021-1314”).

Abidin KÜÇÜKAĞTAŞ
RİZE/2025

İÇİNDEKİLER

KABUL VE ONAY	I
ETİK BEYAN	II
ÖN SÖZ	III
ÖZET	VII
TABLolar LİSTESİ	X
ŞEKİLLER LİSTESİ	XI
GİRİŞ	1
1. GENEL BİLGİLER	3
1.1. Dünyada ve Türkiye’de Su Ürünleri Yetiştiriciliği	3
1.2. Balık Yetiştiriciliğinde Kullanılan Sistemler	4
1.2.1. Kafes Sistemlerinde Balık Yetiştiriciliği	5
1.2.2. Toprak ve Beton Havuz Sistemleri	5
1.2.3. Yarı Kapalı Sistemler	6
1.2.4. Kapalı Devre Akuakültür Sistemleri (RAS)	6
1.3. Akuaponik Sistemler	7
1.3.1. Akuaponik Sistem Üretim Teknikleri	8
1.3.1.1. Besleyici Film Tekniği (NFT- Nutrient Film Technique)	8
1.3.1.2. Derin Su Kültürü Tekniği (Deep Water Culture- DWC)	9
1.3.1.3. Dolgu Yatağı Tekniği (Media-Based Beds)	9
1.3.1.4. Akuaponik Sistemlerin Avantaj ve Dezavantajları	10
1.3.2. Türkiye’de Akuaponik Sistemler	11
1.3.3. Akuaponik Sistemlerde Işık Gereksinimi ve Fotosentetik Işık Yoğunluğu	11
1.3.4. Akuaponik Sistemlerde Organik Gübre Kullanımı ve Vermikompostun Rolü	12
1.4. Literatür Özeti	13
2. MATERYAL VE METOT	25
2.1. Birinci Deneme (Sera Ortamı Denemeleri)	25
2.1.1. Deneme Yeri	25
2.1.2. Sistem Kurulumu	25

2.1.3. Deneme Düzenegi	25
2.1.4. Deneme Balıkları ve Besleme	27
2.1.5. Verilerin Toplanması ve Su Kalitesi Ölçümleri	27
2.1.6. Işık ve Çevresel Koşullar.....	28
2.1.7. Hematolojik ve Biyokimyasal Analizler	29
2.1.8. Hesaplamalar ve Veri Analizi	29
2.2. İkinci Deneme (İç Mekân Deneme Ortamı).....	30
2.2.1. Deney Alanı	30
2.2.2. Sistem Kurulumu ve Deney Düzenegi	30
2.2.4. Deneme Balıkları ve Besleme	32
2.2.5. Sistem Sularının Mezofilik Bakteri Yükünün Belirlenmesi.....	33
2.2.6. Sıvı Vermikompost Uygulaması.....	33
2.2.7. Verilerin Toplanması ve Su Kalitesi Ölçümleri	35
2.2.8. Işık ve Çevresel Koşullar.....	36
2.2.9. Hematolojik Analizler	36
2.2.10. İstatistiksel Analizler	37
3. BULGULAR.....	38
3.1. Birinci Deneme (Sera Ortamı Denemeleri).....	38
3.1.1. Su Kalitesi ve Çevresel Koşullar	38
3.1.2. Balık ve Bitki Gelişim Performansları	42
3.1.3. Hematolojik ve Biyokimyasal Analizler	46
3.2. İkinci deneme (İç Mekân Deneme Ortamı)	48
3.2.1. Su Kalitesi ve Çevresel Koşullar.....	48
3.3. Balık ve Bitki Gelişim Performansları	53
3.3.1. Sıvı Vermikompostun Sazan Yetiştiriciliğine Etkileri	53
3.3.2. Kondisyon Faktörü	55
3.3.3. FCR.....	55
3.3.4. Hematolojik Analizler	56
3.3.5. Toplam Mezofilik Aerob Bakteri Sayıları	57
3.3.6. Sıvı Vermikompost 'un Bitki Gelişimine Etkileri	57
3.3.6.1. Biber Fideleri Gelişimi	57
4. TARTIŞMA, SONUÇ VE ÖNERİLER	64

4.1. Birinci Deneme (Sera Ortamı Denemeleri).....	64
4.1.1. Su Kalitesi Değişimleri.....	64
4.1.2. Balık gelişimi ve Besin kullanımı	68
4.1.3. Hematolojik ve Biyokimyasal Değişimler	70
4.1.4. Bitki gelişimi	72
4.2. İkinci Deneme (İç Mekân Deneme Ortamı).....	74
4.2.1. Su Kalitesi Değişimi.....	74
4.2.2. Balık Gelişimi.....	76
4.2.3. Kondisyon Faktörü	77
4.2.4. FCR.....	77
4.2.5. Kan Parametreleri	78
4.3. Bitki Gelişimi	79
4.3.1. Biber Fideleri.....	79
4.3.2. Fasulye Fideleri	80
4.3.3. Marul Fideleri	80
4.4. Sonuç ve Öneriler.....	81
4.4.1. Birinci Deneme (Sera Ortamı Denemeleri) Sonuçları.....	81
4.4.2. İkinci Deneme (İç Mekân Deneme Ortamı) Sonuçları.....	82
KAYNAKÇA.....	84
ETİK KURUL KARARI	99

Recep Tayyip Erdoğan Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü

Anabilim Dalı : Su Ürünleri Anabilim Dalı
Tez Türü : Doktora Tezi
Danışman : Prof. Dr. İlker Zeki KURTOĞLU
Hazırlayan : Abidin KÜÇÜKAĞTAŞ
Yıl : 2025
Sayfa Sayısı : 99

ÖZET

AKUAPONİK SİSTEMLERDE SIVI SOLUCAN GÜBRESİ KULLANIMININ SİSTEM KULLANIM BAŞARISINA ETKİLERİNİN ARAŞTIRILMASI

Bu doktora çalışması, akuaponik sistemlerde balık refahını değerlendirmek ve iç mekân (indoor) koşullarda sıvı vermikompost (solucan gübresi) kullanımının sistem performansına etkilerini incelemek amacıyla iki aşamalı olarak yürütülmüştür. Her iki deneysel çalışma, farklı ortam koşullarında kurulan akuaponik sistemlerde, su kalitesi, balık gelişimi ve bitki performansı üzerine odaklanarak kapsamlı veri setleri elde etmeyi hedeflemiştir.

Birinci deney, sera koşullarında yürütülmüş olup, 4×5 m²'lik naylon örtülü bir alanda oluşturulan deneysel düzenekte 180 gün boyunca balık ve bitki gelişimi izlenmiştir. Deney grubu (DM) ve kontrol grubu (RAS) olarak ayrılan iki sistemde, her birine 25 adet sazan balığı (*Cyprinus carpio*) yerleştirilmiştir. Başlangıçta ortalama ağırlıkları sırasıyla 35,98±2,96 g (RAS) ve 36,06±3,23 g (DM) olan balıklar, 3,53±0,02 kg/m³ ve 3,54±0,02 kg/m³ stok yoğunluğuyla sisteme dahil edilmiştir. DM grubunda bitki yatağına domates (*Lycopersicon esculentum*) ve marul (*Lactuca sativa*) fideleri yerleştirilmiştir. Çalışma süresince balık büyüme performansı (boyca ve ağırlıkça büyüme, yem değerlendirme oranı, yaşama oranı), su kalitesi (NH₄⁺-N, NH₃-N, NO₂⁻-N, NO₃⁻-N, sıcaklık, pH, oksijen, elektriksel iletkenlik, bulanıklık) ve balık kan parametreleri (WBC, RBC, HGB, HCT, kortizol, Ca²⁺, Na⁺) izlenmiştir. Gruplar arasında balık gelişim parametreleri arasında istatistiksel anlamlı fark gözlenmemiştir (P>0,05). Bununla birlikte, gruplar arasında yem tüketimi ve stok yoğunluğu bakımından anlamlı farklılıklar oluşmuştur (P<0,05).

İkinci deney, iç mekân akuaponik koşullarında, sistem suyunda eksik olan bitki besin maddelerinin takviyesi amacıyla sıvı vermikompost uygulamalarının etkilerini araştırmak amacıyla tasarlanmıştır. Dokuz deney tankından oluşan sistemde üç grup (kontrol – K, yapraktan besin ilavesi – Y, sudan besin ilavesi – S) oluşturulmuştur. Her bir akuaponik sisteme 25 adet ortalama 22,82±7,97 g ağırlığında sazan yavrusu (*C. carpio*), 5 adet biber, 2 adet marul ve 4 adet fasulye olmak üzere toplam 11 bitki fidesi yerleştirilmiştir. Deney boyunca 171,25 µmol/m²/sn sabit ışık yoğunluğunda gün ışığı aydınlatma sağlanmıştır. Bitki besin elementlerini içeren sıvı vermikompost 1 ml/L konsantrasyonda Y grubuna yapraktan püskürtülerek, S grubuna doğrudan sistem suyuna eklenerek uygulanmıştır. Kontrol grubu suyuna vermikompost takviyesi yapılmamıştır. 90 günlük süreçte sistem su kalitesi günlük (sıcaklık, pH, oksijen) ve 15 günlük periyotlarla (iletkenlik, amonyak, nitrit, nitrat, fosfat ve bulanıklık) izlenmiştir. Bulgular, sıvı vermikompostun her iki uygulamada da balık davranışlarına ve su kalitesine olumsuz bir etkisinin olmadığı gözlemlenmiştir. Bu doğrultuda, akuaponik sistemlerde temel bitki besin eksikliklerinin giderilmesinde sıvı vermikompost kullanımının su yoluyla bitkilere ulaştırılmasının olumlu bir seçenek olabileceği görülmüştür.

Sonuç olarak, sera akuaponik sistemde bitki varlığının su kalitesine ve balık gelişimine ölçülebilir olumsuz bir etkisinin olmadığı gözlemlenmiştir. İç mekânda kurgulanan ikinci denemede ise yaprak yoluyla sıvı vermikompost kullanımının bitki gelişimine etkisi oldukça sınırlı gerçekleşmiştir. Buna rağmen, ön denemelerden sonra belirlenen 1 ml/L konsantrasyonda sıvı vermikompostun sistem suyuna ilave edilmesinin balıkların yaşam refahına olumsuz bir etkisi olmayacağı, bitki gelişimini vejetatif büyüme ve meyve üretimi bakımından destekleyeceği tespit edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Akuaponik, balık refahı, bitki yetiştiriciliği, iç mekân akuaponik sistemi, sıvı vermikompost, sürdürülebilir akuakültür.

Recep Tayyip Erdogan University Institute of Graduate Studies

Department : Department of Fisheries and Aquatic Sciences
Thesis Type : Doctoral Thesis
Supervisor : Prof. Dr. İlker Zeki KURTOĞLU
Author : Abidin KÜÇÜKAĞTAŞ
Year : 2025
Pages : 99

ABSTRACT

**INVESTIGATION OF THE EFFECTS OF LIQUID VERMICOMPOST USE
ON SYSTEM PERFORMANCE IN AQUAPONIC SYSTEMS**

This doctoral study was conducted in two phases with the aim of evaluating fish welfare in aquaponic systems and examining the effects of liquid vermicompost application on system performance under indoor conditions. Both experimental studies aimed to obtain comprehensive data sets by focusing on water quality, fish development, and plant performance in aquaponic systems established under different environmental conditions.

The first experiment was carried out under greenhouse conditions, where fish and plant development were monitored over 180 days in an experimental setup established in a 4×5 m² area covered with UV resistant transparent greenhouse cover. Two systems were designed as the experimental group (DM) and control group (RAS), and 25 common carp (*Cyprinus carpio*) individuals were stocked in each system. At the beginning of the experiment, the fish had an average weight of 35.98±2.96 g in the RAS group and 36.06±3.23 g in the DM group, with 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*) seedlings were placed in the plant bed. Throughout the study, fish growth performance (length and weight increase, feed conversion ratio, survival rate), water quality parameters (NH₄⁺-N, NH₃-N, NO₂⁻-N, NO₃⁻-N, temperature, pH, oxygen, electrical conductivity, turbidity), and fish blood parameters (WBC, RBC, HGB, HCT, cortisol, Ca²⁺, Na⁺) were monitored. No statistically significant differences were observed between the groups in terms of fish development parameters (P>0.05). However, significant differences were found in feed consumption and stocking density between the groups (P<0.05).

The second experiment was designed to investigate the effects of liquid vermicompost supplementation, aiming to compensate for plant nutrient deficiencies in aquaponic system water under indoor conditions. In a system consisting of nine experimental tanks, three groups were established: control (K), foliar application of nutrients (Y), and direct water application of nutrients (S). In each aquaponic system, 25 juvenile common carp (*C. carpio*) with an average weight of 22.82±7.97 g were stocked, along with a total of 11 plant seedlings 5 pepper, 2 lettuce, and 4 bean plants. Throughout the experiment, lighting with a constant intensity of 171.25 µmol/m²/s was provided to simulate daylight. The liquid vermicompost, which contains essential plant nutrients, was applied to the Y group by foliar spraying and to the S group by direct addition to the system water, both at a concentration of 1 ml/L. No vermicompost was added to the control group water. During the 90-day experimental period, water quality parameters were monitored daily (temperature, pH, oxygen) and every 15 days (conductivity, ammonia, nitrite, nitrate, phosphate, and turbidity). Findings showed that liquid vermicompost had no negative effects on fish behavior or water quality in either application method. Accordingly, it was concluded that the delivery of liquid vermicompost through the system water may be a favorable option to address basic plant nutrient deficiencies in aquaponic systems.

As a result, it was observed that the presence of plants in the greenhouse aquaponic system did not have a measurable negative impact on water quality or fish development. In the second experiment, conducted under indoor conditions, the effect of foliar application of liquid vermicompost on plant development was found to be rather limited. Nevertheless, it was determined that the addition of liquid vermicompost at a concentration of 1 ml/L established after preliminary trials would not adversely affect fish welfare, while supporting plant development in terms of vegetative growth and fruit production.

Keywords: Aquaponics, fish welfare, plant cultivation, indoor aquaponic system, liquid vermicompost, sustainable aquaculture.

KISALTMALAR

μL	:	Mikro litre
μg	:	Mikro gram
ANOVA	:	Varyans Analizinin Uygulanabilirliği
STD	:	Standart sapma
Ca^{++}	:	Kalsiyum iyonu
kg	:	Kilogram
L	:	Litre
mg	:	Miligram
mm	:	Milimetre
dL	:	Desilitre
mmol	:	Milimol
Na^{+}	:	Sodyum iyonu
NaOH	:	Sodyum hidroksit
RTEÜ	:	Recep Tayyip Erdoğan Üniversitesi
BAP	:	Bilimsel Araştırma Projesi
RAS	:	Kapalı devre, döngüsel su ürünleri sistemi
NFT	:	Besin Film Tekniği
LECA	:	Hafifletilmiş, genişlemiş kil agregası
LED	:	Işık Yayan Diyot
PAR	:	Fotosentetik Aktif Radyasyon
PPFD	:	Fotosentetik Foton Akısı Yoğunluğu
FCR	:	Yem Dönüşüm Oranı
OECD	:	Ekonomik İş Birliği ve Kalkınma Örgütü
HCT	:	Hematokrit oranı
WBC	:	Lökosit, Beyaz Kan Hücresi
RBC	:	Eritrosit, Kırmızı Kan Hücresi
HGB	:	Hemoglobin
CFU	:	Koloni Oluşturan Birim, mikroorganizma sayısı
EC	:	Elektriksel İletkenlik
NTU	:	Nephelometrik Bulanıklık Birimleri

TABLÖLAR LİSTESİ

Tablo 1. Kaynak suyunun özellikleri.....	31
Tablo 2. Supersol-Wormbomb marka sıvı vermikompost onaylı etiket içeriği (https://supersol.com.tr/wp-content/uploads/2023/09/WORMBOMB-ONAYLI-ETIKET.pdf).....	34
Tablo 3. Deneme gruplarında çalışma süresince ölçülen sistem suyu kalitesi değerleri (Veriler ortalama $\pm$ SH olarak sunulmuştur).	40
Tablo 4. Deneme sonunda <i>C. carpio</i> 'da hesaplanan balık gelişim performansı ve besin kullanıma ait veriler	43
Tablo 5. RAS ve akuaponik sistemlerde yetiştirilen <i>C. Carpio</i> balıklarında çalışma boyunca belirlenen hematolojik ve plazma parametrelerin ortalama değerleri.	47
Tablo 6. Deneme gruplarında çalışma süresince ölçülen sistem suyu kalitesi değerleri.	49
Tablo 7. Deneme başında ve sonunda balıklarda bireysel ölçümlerde elde edilen boyca farklılaşma ($P>0,05$).	54
Tablo 8. Deneme başında ve sonunda balık gruplarının ağırlıkça farklılaşması ($P>0,05$).	54

ŞEKİLLER LİSTESİ

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 siteme bitkilerin yerleştirilmiş görünümü, D: Mekanik ve biyolojik filtrasyon ünitesi.....	26
Şekil 2. Denemede kullanılan sazan balığı (<i>Cyprinus carpio</i>).	27
Şekil 3. Balık ve bitki gelişiminde kullanılan ölçüm aletleri. A: Balıklarda bireysel boy ölçümü, B: Ağırlık ölçümü; C: Bitkilerde boy ölçümü, D: Kök uzunluğu ölçümü ve E: Bitki ağırlığı ölçümü.....	28
Şekil 4. Deneyde boyunca güneşli ve yağmurlu günlerde ölçülen ışık yoğunluğu...	28
Şekil 5. Denemenin yürütüldüğü düzenek sistemi.	30
Şekil 6. Denemede kullanılan sazan balığı (<i>Cyprinus carpio</i>).	33
Şekil 7. Besiyerde bakteriyel yoğunluğun izlenmesi.....	33
Şekil 8. Deneyde kullanılan ölçüm aletleri. A: Orion Star™ A329 marka multiparametre cihazı; B: 0,1 g hassasiyetli Necklife Jzs-Tsc model dijital terazi; C: Bitki gelişim ölçümü için kumpas aleti D: Hach DR3900 spektrofotometre cihazı; E: Su parametreleri analiz kitleri.....	35
Şekil 9. Deney düzeneğinde LED aydınlatma sistemi. A: 100 watt'lık LED lamba isteminde ışık şiddetinin ölçümü. B: Benetech GM1010 marka dijital lüksmetre. ...	36
Şekil 10. Kan örnekleri işlemleri. A: Kaudal venadan 2,5 mL yeşil uçlu enjektör ile kan alımı. B: BD Vacutainer marka 500 µL hacminde heparinize tüpler; C: PROKAN PE-6800 VET marka otomatik kan sayım cihazı.....	37
Şekil 11. Deneme süresince sistem suyu ve sera içindeki hava sıcaklığı değişimi (°C)	38
Şekil 12. Deneme süresince Kontrol (K) ve Akuaponik sistemi (DM) gruplarında kullanılan suyun fiziksel özellikleri. A: Sistem suyunda çözünmüş oksijen düzeyleri, B: pH düzeyleri, C: İletkenlik düzeyleri, D: Bulanıklık düzeyleri	40
Şekil 13. Deneme süresince kontrol (K) ve akuaponik sistem (DM) gruplarında kullanılan suyun kimyasal özelliklerinin değişimleri. A: Sistem suyu amonyak azotu (NH ₃ -N), B: Sitem suyunun amonyum azotu (NH ₄ -N), C: Sistem suyunun nitrit azotu (NO ₂ -N), D: Sistem suyunun nitrat azotu (NO ₃ -N).....	42

Şekil 14. Deneme gruplarında çalışma süresince balıkların ortalama boy (A) ve ağırlık (B) değişimleri.	43
Şekil 15. Deneme süresince kontrol (K) ve akuaponik sistem (DM) gruplarında hesaplanan kondisyon faktörü değişimleri	44
Şekil 16. Deneme süresince kontrol (K) ve akuaponik sistem (DM) gruplarında hesaplanan yem dönüşüm değeri (FCR) değişimleri	44
Şekil 17. Çalışma boyunca <i>L. sativa</i> 'da belirlenen gelişim performansı. A: çalışma süresince ölçülen ortalama <i>L. sativa</i> boyları, B: çalışma süresince ortalama <i>L. sativa</i> ağırlıkları, C: çalışma süresince hasat edilen toplam <i>L. sativa</i> ağırlıkları (Üç farklı zamanda gerçekleştirilen marul hasadı DM1, DM2 ve DM3 terimleri ile özetlenmiştir).	45
Şekil 18. Akuaponik sistemde yetiştirilen marul (<i>L. sativa</i>) bitkilerine ait görseller. A: Sisteme yerleştirilmek üzere hazırlanan <i>L. sativa</i> fideleri, B: sisteme entegre edilen <i>L. sativa</i> fideleri, C: hasat boyuna ulaşmış <i>L. sativa</i>	45
Şekil 19. Akuaponik sistem gruplarında domates (<i>L.esculentum</i>) fidelerinin gelişim grafikleri. A: Ortalama boyca büyüme grafiği, B: Hasat edilen domates ağırlığının zamansal değişimi, C: Hasat edilen domates sayısının zamansal değişimi	46
Şekil 20. Akuaponik sistemde yetiştirilen domates (<i>L.esculetum</i>) bitkilerine ait görseller. A: Besin film teknik sisteme (NFT) ile yerleştirilen <i>L.esculetum</i> bitkileri, B: Hasat olgunluğuna ulaşmış <i>L.esculetum</i> , C: Hasat edilen <i>L.esculetum</i> ürünleri	46
Şekil 21. 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).	47
Şekil 22. 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).	48
Şekil 23. Deneme süresince gruplarda su sıcaklığı değişimleri.	49
Şekil 24. Deneme grubunda gözlemlenen bir haftalık pH değişimi (A). Deneme süresince gruplarda pH değişimleri (B).	50
Şekil 25. Deneme süresince gruplarda oksijen değişimleri.	50

Şekil 26. Gruplarda 90 gün boyunca suyun elektriksel iletkenlik (EC) değeri değişimi.	51
Şekil 27. Deneme süresince gruplarda bulanıklık (NTU) değişimleri.	51
Şekil 28. Deneme süresince gruplarda amonyak azotu (NH ₃ -N) değişimi.	52
Şekil 29. Deneme süresince gruplarda amonyum azotu (NH ₄ -N) değişimi.	52
Şekil 30. Deneme süresince gruplarda nitrit azotu (NO ₂ -N) (*10 ⁻²) değişimi.	52
Şekil 31. Deneme süresince gruplarda nitrat azotu (NO ₃ -N) değişimi.....	53
Şekil 32. Deneme süresince gruplarda fosfat (PO ₄ -P) değişimleri.....	53
Şekil 33. Deneme gruplarında 90 gün boyunca balıklarda boyca büyüme (sol), Çalışma sonunda grupların boy farklılaşması (sağ).....	54
Şekil 34. 90 boyunca deneme gruplarında ağırlıkça gelişim (sol), Çalışma sonundaki gruplardaki ağırlık dağılımı (sağ)	55
Şekil 35. 90 boyunca deneme gruplarında kondisyon faktörü.	55
Şekil 36. 90 boyunca deneme gruplarında FCR değerleri.....	56
Şekil 37. Denemede S, Y ve K gruplarında Hematokrit oranları (HCT) (A), Lökosit (WBC) sayıları (B), Eritrosit (RBC) sayıları (C) ve Hemogloblin (HGB) değerleri (D) değişimleri (P>0,05).	56
Şekil 38. Deneme gruplarında toplam mezofilik aerob bakteri sayıları	57
Şekil 39. Çalışma süresince Biber bitkisi fidelerinde ölçülen gelişim parametreleri (Sol resim), çalışma sonunda gruplar arasındaki farklılaşma (Sağ resim) (P>0,05). A-A: Boyca Büyüme, B-B': Gövde çapı, C-C': Yaprak sayısı.....	58
Şekil 40. Akuaponik sistemde meyveli bitkilerden olan biberin gelişim safhaları. A: biber fidelerinin tartımı; B ve C: Biber fidelerinde çiçeklenme; D: Biber fidelerinde meyveye durma; E ve F: Olgunlaşmış biber meyveleri.....	59
Şekil 41. Çalışma süresince Fasulye bitkisi fidelerinde ölçülen gelişim parametreleri (Sol resim), çalışma sonunda gruplar arasındaki farklılaşma (Sağ resim) (P>0,05). A-A': Boyca Büyüme, B-B': Gövde çapı, C-C': Yaprak sayısı.	60
Şekil 42. Akuaponik sistemde meyveli bitkilerden olan fasulyenin gelişim safhaları. A ve B: Fasulye fidesi; C: Fasulye fidelerinde çiçeklenme; D: Fasulye fidelerinde meyveye durma; E ve F: Olgunlaşmış fasulye meyveleri.	61
Şekil 43. Çalışma süresince marul fidelerinde ölçülen gelişim parametreleri (Sol resim), çalışma sonunda gruplar arasındaki farklılaşma (Sağ resim). A-A': Boyca	

Büyüme, B-B': Gövde çapı, C-C': Yaprak sayısı, D: Çalışma sonunda hasat edilen marulların kesilerek çıkarılan kök ağırlıkları ve D': kök uzunlukları ($P>0,05$). 62

Şekil 44. Akuaponik sistemde yapraklı bitkilerden olan marulun gelişim safhaları. A ve B: Marul fidesi; C: Marul fidelerinde Yapraklanma; D ve E: Marul fidelerinde büyüme; F: Hasat edilmiş marul. 63



GİRİŞ

Küresel iklim değişikliğinin giderek yoğunlaşan tartışmalara konu olmasına rağmen, su ürünleri yetiştiriciliği hem dünya genelinde hem de Türkiye’de her yıl artan önemiyle dikkat çeken stratejik bir sektör olarak öne çıkmaktadır. İklim değişikliğinin sucul ekosistemler üzerindeki doğrudan ve dolaylı etkileri, su kaynaklarının azalması, su sıcaklıklarının yükselmesi, oksijen düzeylerindeki dalgalanmalar ve asitleşme gibi süreçler aracılığıyla balıkçılık ve yetiştiriciliğin sürdürülebilirliğini tehdit etmektedir. Bununla birlikte, artan dünya nüfusu ve protein ihtiyacının karşılanması açısından su ürünleri yetiştiriciliği, tarımsal üretimin diğer kollarına kıyasla daha hızlı gelişme göstermekte ve gelecekte gıda güvenliğinin sağlanmasında kritik bir rol üstlenmektedir (OECD/FAO, 2022).

Son yıllarda dünya genelinde su ürünleri üretiminde gözle görülür bir artış yaşanmaktadır. FAO verilerine göre su ürünleri yetiştiriciliği, toplam üretimin yarısından fazlasını sağlayacak düzeye ulaşmış ve bu alanda geleneksel avcılığı geride bırakmıştır. Bu gelişim yalnızca üretim miktarlarıyla sınırlı kalmayıp, aynı zamanda uluslararası ticarete de belirleyici bir unsur haline gelmiştir. Balık ve balık ürünleri ihracatı, özellikle gelişmekte olan ülkeler için önemli bir döviz girdisi sağlamaktadır. Sektör, yalnızca ekonomik katkısı ile değil; aynı zamanda artan nüfusun sağlıklı ve kaliteli protein ihtiyacını karşılamada üstlendiği rol nedeniyle de stratejik bir değer taşımaktadır.

Su ürünleri yetiştiriciliğinin küresel ölçekteki hızlı büyümesi, teknolojik gelişmelerle de doğrudan ilişkilidir. Özellikle kuluçkahane yönetiminde, yem teknolojilerinde, su kalitesi kontrolünde ve hasat sonrası işleme tekniklerinde yüksek teknoloji kullanımı sektörün gelişim hızını artırmaktadır. Modern yetiştiricilik sistemlerinde kullanılan otomasyon uygulamaları, su kalitesi sensörleri, akıllı yemleme sistemleri ve biyoteknolojik yöntemler, üretim verimliliğini yükseltmenin yanı sıra çevresel etkilerin azaltılmasına da katkı sağlamaktadır. Ayrıca, sürdürülebilir üretim anlayışı çerçevesinde geliştirilen resirkülasyonlu akuakültür sistemleri (RAS), akuaponik uygulamalar ve alternatif yem kaynaklarının kullanımı gibi yenilikçi yaklaşımlar, sektörün çevresel açıdan daha duyarlı ve sürdürülebilir bir yapıya kavuşmasına yardımcı olmaktadır.

Türkiye, sahip olduğu coğrafi konum, zengin iç su ve deniz kaynakları ile su ürünleri yetiştiriciliğinde önemli bir potansiyele sahiptir. Akdeniz havzasında önde gelen üretici ülkelerden biri olan Türkiye, özellikle deniz balıkları yetiştiriciliğinde (çipura, levrek, alabalık vb.) kayda değer bir üretim hacmine ulaşmıştır. Ayrıca, son yıllarda gerçekleştirilen yatırımlar ve Ar-Ge çalışmaları sayesinde üretim kapasitesi ve çeşitliliği artış göstermiştir. Türkiye’de su ürünleri üretiminin yaklaşık üçte ikisinin yetiştiricilik yoluyla gerçekleştirilmesi, sektörün gelişim hızını ve stratejik önemini açıkça ortaya koymaktadır. Bunun yanı sıra, sektörün sağladığı istihdam olanakları, kırsal kalkınmaya katkısı ve ihracat potansiyeli de ekonomik büyüme açısından önemli avantajlar sunmaktadır.

Tüm bu gelişmeler ışığında, su ürünleri yetiştiriciliği günümüzde yalnızca ekonomik bir faaliyet değil, aynı zamanda çevresel sürdürülebilirlik, gıda güvenliği ve sosyal refah açısından da öncelikli bir alan olarak değerlendirilmektedir. Ancak sektörün gelecekte karşı karşıya kalabileceği iklimsel riskler, çevresel kısıtlar ve yüksek stok yoğunluğu gibi üretimsel sorunların çözümü için kapsamlı bilimsel araştırmalara, teknolojik yeniliklere ve sürdürülebilirlik odaklı politikalara ihtiyaç duyulmaktadır. Bu nedenle, su ürünleri yetiştiriciliği alanında yapılacak akademik çalışmalar hem mevcut üretim kapasitesinin sürdürülebilirliğine hem de gelecek nesiller için güvenli gıda arzına önemli katkılar sağlayacaktır. Ayrıca, küresel ölçekte sürdürülebilir kalkınma hedefleri doğrultusunda su ürünleri yetiştiriciliği, yalnızca üretim artışı odaklı değil; aynı zamanda çevre dostu, düşük karbon ayak izine sahip ve doğal kaynakları koruyucu bir üretim modeli olarak yeniden şekillenmektedir. İleriye dönük olarak, iklim değişikliğine dayanıklı türlerin seçilmesi, genetik ıslah programlarının geliştirilmesi, çevreye duyarlı yem kaynaklarının yaygınlaştırılması ve ekosistem temelli yönetim yaklaşımlarının benimsenmesi sektörün dirençliliğini artıracaktır. Bununla birlikte, uluslararası iş birliklerinin güçlendirilmesi, bilgi ve teknoloji transferi ile yeşil üretim politikalarının desteklenmesi, hem dünya genelinde hem de Türkiye’de su ürünleri yetiştiriciliğinin sürdürülebilir büyümesine ivme kazandıracaktır.

1. GENEL BİLGİLER

1.1. Dünyada ve Türkiye’de Su Ürünleri Yetiştiriciliği

Birleşmiş Milletler Gıda ve Tarım Örgütü (FAO) tarafından yayımlanan 2024 Dünya Balıkçılık ve Su Ürünleri Yetiştiriciliğinin Durumu Raporu’na göre, 2022 yılında dünya su ürünleri üretimi yeni bir rekor kırmıştır. İlk kez yetiştiricilik yoluyla elde edilen üretim, avcılık üretimini geçmiştir. 2022 yılında yetiştiricilik üretimi 94.415.401 ton, avcılık üretimi ise 92.320.427 ton olarak kaydedilmiştir (FAO, 2024a). Toplam üretim 187 milyon ton olup, bu üretimin %51’i yetiştiricilikten sağlanmıştır. Bu üretimin %62’si denizlerden, %38’i ise iç sulardan karşılanmıştır.

Aynı rapora göre, 2022 yılında su ürünleri ticareti 193 milyar dolar ile rekor seviyeye ulaşmıştır. Yine bu dönemde dünya genelinde yapılan 42 milyon tonluk ihracatın parasal değeri 191 milyar dolar olarak gerçekleşmiştir (FAO, 2024a).

Bölgesel olarak değerlendirildiğinde, dünya su ürünleri üretiminin %70’i Asya ülkeleri tarafından gerçekleştirilmiştir. Avrupa ve Amerika kıtaları bu üretimi takip etmiştir. Ülkeler bazında ise Çin %35’lik üretim oranı ile ilk sırada yer almış; Hindistan, Endonezya, Vietnam ve Peru sırasıyla onu takip etmiştir. Bu beş ülke toplam üretimin %59’unu karşılamıştır (FAO, 2024a).

Türkiye, üç tarafının denizlerle çevrili olması ve zengin iç su kaynaklarına sahip olması dolayısıyla su ürünleri üretimi açısından büyük bir avantaja sahiptir. Son yıllarda hem avcılık hem de yetiştiricilik alanında önemli ilerlemeler kaydedilmiştir.

Türkiye İstatistik Kurumu (TÜİK) verilerine göre, 2024 yılında Türkiye’de toplam su ürünleri üretimi, bir önceki yıla kıyasla %7,6 azalarak 933 bin 194 ton olarak gerçekleşmiştir. Bu üretimin %61,8’ini yetiştiricilik ürünleri oluşturmuş ve söz konusu üretim bir önceki yıla göre %3,7 artış göstererek 577 bin 124 tona ulaşmıştır. Yetiştiricilik faaliyetlerinin 405 bin 742 tonu (%70,3) denizlerde, 171 bin 382 tonu (%29,7) ise iç sularda gerçekleştirilmiştir. Tür bazında değerlendirildiğinde, iç sularda en yüksek üretim 170 bin 905 ton ile alabalıkta görülürken, denizlerde 165 bin 55 ton ile levrek ve 155 bin 279 ton ile çipura yetiştiriciliği öne çıkmıştır (URL-1, 2025).

Türkiye, su ürünleri dış ticaretinde net ihracatçı konumundadır. TÜİK’in 2024 yılı verilerine göre, 2023 yılında 272.192 ton su ürünü ihracatı gerçekleştirilmiş olup,

bu ihracatın değeri 1.709.403.853 dolar olmuştur. Böylece Türkiye'nin su ürünleri ihracat geliri 1,7 milyar doları aşmıştır (TÜİK, 2024).

Türkiye, 95 farklı ülkeye su ürünleri ihraç etmektedir. Bu ihracatın büyük bir kısmı Avrupa Birliği ülkelerine yöneliktir. Türkiye'nin ihraç ettiği başlıca türler arasında levrek, çipura, alabalık ve orkinos yer almaktadır.

Küresel su ürünleri üretimi giderek artan bir ivmeyle büyümekte, gıda arz güvenliği ve ekonomik kalkınma açısından önemli katkılar sunmaktadır. Türkiye hem doğal kaynakları hem de modern üretim teknikleri ile bu büyümeden pay almakta ve Avrupa'daki öncü üretici ülkeler arasında yer almaktadır. Yetiştiricilik kapasitesinin artırılması, kapalı sistemlerin yaygınlaştırılması ve sürdürülebilir üretim ilkeleri ile Türkiye'nin bu alandaki küresel etkisi daha da güçlenecektir.

1.2. Balık Yetiştiriciliğinde Kullanılan Sistemler

Son yarım yüzyılda dünya genelinde artan insan nüfusu, pandemi süreçleri ve savaşlar nedeniyle gıdaya erişim giderek zorlaşmıştır. Bu durum, su ürünleri sektörünün önemini artırmış ve sektörün hızlı bir büyüme göstermesine katkı sağlamıştır. Balık yetiştiriciliği, kaliteli su kaynaklarının bulunabildiği ölçüde açık, yarı kapalı ve kapalı devre sistemler şeklinde yürütülmektedir. Günümüzde akuakültür uygulamaları, yüksek kaliteli su ihtiyacı nedeniyle endüstriyel anlamda genellikle insan aktivitelerinden uzak bölgelerde, suyun bir kez kullanılıp alıcı ortama geri verildiği açık sistemlerde yapılmaktadır. Ancak, su kıtlığı yaşanan veya hassas biyolojik çevrelere sahip alanlarda, çevreyle daha uyumlu yoğun balık yetiştiriciliği için kapalı devre (RAS) sistemleri tercih edilmektedir. Kurulum ve işletme maliyetleri daha yüksek olmakla birlikte, RAS sistemleri suyun %90'dan fazlasını mekanik ve biyolojik filtrasyon, sterilizasyon ve oksijenlendirme gibi işlemlerden geçirerek yeniden kullanılabilir hâle getirmektedir.

Geleneksel su ürünleri yetiştiriciliğinde geniş alanlar ve büyük miktarda su kullanımı gerekliyken, akuaponik sistemlerde sınırlı alan ve az su kullanımıyla yoğun üretim yapılabilmektedir (Resh, 2022). RAS ve akuaponik sistemlerde taze su ihtiyacı, açık sistemlerdeki su kullanımının sadece %1'i kadardır (Rakocy, 1989). Sektörün en kritik girdisinin su olduğu gerçeği, suyun verimli ve sürekli kullanımını zorunlu kılmaktadır. Akuakültürde çevreyle etkileşimin azaltıldığı kapalı devre sistemlerin

mevcut yetiştiricilik uygulamalarına entegre edilmesi, sürdürülebilir gelişime katkı sağlayacaktır (Ustaoglu ve Dalkıran, 2005). Bu nedenle, kapalı devre sistemlerin kullanılabilirliğinin artırılması önem taşımaktadır. Yüksek maliyetleri nedeniyle RAS sistemleri genellikle kuluçkahanelerde ya da ekonomik değeri yüksek türlerin yetiştiriciliğinde tercih edilmektedir (Losordo vd., 1998).

Balık yetiştiriciliği, sürdürülebilir gıda üretiminin önemli bileşenlerinden biri olarak, çeşitli sistem türleriyle yürütülmektedir. Kullanılan sistemler; hedef türün biyolojik gereksinimleri, üretim kapasitesi, coğrafi ve iklimsel koşullar ile ekonomik olanaklara bağlı olarak farklılık göstermektedir. Bu sistemler başlıca üç grupta toplanmaktadır: açık sistemler, yarı kapalı sistemler ve kapalı devre sistemler.

1.2.1. Kafes Sistemlerinde Balık Yetiştiriciliği

Açık sistemler içerisinde yer alan yüzer kafes sistemleri, göl, baraj ve deniz gibi doğal su kütlelerine yerleştirilen ağ kafesler aracılığıyla balık üretiminin yapıldığı sistemlerdir. Bu sistemlerin temel avantajları arasında:

- Doğal su sirkülasyonundan yararlanılması,
- Düşük enerji maliyetleri,
- Yüksek stoklama kapasitesi,
- Geniş ölçekte üretime uygunluk bulunmaktadır.

Ancak, su sıcaklığı, çözünmüş oksijen düzeyi, akıntı hızı gibi çevresel değişkenlere doğrudan bağlı olması nedeniyle üretim performansında mevsimsel dalgalanmalar gözlemlenebilir. Ayrıca dışkı ve yem artıkları nedeniyle lokal çevresel etkiler söz konusu olabilir (Schneider vd., 2004; Goddek vd., 2015; Eck ve ark 2019).

1.2.2. Toprak ve Beton Havuz Sistemleri

Toprak havuzlar, özellikle sazan gibi dayanıklı türlerin üretiminde tercih edilen geleneksel sistemlerdir. Kurulum maliyetlerinin düşük olması avantaj sağlasa da, su sızdırmazlığı, kontrolsüz buharlaşma ve balıkların kaçışı gibi sorunlarla karşılaşılabilir. Buna karşılık, beton havuzlar, yüksek yatırım gerektirse de daha kontrollü çevresel koşullar sağlar, hijyenik açıdan daha güvenlidir ve yem yönetimi daha etkilidir.

- Balıklar sürekli oksijence zengin suyla temas hâlinindedir,

- Hızlı büyüme oranları gözlemlenir,
- Ancak su tüketimi yüksektir ve su kaynaklarına bağımlılık artar.

Bu nedenle doğal kaynaklara yakın yerlerde kurulan bu sistemler, çevresel sürdürülebilirlik açısından hassas bir yapıya sahiptir.

1.2.3. Yarı Kapalı Sistemler

Yarı kapalı sistemler, balık yetiştiriciliğinde açık sistemler ile kapalı devre sistemler arasında yer alan ara bir yetiştiricilik modelidir. Bu sistemlerde suyun bir kısmı tekrar sirküle edilerek balıkların yaşadığı tank veya havuzlara geri verilirken, belirli bir miktar su sistemden dışarı atılır ve yerine taze su alınır. Böylece su tüketimi açık sistemlere göre önemli ölçüde azaltılmış olur, ancak kapalı devre sistemler kadar minimal su kullanımı sağlanamaz. Filtrasyon kapasitesi sınırlı olan yarı kapalı sistemlerde, mekanik filtreleme genellikle büyük partiküllerin sudan uzaklaştırılmasını sağlarken, biyolojik filtrasyon çoğu zaman yetersizdir; bu nedenle nitrit ve amonyum gibi toksik maddelerin birikimi taze su takviyesi ile kontrol edilir. Sistem, açık sistemlere kıyasla daha stabil bir ortam sunmakta ve balıkların büyüme performansı ile sağlık durumunu olumlu yönde etkilemektedir. Ancak su kalitesi tamamen kontrol edilemediğinden, yoğun balık yetiştiriciliği için sınırlı uygundur ve kapalı devre sistemlere kıyasla balık yoğunluğu daha düşüktür. Bu özellikleri nedeniyle yarı kapalı sistemler, orta yoğunluklu üretim, araştırma ve eğitim amaçlı yetiştiricilikte tercih edilmektedir.

1.2.4. Kapalı Devre Akuakültür Sistemleri (RAS)

Kapalı devre su ürünleri yetiştiricilik sistemleri, suyun mekanik ve biyolojik filtreler yardımıyla arıtılarak tekrar kullanıldığı, çevreden bağımsız üretim yapılabilen sistemlerdir. RAS sistemlerinin öne çıkan avantajları:

- %90'a varan su tasarrufu,
- Atık kontrolü ve geri kazanımı,
- İklimsel bağımsızlık ve iç mekânda üretim olanağı,
- Yıl boyu üretim imkânı,

Bu sistemlerde suyun sıcaklığı, pH'ı, çözülmüş oksijen miktarı ve diğer parametreleri tam kontrol altına alınabildiğinden, yüksek verimli ve sürdürülebilir

Üretim yapılabilir. Ancak, RAS sistemlerinin çevresel sürdürülebilirliğine rağmen, ilk yatırım ve işletme maliyetlerinin yüksek olduğunu belirtmektedir (Bregnballe, 2022).

1.3. Akuaponik Sistemler

Akuaponik sistemler, balık yetiştiriciliği (akuakültür) ile topraksız bitki üretimi (hidroponik) sistemlerinin entegre edildiği, evre dostu ve döngüsel kaynak kullanımını esas alan kapalı devre üretim modelleridir. Bu sistemlerin temel amaçlarından biri, balık yetiştiriciliğinden kaynaklanan azot ve fosfor gibi besin elementlerinin bitkilerce kullanılarak suyun biyofiziksel kalitesinin iyileştirilmesini sağlamaktır. Tilapya, alabalık ve deniz levreği gibi ekonomik değeri yüksek türler sıklıkla tercih edilmekte, ayrıca morina (*Maccullochella peelii peelii*), gümüş levrek (*Bidyanus bidyanus*), altın levrek (*Macquaria ambigua*), dere alabalığı (*Salmo trutta fario*), Atlantik somonu (*Salmo salar*), tatlı su levreği (*Perca fluviatilis*), gökkuşağı alabalığı (*Oncorhynchus mykiss*), ot sazanı (*Ctenopharyngodon idella*), gümüş sazanı (*Hypophthalmichthys molitrix*), koi (*Cyprinus carpio*) ve tilapya (*Oreochromis sp.*) gibi türler de akuaponik uygulamalarda yaygın olarak kullanılmaktadır (Rakocy vd., 2006; Kerim ve Ustaoglu Tırıl, 2009). Sistemde marul, domates, salatalık, biber, ıspanak, kabak, maydanoz ve fesleğen gibi pek çok kültür bitkisi ve ss bitkisi yetiştirilebilmektedir. Bu özellikleriyle akuaponik sistemler, özellikle kentsel alanlarda sınırlı suyla sürdürülebilir balık ve bitki üretimi için önemli bir alternatif sunmaktadır.

Bu sistemlerde, balıkların dışkılarını ve artık yemler su içerisinde amonyak gibi azotlu bileşiklere dönüşür. Sistem içerisindeki nitrifikasyon bakterileri bu maddeleri bitkiler tarafından kullanılabilir hale getirerek suyu temizler. Böylece:

- Balıklar kirlenmeyen suda yaşamını sürdürür.
- Bitkiler doğal olarak gbrenlenmiş olur.
- Su sürekli yeniden kullanılır (Christopher vd., 2014; Bildirici ve Bildirici, 2021)

1.3.1. Akuaponik Sistem Üretim Teknikleri

Akuaponik sistemler, sürdürülebilir tarım ve akuakültür uygulamalarının kesişim noktasında yer alan entegre üretim sistemleridir. Bu sistemlerde balık üretimi ile bitki üretimi aynı döngüde gerçekleşir. Akuaponik sistemler; suyun geri kazanılabilirliği, düşük kimyasal girdi ihtiyacı ve çevresel süreklilik gibi avantajları nedeniyle sürekli gelişim gösteren bir tarım yöntemidir (Goddek vd. 2015). Çeşitli tekniklerin uygulanabilirliği, sistemin türüne, hedef ürünlere ve çevresel koşullara bağlı olarak değişmektedir. Akuaponik sistemlerde yaygın olarak kullanılan Besleyici Film Tekniği (NFT), Sal Tekniği (Raft/Deep Water Culture) ve Dolgu Yatağı Tekniği (Media Bed) üretim teknikleridir. Sistem tercihi yapılırken üretilecek bitki türü, balık türü, yatırım bütçesi ve iş gücü kapasitesi dikkate alınmalıdır. Örneğin, Lennard ve Ward (2019), küçük ölçekli NFT sistemlerinin düşük enerji tüketimiyle verimli çalıştığını, McMurtry vd. (2007) ise dolgu yataklarının biyofiltrasyon avantajı sunduğunu vurgulamaktadır. Ayrıca, Goddek vd. (2015) akuaponik sistemlerin su ve besin döngüsünü optimize ederek sürdürülebilir gıda üretimi için önemli bir potansiyele sahip olduğunu ifade etmektedir. Akuaponik üretim sistemleri, tarımın geleceği açısından umut verici teknolojilerdir. Her sistemin kendine özgü avantaj ve dezavantajları bulunmakla birlikte, doğru yönetim ve uygun teknik seçimi ile yüksek verim ve çevresel sürdürülebilirlik sağlanabilir.

1.3.1.1. Besleyici Film Tekniği (NFT- Nutrient Film Technique)

Besleyici Film Tekniği (NFT), akuaponik sistemlerde yaygın kullanılan verimli bir yöntemdir. Bitki kökleri, besin çözeltisinin ince bir tabaka halinde aktığı kanallarda büyürken, sadece uç kısımları çözeltiyle temas eder ve üst kısımları nemli kalır, bu da oksijen alımını artırır ve çürümeyi önler (Resh, 2022). Ancak bazı çalışmalarda, bu yapıya rağmen NFT'nin bitki verimi ve nitrat giderimi açısından diğer sistemlere kıyasla daha az verimli olduğu belirlenmiştir (Lennard ve Leonard, 2006). Dakikada yaklaşık 1 litre çözeltinin dolaştığı sistemde ortam materyali kullanılmaz; bu da düşük iş gücüyle yüksek verim sağlar. Ancak, sistemin düzenli bakım ve temizlik gerektirmesi, mekanik filtrasyonla balık atıklarının uzaklaştırılması ve etkili biyolojik filtrasyon ihtiyacı temel teknik gereklilikler arasındadır. NFT sisteminde bitkili

boruların kökler tarafından tıkanması nedeniyle özellikle marul, fesleğen ve roka gibi küçük köklü yapraklı yeşillikler için daha uygundur.

Avantajlar;

- Su ve besin maddeleri verimli kullanılır.
- Kök bölgesinin iyi oksijenlenmesi
- Sistem kurulumu basittir.

Dezavantajlar;

- Tıkanma riskiyle su akışı durursa bitkiler hızla zarar görür.
- Yüksek kök biyokütlesine sahip bitkiler için uygun değildir (Palm vd., 2019).

1.3.1.2. Derin Su Kültürü Tekniği (Deep Water Culture- DWC)

Derin su kültürü tekniğinde bitkiler, strafor levhalar üzerinde suyun yüzeyine yerleştirilir ve kökleri oksijenlendirilmiş suya daldırılır. Bu yöntemle kökler besin maddelerini doğrudan alabilir. Sürekli su sirkülasyonu ve oksijenleme gerektirir. Daha büyük ölçekli ticari akuaponik üretim için uygundur (Rakocy vd., 2004; Palm vd., 2019).

Avantajlar;

- Su sıcaklığı ve besin çözeltisi daha kolay dengelenir
- Büyük ölçekte üretim için uygun
- Sistem stabilitesi yüksektir

Dezavantajlar;

- Yüksek başlangıç maliyetlidir.
- Biofilm oluşumu nedeniyle oksijen eksikliği yaşanabilir.
- Yeterli oksijen sağlanmazsa kök çürümeleri görülebilir.
- Su kirliliği sistem genelini olumsuz etkiler.

1.3.1.3. Dolgu Yatağı Tekniği (Media-Based Beds)

Bu sistemde çakıl, lavtaşı gibi katı materyaller kullanılır. Bitkiler bu ortama dikilir ve sistem periyodik olarak su ile doldurulup boşaltılır (ebb and flow). Hem mekanik hem de biyolojik filtrasyon bir arada gerçekleşir. Küçük ve orta ölçekli sistemler için uygundur (Palm vd., 2019).

Avantajlar;

- Mekanik ve biyolojik filtrasyon bir arada sağlanabilir.
- Sistem yapısı filtrasyonu destekler.
- Kurulumu kolay ve ucuzdur.
- Ekipman gereksinimi azdır

Dezavantajlar;

- Yatakların zamanla tıkanması (Rakocy ve Hargreaves 1993)
- Su hareketinin yetersizliği durumunda tuz birikimi olabilir.
- Daha sık bakım gerektirir (Eck vd., 2019).
- Ağırlık nedeniyle yapısal destek ihtiyacı

1.3.1.4. Akuaponik Sistemlerin Avantaj ve Dezavantajları

Avantajlar;

- Geri dönüşlü sistem olması nedeniyle su tasarrufu sağlar (FAO, 2023).
- Birim alanda ve geleneksel tarım sisteminin kullandığı suyun %1 ile çok miktarda sucul canlı ve bitki üretimine olanak sağlar
- Su ve besin kaynaklarının entegre ve verimli kullanılması
- Bitki üretiminde toprağa bağımlı olmama.
- Balık ve bitki olmak üzere organik çift ürün elde etme
- Karbon ayak izini azaltma nedeniyle çevre dostu olması.
- Kimyasal gübre ve pestisit kullanımına gerek olmaması,
- Kentsel alanlarda sürdürülebilir gıda üretimi sağlama
- Atık yönetiminde doğa dostu bir model oluşturma.
- Tarıma uygun olmayan dağlık alan ya da verimsiz kurak bölgelerde de kullanılabilmesi
- Üretimin kontrol edilebilirliği yüksektir.

Dezavantajları;

- Sistem kurulumu için yüksek başlangıç maliyetli olması.
- İyi dengelenmemiş sistemlerde balık ve bitki sağlığı tehlikeye girebilir.
- Balık, bakteri ve bitki üzerine uzmanlık gerektirmesi.
- Su parametrelerinin (pH, EC, DO) sürekli izlenmesi
- Sistemin bakım gerektirmesi

1.3.2. Türkiye’de Akuaponik Sistemler

Akuaponik sistemler birçok gelişmiş ülkede yaygınlaşmışken, Türkiye’de henüz yeni bir akuakültür tekniğidir (Kerim ve Ustaoglu Tırıl, 2009). 1980’lerden bu yana alternatif bir akuakültür yöntemi olarak gelişen bu sistemler, küçük ölçekli üretimlerden endüstriyel yoğun üretime kadar geniş bir yelpazede uygulanmaktadır. Türkiye’de akuaponik sistemler henüz büyük ölçekli üretim sahalarına entegre edilmemiştir. Ancak son yıllarda özellikle üniversiteler, araştırma merkezleri ve bireysel girişimler tarafından küçük ölçekli pilot sistemler kurulmakta ve verimlilik çalışmaları yürütülmektedir. Bu sistemlerin yaygınlaştırılması için:

- Teknik bilgi ve danışmanlık desteğinin artırılması,
- Girişimcilere yönelik teşvik mekanizmalarının geliştirilmesi,
- Eğitim ve farkındalık çalışmalarının yaygınlaştırılması gerekmektedir.

Sazan (*Cyprinus carpio*), Türkiye’de alabalıktan sonra en çok üretilen tatlı su balıklarındandır. *C. Carpio*’nun akuaponik sistemler için özellikle uygun görülmesinin nedeni, yüksek azotlu ortamlara dayanıklılığı, geniş ekolojik toleransı ve farklı çevresel koşullara uyum sağlayabilme kapasitesi nedeniyle akuaponik ve kapalı devre yetiştiricilik sistemlerinde sıklıkla tercih edilen türlerden biridir. Farklı su sıcaklıkları ve çözünmüş oksijen düzeylerine karşı gösterdiği tolerans, balık refahının korunmasına katkı sağlamakta; aynı zamanda farklı besin kaynaklarını değerlendirebilme yeteneği ise sistemin verimliliğini artırmaktadır. Bu özellikler, *C. carpio*’nun hem sürdürülebilir üretim hem de sistem başarısı açısından öne çıkan bir tür olmasını sağlamaktadır (Geldiay ve Balık, 1999).

1.3.3. Akuaponik Sistemlerde Işık Gereksinimi ve Fotosentetik Işık Yoğunluğu

Akuaponik sistemlerde ışık gereksinimi temel bir unsurdur. Işık kalitesi ve yoğunluğu bitki gelişimi için kritik önemdedir. Güneş ışığı; ultraviyole, görünür ve kızılötesi bileşenlere ayrılırken; fotosentezde yalnızca 400–700 nm dalga boyu aralığındaki PAR ışıkları etkilidir (Çakirer vd., 2017). Yetersiz aydınlatma koşullarında, en az 50–100 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{sn}$ yoğunluğunda ek aydınlatma sağlanmalıdır (Both vd., 2017). LED teknolojisi geliştikçe, tarımsal aydınlatmada yaygın kullanımı artmaktadır. Güneş ışığı spektrumu ultraviyole, görünür ışık ve kızılötesi olmak üzere

üç bileşene ayrılır; ancak fotosentezde yalnızca “PAR-ışığı (400–700 nm)” etkili olur ve bu bölgedeki foton miktarı “büyüme ışığı” olarak tanımlanır (μmol) (Çakirer vd., 2017). Fide ve genç bitkiler için PPFD değeri 100–200 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{sn}$, vejetatif aşamada 400–600 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{sn}$, çiçeklenme ve meyve verme aşamasında ise 600–900 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{sn}$ aralığında olmalıdır. Marul, fasulye ve biber için uygun PPFD aralıkları sırasıyla 250–500, 150–300 ve 500–700 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{sn}$ ’dir (Massa vd., 2008; Çakirer vd., 2017; Ürgenç, 1992; Gillani vd., 2022).

1.3.4. Akuaponik Sistemlerde Organik Gübre Kullanımı ve Vermikompostun Rolü

Sentetik gübrelerin kullanımı doğal sürdürülebilirlik açısından tehdit oluşturmaktadır (Turhan, 2005). Buna karşılık, sıfır atık yaklaşımıyla organik atıkların biyodönüşümünden elde edilen vermikompost, bitkisel üretimde giderek yaygınlaşmaktadır (Şahin vd., 2020). Akuaponik sistemlerde bu doğal yaklaşım, sağlıklı ve doğala özdeş balık-bitki üretimini mümkün kılmaktadır. Ancak, akuaponik sistemlerin yaygınlaşmasını engelleyen bazı sorunlar da mevcuttur. Bitki beslenmesindeki dengesizlikler, tür uyumsuzluğu ve sistemin teknik karmaşıklığı bu sistemlerin kurulum ve sürdürülebilirliğini zorlaştırmaktadır (Kempen, 2012; Roosta ve Mohsenian, 2012; Goodman, 2011; Nelson ve Pade, 2008; Rakocy vd., 2006).

Vermikompost, bitki beslemesini desteklemesi ve toprağın bitki yetiştiriciliğine elverişsiz yapısal özelliklerinin giderilmesine doğala özdeş etkileri nedeniyle, dünyada ve Türkiye’de zirai faaliyetlerde giderek yaygınlaşmaktadır. Katı solucan gübresinin kompostlanmasıyla elde edilen sıvı vermikompost, bitkisel üretimde damla sulama ya da yaprak gübresi olarak kullanılmaktadır (Abacıoğlu vd., 2020). Akuaponik sistemlerde, sistemde bulundurulmuş balıkların atıklarının biyolojik dönüşümü sayesinde bitki gelişimi sağlanabilmektedir. Ancak zaman zaman bitkilerin ihtiyaçları tam olarak karşılanamadığında, bitkisel üretimde zayıflamalar görülebilmekte ve bu durum uygulayıcı açısından hayal kırıklığı oluşturmaktadır.

Son yıllarda sıfır atık yaklaşımına önemli katkı sunan vermikompost biyodönüşümü ile elde edilen organik gübre, bitki ihtiyaçlarını başarılı biçimde karşılarlarken doğal yaşamın sürdürülebilir kullanımına katkısı pek çok çalışmayla ortaya konmuştur. Solucan gübresi üretimi sürecinde hem katı hem de sıvı formda gübre elde

edilmekte olup, her iki form da bitkisel üretimde aktif olarak değerlendirilmektedir. Bitki beslemede kullanılan vermikompostun içerisinde, solucanın vücut sölomundan menşeli mikroorganizmalar ile biyodönüşüm sonucunda ortaya çıkan besleyici karışımın, bitkiyi başarılı biçimde beslediği ve çeşitli bitki zararlılarına karşı koruma sağladığı bildirilmektedir (Anaç ve Esetlili Çolak, 2015; Karaçal ve Tüfenkçi, 2010; Kılıç ve Saraçoğlu, 2022).

1.4. Literatür Özeti

Rakocy vd., (1993), University of the Virgin Islands (UVI) tarafından geliştirilen entegre akuaponik sistemlerde yürüttükleri çalışmada, bitkili ve bitkisiz tasarımlar karşılaştırılmış ve her iki sistemde de su ortamındaki temel besin maddesi düzeylerinin birbirine yakın olduğu saptanmıştır. Araştırmada, özellikle farklı balık stok yoğunluklarının marul (*Lactuca sativa*) gelişimi üzerindeki etkileri incelenmiştir. Balık yoğunluğu arttıkça atık madde üretimi ve buna bağlı olarak potansiyel besin seviyesi yükselmesine rağmen, marul gövde ağırlığında paralel bir artış gözlenmemiştir. Bu bulgu, sistemin taşıma kapasitesinin ötesinde stoklama yapılmasının bitki büyümesini sınırlayabileceğine işaret etmektedir.

Rakocy vd., (2004), Nil ve kırmızı tilapia türleriyle yüksek verim elde edilen sistemde, fesleğen ve bamya gibi sebzelerin farklı üretim modelleriyle yetiştirildiğini raporlamışlardır. Tilapia üretiminde %89–98 yaşama oranı ve yıllık yaklaşık 9 ton hasat gerçekleşmiş; bitki üretiminde ise sal sisteminin açık tarla koşullarına göre çok daha yüksek verim sağladığı görülmüştür. Bununla birlikte, özellikle fesleğen üretiminde balık atığına dayalı besin kaynağının zaman zaman yetersiz kaldığı ve sistemin sürdürülebilirliği için besin takviyesi gerekebileceği vurgulanmıştır. Bu yönleriyle çalışma, DWC sisteminin büyük ölçekli ticari akuaponik üretim için uygulanabilirliğini ve dikkat edilmesi gereken teknik sınırları ortaya koymaktadır.

Lennard ve Leonard (2006), çakıl yataklı (media-based) akuaponik sistemlerde marul gelişimini değerlendirmiş ve bu sistemin, derin su kültürü (DWC) ve nutrient film technique (NFT) gibi su bazlı sistemlere kıyasla daha iyi performans gösterdiğini bildirmiştir. Bu sistemin, bitki köklerinin havalanmasını kolaylaştırması ve mikrobiyal aktivitenin artması sayesinde daha verimli bir büyüme ortamı sunduğu ifade edilmiştir.

Ayrıca çakıl ortamın nitrifikasyon bakterileri için geniş bir yüzey alanı sunduğu, bu sayede su kalitesinin de daha dengeli seyrettiği belirtilmiştir.

Kotzen ve Appelbaum (2010), İsrail'in Negev Çölü koşullarında, yüksek tuzluluk içeren acı su kaynaklarının kullanıldığı akuaponik sistemlerde tilapia (*Oreochromis sp.*) ile çeşitli sebze türlerini birlikte üretmiştir. Araştırmacılar, genel olarak başarılı sonuçlar elde ettiklerini, özellikle düşük su kaybı ile verimli üretim sağlandığını belirtmiştir. Ancak mineral eksiklikleri, özellikle demir ve kalsiyum gibi bazı elementlerde, bitki gelişimini sınırlandıran başlıca faktörler arasında gösterilmiştir.

Goodman (2011), akuaponik sistemlerin teknik avantajlarının yanı sıra ekonomik sürdürülebilirliğinin sağlanabilmesi için ileri düzey yönetim stratejilerine gereksinim olduğunu vurgulamıştır. Özellikle ticari ölçekte üretim yapan işletmelerin; üretim planlaması, hastalık kontrolü, stok yönetimi ve pazar entegrasyonu gibi konularda bütüncül bir yaklaşım benimsemeleri gerektiğini ifade etmiştir.

Roosta ve Hamidpour (2011), sazan (*Cyprinus carpio*) balığı ile domates yetiştirilen akuaponik sistemde, yapraktan uygulanan mikro ve makro besin elementlerinin verim üzerindeki etkisini araştırmıştır. Çalışmalarında, akuaponik sistemde yaprak yoluyla verilen K, Fe, Mn, Zn, Mg ve B elementlerinin bitkilerde meyve sayısının ve toplam ürün veriminin anlamlı düzeyde arttığı saptanmıştır. Bu durum, akuaponik sistemlerde özellikle meyveli bitkiler için yapraktan besleme yönteminin verim artırıcı bir müdahale olarak kullanılabileceğini göstermiştir.

Liang ve Chien (2013), kırmızı tilapia (*Oreochromis sp.*) ile su ıspanağının (*Ipomoea aquatica*) entegre olarak yetiştirildiği bir akuaponik sistemde, aydınlatma süresinin artırılmasının hem balık büyümesi hem de bitki gelişimi üzerinde olumlu etkiler sağladığını rapor etmiştir. Uzatılmış ışık süresi, tilapia balıklarında %2,4; su ıspanağında ise %12 oranında gelişim artışı sağlamıştır.

Gökvardar'ın (2022) doktora tezi çalışmasında, Afrika yayın balığı (*Clarias gariepinus*) ile domates (*Solanum lycopersicum*) türleri, kapalı devre bir akuaponik sistemde entegre olarak yetiştirilmiştir. Sistem tasarımında doğal ve çevre dostu materyaller tercih edilmiş, özellikle Türkiye'de yaygın olarak bulunan perlit, bitki yetiştirme ortamı olarak kullanılmıştır. Çalışmada üç farklı stok yoğunluğu (10, 15 ve 20 kg/m³) denenmiş, böylece balık yetiştiriciliği sonucu ortaya çıkan organik atıkların bitkisel üretime etkisi değerlendirilmiştir. Bulgular, su ürünleri yetiştiriciliğinde açığa

ıkan besin açısından zengin atıkların bitki gelişimi için doğal ębre kaynağı olarak kullanılabilceğini ęstermiştir. Böylece hem suyun geri kullanımına dayalı atık yönetimi sağlanmış, hem de bitkisel üretimde kimyasal girdilere ihtiyaç duyulmadan üretim yapılabilmiştir. Bu sonuçlar, balık–bitki etkileşimlerine dayalı entegre akuaponik sistemlerin sürdürülebilirlik açısından önemli bir alternatif üretim modeli sunduğunu ortaya koymaktadır.

Shete vd., (2013), akuaponik sistemlerde farklı su sirkülasyon periyotlarının (4, 8, 12 ve 24 saat) balık ve bitki gelişimi üzerindeki etkilerini karşılaştırmış ve en yüksek performansın 12 ila 24 saatlik döngülerde elde edildiğini belirlemiştir. Daha kısa çevrimlerde su kalitesinde dalgalanma yaşıandığı, daha uzun çevrimlerde ise sistem istikrarının arttığı ifade edilmiştir.

Khater vd., (2015), akuaponik sistemlerde su akış hızının artırılmasının, bitki kök gelişimini, biyokütle birikimini ve gövde kalınlığını olumlu etkilediğini belirtmiştir. Bu sonuç, kök bölgesinde daha fazla oksijen ve besin taşınımının sağlanması, bitki büyümesini desteklediğini göstermektedir.

Makhdom vd., (2017), 60 gün boyunca izledikleri akuaponik sistemlerde, farklı bitki yoğunluklarının sistem performansı üzerindeki etkilerini araştırmıştır. En iyi azot giderimi ve bitki gelişiminin, yüksek yoğunlukta bitki bulunan gruplarda gözlemlendiği ve bu durumun biyofiltrasyon kapasitesiyle ilişkili olduğu belirtilmiştir.

Kargın ve Bilgüven (2018), akuaponik sistemlere dair farklı tasarım ve dizayn örneklerini derleyerek, sistem bileşenlerinin verimliliği üzerindeki etkilerini irdelemiştir. alışmaları, özellikle sistemin modüler yapısı, su sirkülasyon planı ve ışık yönetiminin sistem başarısında belirleyici olduğunu ortaya koymuştur.

Mol (2019), yüksek lisans tezinde, istilacı bir tür olan kara yayın balığının (*Clarias gariepinus*) akuaponik sistemlerde kullanılabilirliğini araştırmıştır. Çalışmada, bu bentik türün yem dönüşüm oranı, sistem uyumu ve balık sağlığı gibi parametreler değerlendirilmiş; düşük oksijen gereksinimi ve sakin davranışları sayesinde akuaponik koşullara uyum sağlayabileceği sonucuna ulaşılmıştır.

Palazekin (2019) tarafından gerçekleştirilen yüksek lisans tezinde, deneysel olarak kurulan bir akuaponik sistemde Nil tilapyası (*Oreochromis niloticus*) ve kıvrıcık marul bitkisinin gelişimi araştırmıştır. Çalışma kapsamında biri standart, diğeri ise ilave bir yükleme nitesi içeren iki farklı sistem karşılaştırılmıştır. Her iki sistemde de

su içerisindeki besin elementlerinin değişimi takip edilerek, balıkların yemden yararlanma oranları ve büyüme performansları ile marul bitkilerinin kök ve gövde gelişim düzeyleri değerlendirilmiştir. Elde edilen veriler, sistem bileşenlerinin performansı açısından önemli karşılaştırmalı sonuçlar sunmuştur.

Yiğit (2019), derin su kültürü (DWC) sistemlerinde çözünmüş oksijen seviyesinin korunmasının hem bitki sağlığı hem de kök gelişimi açısından kritik olduğunu vurgulamıştır. Oksijen eksikliğinin marul bitkisinde kök çürümesi ve gelişim geriliğine yol açabileceği belirtilmiştir.

Palm vd., (2019), bağlantılı (coupled) akuaponik sistemlerde suyun balık tanklarından bitkilere gidip yeniden balıklara döndüğü kapalı devre sistemi tanıtmıştır. Çalışmada yem atıkları ve balık dışkısının bitki besin kaynağı olarak rolü vurgulanmış, sistemin su tasarrufu sağladığı belirtilmiştir. Ancak, pH ve sıcaklık gibi su parametrelerinin hem balık hem bitki için dikkatle dengelenmesi gerektiği ifade edilmiştir. Bu sistemlerin kentsel tarım, gıda güvenliği ve entegre üretim sistemleri açısından potansiyel sunduğunu ve bu yapıların hem gelişmiş hem de gelişmekte olan ülkelerde uygulanabilir olduğunu ifade etmiştir.

Bildirici ve Bildirici (2021), akuaponik sistemlerin tüm teknik bileşenlerini, tasarım unsurlarını ve bakım gerekliliklerini detaylandıran uygulamalı bir kaynak hazırlamıştır. Sistem kurulumu, filtre sistemleri, balık tankı ve bitki yataklarının entegrasyonu gibi konular ayrıntılı olarak ele alınmıştır.

Eck vd., (2021), akuaponik sistemlerde marul üretimi sırasında mikrobiyal toplulukların rolünü incelemiş ve kök bölgesi mikrobiyotasının, özellikle nitrifikasyon ve bitki büyüme teşvik edici bakteriler (PGPB) açısından kritik rol oynadığını ortaya koymuştur.

Pantanella vd., (2010), tilapia balığı ile marulun derin su kültürü sisteminde entegre yetiştirildiği çalışmada, marul bitkilerinde fosfor eksikliğine işaret eden görsel semptomlar gözlemlenmiştir. Araştırmacılar, sistemde balıktan kaynaklanan atıklarda azot gibi bazı besin maddelerinin yeterli düzeyde bulunmasına rağmen, fosforun bitkiler için yeterli düzeyde sunulmadığını, bu nedenle dışsal takviyelerin gerekli olabileceğini belirtmiştir.

Delaide vd., (2017), sal (raft) sistemi ile ortam yatağı tekniklerini karşılaştırmış ve sal tekniğinde, ortam yatağına kıyasla 3 ila 10 kat daha yüksek bitki verimi elde

edildiğini rapor etmiştir. Bu durum, sal sisteminin sucul oksijenin daha dengeli dağılması ve kök temas yüzeyinin daha iyi olmasıyla açıklanmıştır.

Agrawal vd., (2023) sensörlü ve bulut tabanlı veri yönetimi kullanılarak laboratuvar ölçekli bir akuaponik sistem tasarlanmıştır. pH, sıcaklık, çözülmüş oksijen ve toplam çözülmüş katı madde (TDS) gibi parametreler gerçek zamanlı izlenmiş; sistem 75 gün boyunca balık ve bitki büyümesini optimize edecek şekilde test edilmiştir.

Pinho vd., (2022), FLOCponics sistemi ile geleneksel akuaponik (AP) sistemlerin, tilapia yavruları ve marul entegre üretimindeki ekonomik uygulanabilirliğini karşılaştırmıştır. FLOCponics sistemi, mikrobiyal yoğunluklu biofloc teknolojisiyle besin döngüsünü destekleyerek, yem ve filtre ihtiyacını azaltmaktadır. Araştırmada, dört farklı senaryo altında yatırım analizleri yapılmış; gerçekçi senaryolarda AP sistemi karlı bulunurken, FLOCponics sisteminde pazarlanabilir marul oranı %37 olduğunda karlılık sağlanamamıştır. Ancak tüm marulların pazarlanabilir olduğu varsayılan hipotetik senaryolarda her iki sistem de karlı görülmüştür. FLOCponics'in ekonomik açıdan uygulanabilir olması için en az %68,7 oranında pazarlanabilir marul üretimi gerekliliği belirlenmiştir. Sonuçlar, FLOCponics'in uzun vadeli çok döngülü üretimle finansal olarak uygun hale gelebileceğini ve bu yönde araştırmaların artırılması gerektiğini göstermektedir.

Bingöl (2019), yaptığı çalışmada “Aeroponik”, “Akuaponik” ve “Hidroponik” tarım yöntemlerini irdeleyerek alternatif tarım yöntemlerinin tanımı, çeşitleri, avantaj ve dezavantajları, yetiştirilebilecek ürünler ve sistemlerde dikkat edilmesi gereken noktaları belirtmiştir.

Monsees vd., (2019), akuaponik ve hidroponik sistemlerin karşılaştırıldığı çalışmada, de-coupled (ayrıştırılmış) akuaponik sistemle yetiştirilen marulların verimi hidroponik sistemle eşit bulunmuş; buna karşın sera gazı emisyonlarının %72 oranında azaltıldığı belirlenmiştir. Bu bulgular, konvansiyonel tarımın sürdürülebilir üretim sistemlerine dönüşümünü teşvik etme açısından, kaynakların daha verimli kullanılmasını ve emisyonların azaltılmasını sağlayan ayrıştırılmış akuaponik sistemlerin yenilikçi yaklaşımının yüksek bir potansiyele sahip olduğunu belirtilmiştir.

Ödün (2016), koi sazanı (*Cyprinus carpio*) ve salatalık (*Cucumis sativus*) üretimini, akuaponik sistem ile klasik hidroponik sistemde karşılaştırmış; hidroponik

sistemde daha yüksek verim elde edildiğini belirtmiştir. Bu bulgu, meyve veren bitkilerin hidroponik sistemlerde daha avantajlı büyüme koşullarına sahip olduğunu ortaya koymuştur.

Pantanella vd., (2012), hidroponik ve akuaponik sistemlerde marul yetiştiriciliğini karşılaştırmıştır. Sonuçlara göre, akuaponik sistemde yetiştirilen marul bitkilerinin fosfor içeriği düşük, buna karşılık potasyum, kalsiyum, magnezyum ve sodyum içerikleri daha yüksek bulunmuştur. Bu bulgular, akuaponik sistemlerde besin dengesinin farklılaştığını ve bu farklılığın bitki besin içeriğine doğrudan yansıdığını ortaya koymuştur.

Graber ve Junge (2009), LECA (light expanded clay aggregate) ortam yataklarında domates yetiştirilen akuaponik sistem ile klasik hidroponik sistemleri karşılaştırmıştır. Çalışmalarında, iki sistemde de domatesin gelişim performanslarının benzer seviyelerde olduğu; meyve sayısı, toplam verim ve bitki sağlığı bakımından belirgin fark gözlenmediği ifade edilmiştir. Bu sonuç, ortam yataklı akuaponik sistemlerin meyve veren bitkiler için de uygun bir alternatif olduğunu göstermektedir.

Rakocy vd., (2006), akuaponik sistemlerde domates (*Solanum lycopersicum*) gibi meyve veren bitkilerin yetiştirilmesini konu alan çalışmalarında, bu bitkilerin yüksek besin talebi ve uzun yetiştirme süresi nedeniyle, hidroponik sistemlerde daha iyi sonuçlar verdiğini belirtmiştir. Araştırmacılar, hidroponik sistemlerin besin çözeltisi konsantrasyonlarını daha hassas kontrol etme olanağı sunduğunu ve bu durumun domates gibi bitkiler için daha stabil büyüme ortamı sağladığını vurgulamıştır.

Roosta ve Afsharipoor (2012), çilek gibi (*Fragaria sp.*) meyveli bitkilerin hidroponik sistemlerde daha iyi performans gösterdiğini tespit etmiştir. Araştırma, hidroponik sistemlerin hassas besin yönetimi ve sabit çevresel koşulları sayesinde çilek gibi bitkilerde meyve sayısını ve kaliteyi artırdığını göstermektedir.

Okudur (2018), durgun su kültüründe yetiştirilen kırmızı kıvrıcık marul (Carmesi çeşidi) üzerinde, Hoagland besin solüsyonu kullanarak farklı uygulama zamanlarının verim ve kalite parametreleri üzerindeki etkilerini incelemiştir. Araştırma, 20 Şubat–10 Nisan 2018 tarihleri arasında, plastik serada 200 L'lik teknelerde rastgele blok tasarımı ile yürütülmüş, her uygulamada toplam 48 bitki deneye dahil edilmiştir. Bitki köksüz boyu, kök gelişimi, yaprak sayısı ve boyutları, gövde çapı, taze ve kuru ağırlıklar, renk analizleri (L, a, b, kroma, hue), klorofil miktarı

ve parsele verim gibi pek çok parametre incelenmiştir. Sonuçlar, besin çözeltisinin bir, iki ve üç uygulama şeklinde verilmesinin kaliteyi artırdığı görülmüştür. Parsele verim bakımından, üç uygulamalı uygulamada 2530,72 g/m², bir uygulamalıda 2421,32 g/m² ve iki uygulamalıda 2804,54 g/m² sonuç elde edilmiştir.

Abd-Elmoniem vd., (1996), hidroponik sistemde marul (*Lactuca sativa L.*) bitkilerinin farklı azot formlarına [KNO₃ ve Ca(NO₃)₂, NH₄NO₃, (NH₄)₂SO₄, CO(NH₂)₂] tepkilerini değerlendirmiştir. Sonuçlar, nitrat (NO₃⁻) içeren besinle beslenen bitkilerin taze ağırlık ve nitrat içeriği açısından diğer gruplardan daha yüksek olduğunu göstermiştir. Buna karşılık, amonyum (NH₄⁺) ile beslenen bitkiler daha düşük taze ağırlık ve nitrat içeriği sergilemiştir. Toplam azot içeriği uygulanan azot formuna bağlı olarak şu sıra ile artış göstermiştir: Üre > amonyum sülfat > kalsiyum ve potasyum nitrat > amonyum nitrat. Bu farklılıkların, azot formlarının bitki tarafından alınması ve metabolize edilmesindeki varyasyonlardan kaynaklandığı belirtilmiştir.

Aydın ve Demirsoy (2020), topraksız biber yetiştiriciliğinde farklı yetiştirme ortamlarının verim ve kaliteye etkisini incelemiş, vermikompost ortamı ve sucul bitkisel organizma gübresinin bitki gelişimi, meyve verimi ve kalitesini artırdığını belirlemiştir. Çalışma, bu organik materyallerin topraksız tarımda kullanılmasının faydalı olduğunu göstermiştir.

Teo vd., (2024), hidroponik kapalı alan sebze yetiştiriciliğinde farklı LED ışık dalga boyları ve güç seviyelerinin bitki gelişimine etkisini araştırmıştır. Nutrient Film Technique (NFT) sistemi kullanılarak yapılan çalışmada, kırmızı, mavi ve beyaz ışıkların farklı oranlarda kombinasyonları denenmiştir. En yüksek yaprak genişliği ve uzunluğu, 1 kırmızı ve 7 beyaz LED kombinasyonunda gözlemlenirken; 2 kırmızı ve 3 beyaz LED kombinasyonu, kırmızı ışığın etkisiyle tomurcuklanmayı erken başlatmıştır ancak mavi ışık eksikliği nedeniyle yaprak gelişimi daha yavaş olmuştur. Ayrıca, 40 Watt gücündeki tam spektrum LED ışıkları bitkilerde özellikle tomurcuklanma fazında en yüksek büyümeyi sağlamıştır. Bu sonuçlar, ticari LED'lerle yapılan hidroponik yetiştiricilikte ışık spektrumunun ve gücünün bitki gelişimini önemli ölçüde etkilediğini göstermektedir.

Watabe vd., (2022), hidroponik sistemde domates yetiştiriciliğinde farklı EC seviyelerinin (2.3 ve 5.0 dS/m) meyve verimi ve kuru madde içeriği üzerindeki etkisini

incelemiştir. Yüksek EC, verimi %20 azaltırken, meyve kuru madde oranını %0,5–1 artırmıştır. Japon ve Hollanda çeşitleri farklı yanıtlar vermiştir. Çalışma, EC yönetiminin kalite ve verim dengesinde önemli rol oynadığını göstermektedir.

Sakamoto ve Suzuki (2020) çalışmasında, tatlı patates (*Ipomoea batatas*) bitkisinin hidroponik ortamda yetiştirilmesi sırasında, besin çözeltisi konsantrasyonunun (NSC) bitki büyüme ve kök verimi üzerindeki etkileri incelenmiştir. Araştırmada üç farklı elektriksel iletkenlik seviyesi (EC: 0,8; 1,4; 2,6 dS/m) kullanılmış ve 143 gün sonunda sürgün ve yumru verimindeki artışlar kaydedilmiştir. Süreç ortasında NSC değişimlerinin etkisi ikinci bir deneyde test edilmiş; yüksek EC'den düşük EC'ye geçiş yapanlarda (HL) yaprak sayısında erken dönemde artış görülmüş, ancak uzun sürede yaprak dökümü yaşanmıştır. Depolama kök veriminde EC değişiklikleri arasında anlamlı fark bulunmamıştır. Bu sonuçlar, hidroponik sistemlerde besin çözeltisi konsantrasyonunun zaman içinde dinamik kontrolünün, özellikle bitki büyüme özellikleri açısından önemli olduğunu göstermektedir.

Chhetri vd., (2022) tarafından yapılan çalışmada, Nutrient Film Technique (NFT) hidroponik sisteminde farklı büyüme ortamlarının marul ve pakchoi gibi yapraklı sebzelerin büyüme ve verimi üzerindeki etkisi araştırılmıştır. Nepal'de 1.310 metre rakımlı bir araştırma tesisinde Kasım-Aralık 2020 tarihleri arasında yürütülen denemede, hindistan cevizi torfu (cocopeat), sünger ve perlit ortamları değerlendirilmiştir. Sonuçlar, hindistan cevizi torfu kullanımının bitki verimini artırdığı (en yüksek sürgün ağırlığı 12.55 g), sünger ortamında ise en uzun sürgün boyu (9,69 cm) elde edildiği tespit edilmiştir. Perlit ortamında ise bu parametreler daha düşük bulunmuştur. Yaprak genişliği de hindistan cevizi torfu ortamında (5,54 cm) en yüksek değer olarak rapor edilmiştir. Büyüme ortamları arasında cocopeat ve sünger, perlite kıyasla bitki gelişimini olumlu etkilemiştir. Bitki türü ile ortam arasındaki etkileşim ise anlamlı bulunmamıştır. Bu çalışma, NFT hidroponik sistemlerinde marul ve pakchoi yetiştiriciliğinde hindistan cevizi torfu ve sünger ortamlarının perlitten daha uygun ve verimli olduğunu ortaya koymaktadır.

Kim vd., (2024), hidroponik tarım sistemlerinde yapay zekâ (YZ) destekli besin yönetimi algoritmalarının etkinliğini değerlendirmiştir. Çalışmada, geleneksel manuel besin yönetimi yöntemleriyle karşılaştırıldığında, YZ tabanlı algoritmaların

%18 daha yüksek ürün verimi sağladığı ve elektriksel iletkenlik (EC) ile pH dengesinin daha stabil tutulduğu belirlenmiştir. Bu bulgular, dijitalleşmiş hidroponik sistemlerin verimlilik ve sürdürülebilirlik açısından önemli avantajlar sunduğunu ortaya koymaktadır. Çalışma, hidroponik sistemlerin dijitalleşmesi yönünde önemli bir adım olarak değerlendirilmektedir.

Chowdhury vd., (2024), tarafından yayımlanan çalışmada, sıvı organik gübrelerin farklı hidroponik sistemlerle uyumluluğu değerlendirilmiştir. Araştırmada, *Lactuca sativa* cv. 'Green Butter' marulu, dört hafta boyunca sıvı organik gübre (Espartan) kullanılarak dört farklı hidroponik sistemde yetiştirilmiştir: besin filmi tekniği (NFT), derin su kültürü (DWC) ve iki substrat bazlı sistem olan Hollanda kovası (Dutch Bucket, DB) ile normal plastik kap (RPC). Çalışma bulgularına göre, substrat bazlı sistemler (özellikle RPC), sürgün ve kök gelişimi açısından sıvı kültür sistemlerine (NFT ve DWC) göre %29–60 oranında daha yüksek performans sergilemiştir. Bununla birlikte, NFT sisteminde yetiştirilen marullarda, yaprak dokusundaki mineral içerik düzeylerinin substrat sistemlerle karşılaştırılabilir ya da daha yüksek olduğu rapor edilmiştir. Genel olarak çalışma, sıvı organik gübrelerin substrat bazlı hidroponik sistemlerde etkin şekilde kullanılabileceğini ortaya koymakta; ancak bu alanda daha geniş kapsamlı araştırmalara, farklı organik gübre türleri ve bitki çeşitleriyle devam edilmesi gerektiğini vurgulamaktadır.

Vought vd., (2024) tarafından gerçekleştirilen bu çalışmada, kontrollü ortam koşullarında yürütülen hidroponik besin filmi tekniği (NFT) sisteminde marul (*Lactuca sativa*) yetiştiriciliği sırasında mikro ve makro besin elementlerinin dinamikleri incelenmiştir. Araştırma kapsamında, iki farklı elektriksel iletkenlik (EC) seviyesinde (1,2 ve 1,6 dS/m) azot (N), fosfor (P), potasyum (K), kalsiyum (Ca), magnezyum (Mg), demir (Fe) ve mangan (Mn) gibi temel elementlerin besin çözeltisindeki konsantrasyon değişimleri detaylı şekilde takip edilmiştir. Elde edilen veriler, bitkiler tarafından absorbe edilen ve sistemde kalan besin miktarları dikkate alınarak dengeli bir hesaplama yaklaşımıyla değerlendirilmiştir. Özellikle potasyum ve fosfor alım oranlarının yüksek olduğu, azot ve fosforun sistemden kayıplarının ise sırasıyla %27–40 ve %11–35 arasında değiştiği saptanmıştır. Bu kayıpların denitrifikasyon, çökeltme ve biyolojik süreçler kaynaklı olduğu belirtilmiştir. Bu çalışma, NFT sistemlerinde besin çözeltisinin yönetimi açısından element bazlı detaylı

analizlerin önemini ortaya koymakta; özellikle su ve gübre kaynaklarının daha verimli kullanımı için stratejik bilgiler sunmaktadır.

Aires vd., (2023) tarafından yürütülen bu çalışmada, kapalı ortam derin su kültürü (DWC) hidroponik sisteminde marul (*Lactuca sativa*) üretiminin optimizasyonu ve bu süreçte oluşan atık suyun azot (N) ve fosfor (P) içeriğinin azaltılması hedeflenmiştir. Araştırmada, farklı günlük ışık integral (DLI) seviyeleri (özellikle 10–12 mol m⁻²·gün⁻¹) ile değişen besin çözeltisi hacimleri (2–3 L) kombinasyonlarının marulun biyokütle üretimi ve besin giderim kapasitesi üzerindeki etkileri değerlendirilmiştir. Deneme süresi boyunca elde edilen veriler, hem marulun toplam taze ağırlığında anlamlı artışlar sağlandığını hem de sistem çıkışındaki besin çözeltisinde %95'in üzerinde azot ve fosfor uzaklaştırımı gerçekleştiğini ortaya koymuştur. Bu bulgular, üretilen atık suyun geri kullanım ve çevresel güvenlik kriterlerine uygun olduğunu göstermiştir. Çalışma, sürdürülebilir hidroponik üretim açısından hem verim hem de atık su yönetimi perspektifinden önemli bir yaklaşım sunmakta; aynı zamanda besin çözeltisi hacmi ve ışık yönetiminin birlikte değerlendirilmesinin, üretim optimizasyonunda kritik rol oynadığını ortaya koymaktadır.

Adekiya vd., (2009), Nijerya'nın güneybatısında farklı toprak işleme yöntemlerinin domates verimi ve toprak özellikleri üzerindeki etkisini incelemiştir. Sürme + tırmıklama + sıralama yöntemi en yüksek verimi (%62 artış) sağlamış, toprak sıkışıklığını azaltarak yaprak besin elementlerini artırmıştır. Bu yöntem, nemli tropikal Alfisol topraklarında domates üretimi için önerilmiştir.

Taparauskienė ve Miseckaitė (2014) tarafından yapılan çalışmada, sub-nemli bölgelerde çilek üretiminde kullanılan farklı malç materyallerinin toprak nemi ve bitki verimi üzerindeki etkileri değerlendirilmiştir. Araştırma, hafif mil toprak tipinde, buğday samanı (organik) ve siyah polietilen (sentetik) malç kullanılarak yürütülmüştür. Elde edilen bulgulara göre, samanla malçlanan toprakta en yüksek ortalama nem oranı (%18,0) elde edilirken, malçsız toprakta bu oran %16,2, siyah plastik malçta ise %16,5 olarak belirlenmiştir. Ayrıca siyah plastik malç kullanılan parselde çilek verimi, malçsız alana göre %60, samanla kaplı alana göre ise %56 daha fazla olmuştur. Çalışma, malç uygulamasının hem toprak nemini korumada hem de verimi artırmada etkili bir yöntem olduğunu göstermektedir.

Hossain ve Ryu (2017), serada yaptıkları deneyde marul üretimi için organik gübre dozlarının etkisini incelemiştir. Farklı organik gübre dozları (6.5, 13 ve 26 t/ha) ve standart kimyasal gübre dozu karşılaştırılmıştır. Organik gübre 13 t/ha dozunda uygulandığında, marul yaprak boyutu, taze ve kuru ağırlık ile bitkinin N, P, K, Ca, Mg ve Na alımı kimyasal gübreye göre anlamlı olarak artmıştır. Organik madde içeriği, 13 t/ha ve 26 t/ha uygulamalarında sırasıyla %43,82 ve %89,89 oranında artış göstermiştir. 26 t/ha organik gübre uygulaması, toprak pH'sını ve toplam azot ile Zn miktarını artırırken, elektriksel iletkenlik, mineral azot ($\text{NH}_4^+\text{-N}$ ve $\text{NO}_3^-\text{-N}$) ile Cd ve Pb seviyelerini azaltmıştır. Marul verimi ile topraktaki azot ve organik madde arasında pozitif korelasyon bulunurken, organik gübre uygulamasıyla topraktaki kadmiyum ve kurşun arasında negatif korelasyon saptanmıştır. Sonuç olarak, 13 t/ha organik gübre uygulaması, marul verimini artırırken topraktaki ağır metal birikimini azaltmak için önerilmektedir.

Gıda üretiminde sürdürülebilirlik, özellikle kentleşme, iklim değişikliği ve doğal kaynakların tükenmesi gibi küresel sorunların arttığı günümüzde, entegre üretim modellerinin önemini artırmaktadır. Akuaponik sistemler, su ve besin elementlerinin son alıcı ortam olan su kaynaklarına deşarjını önleyerek ve bu değerli besin maddelerin bitki üretiminde kullanımını sağlayarak çevresel sürdürülebilirliğe ve gıda güvenliğine katkı sunmaktadır. Birleşmiş Milletler (UN)'in Sürdürülebilir Gelişim Hedefleri (SDG) doğrultusunda belirlenen önceliklerden SDG 2 (Açlığa son), SDG 6 (Temiz su ve sanitasyon) ve SDG 12 (Sorumlu üretim ve tüketim) başlıkları altında akuaponik sistemlerin kullanımı ilişkilendirilmiştir (URL-2, 2025).

Türkiye'de akuaponik sistemlerin akademik düzeyde araştırılması ve ticarileşmesi henüz başlangıç aşamasındadır. Özellikle üniversiteler bünyesinde kurulan pilot tesisler, bu sistemlerin potansiyelinin anlaşılması açısından önemli veri kaynakları oluşturmaktadır. Yerel türlerin bu sistemlere adaptasyonu, yerel iklim ve su kaynakları bağlamında değerlendirilmekte ve bölgesel üretim modelleri için temel oluşturmaktadır.

Akuaponik sistemlerin başarısı yalnızca bitki verimiyle değil, aynı zamanda sistemdeki balıkların sağlık durumu, davranışları ve fizyolojik stres düzeyleriyle de doğrudan ilişkilidir. Balık refahı, yem değerlendirme oranları, büyüme performansı, bağışıklık sistemi parametreleri ve yaşama oranı gibi göstergelerle

değerlendirilebilmektedir. Bu nedenle sistemin genel başarısını artırmak adına balık refahını izleyen çok yönlü çalışmaların önemi giderek artmaktadır.

Sıvı vermikompostun içeriğinde bulunan humik ve fulvik asitler bitki kök gelişimini teşvik ederken aynı zamanda yetiştirme ortamının mikrobiyal aktivitesini de desteklemektedir. Bu biyoaktif içerik, özellikle bitkilerin stres koşullarına karşı toleransını artırmakta ve fotosentetik verimliliği olumlu yönde etkilemektedir. Sıvı formda uygulanması, sistem içi dağılmasını kolaylaştırarak akuaponik sistemlerde kullanım için avantaj sağlamaktadır (Khan vd., 2014 ; Maji ve ark 2017 ; Liu vd., 2020; Yaylacı ve Erdal, 2021).

Yapılan literatür taramasında; 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 ulaşılamamıştır. Doğal ışıktan yoksun iç mekânda tesis edilen akuaponik sistemlerde sıvı vermikompost uygulamasının balık refahına ve bitki gelişimine etkisine dönük bir çalışmaya da rastlanılmamıştır.

Bu çalışmada, birinci denemede marul (*L. sativa*) ve domates (*L. esculentum*) bitkilerinin yavru sazan (*C. Carpio*) bireyleriyle birlikte yetiştirildiği akuaponik sistemde, 180 gün boyunca su kalitesi, balık gelişimi, bitki gelişimi ve balıkların hematolojik-biyokimyasal parametreleri izlenmiş ve değerlendirilmiştir. İkinci deneyde ise, doğal gün ışığından yoksun iç mekânda tesis edilen deneme düzeneğinde sıvı vermikompostun sudan ve yapraktan uygulanmasının bitki, balık ve su kalitesi üzerindeki etkileri araştırılmıştır.

2. MATERYAL VE METOT

2.1. Birinci Deneme (Sera Ortamı Denemeleri)

2.1.1. Deneme Yeri

Çalışma, Recep Tayyip Erdoğan Üniversitesi İyidere Su Ürünleri Uygulama ve Araştırma Merkezi'nde, açık alanda kurulan, 4×5 m taban alanında ve 3,5 m yükseklikte tez kapsamında imal edilen naylon sera ortamında yürütülmüştür.

2.1.2. Sistem Kurulumu

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).

2.1.3. Deneme Düzenegi

Deneme, iki tekrar ve iki tekerrür olacak şekilde toplam dört adet deneme sisteminden oluşmuştur. Bunlardan ikisi RAS (Recirculating Aquaculture System) temelli bileşenlerden oluşan 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 domates (*Lycopersicon esculentum*) ve 5 haftalık 9 adet marul (*Lactuca sativa*) 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 $11,56 \pm 0,39$ cm, $12,20 \pm 0,47$ cm ve $12,33 \pm 0,65$ cm; ağırlıkları ise sırasıyla ortalama $6,56 \pm 1,17$ g, $14,06 \pm 1,26$ g ve $13,56 \pm 1,94$ g olarak belirlenmiştir. Sisteme yerleştirilen *L. esculentum*'ların ortalama boyu $11,17 \pm 0,19$ cm; ağırlıkları ise $8,93 \pm 1,2$ 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).



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

2.1.4. Deneme Balıkları ve Besleme

Deney düzeneğinde ılık su balıklarından sazan (*Cyprinus carpio*) Akdeniz Su Ürünleri Araştırma Üretim ve Eğitim Enstitüsü Sazan Üretim Merkezi'nden temin edilmiştir (Şekil 2).

Deneme başlangıcında RAS (K) ve akuaponik sistem (DM) tanklarına sırasıyla $3,53 \pm 0,02 \text{ kg/m}^3$ ve $3,54 \pm 0,02 \text{ kg/m}^3$ stok yoğunluğunda, başlangıç ağırlıkları sırasıyla ortalama $35,98 \pm 2,96 \text{ g}$ ve $36,06 \pm 3,23$, boyları ise sırasıyla ortalama $12,24 \pm 0,32 \text{ cm}$ ve $12,24 \pm 0,32 \text{ cm}$ 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.

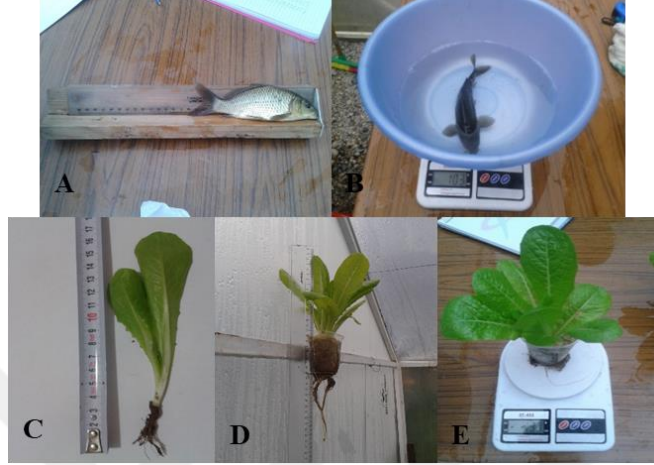


Şekil 2. Denemede kullanılan sazan balığı (*Cyprinus carpio*).

2.1.5. 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 (Şekil 3). 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 çözülmüş oksijen değerleri, *Orion Star™ A329*

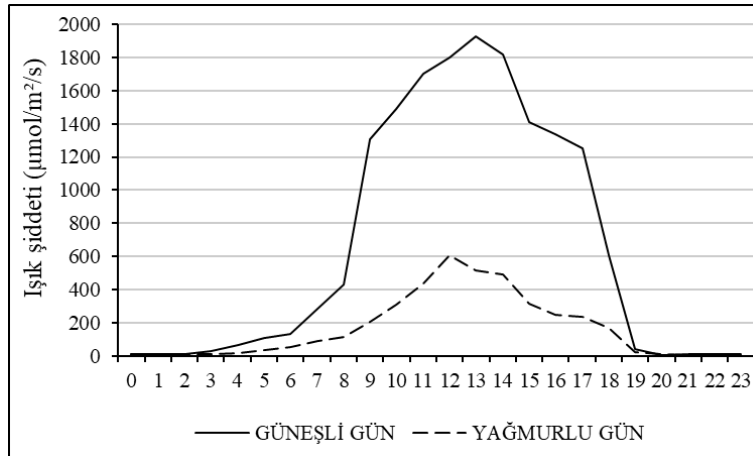
model multiparametre su kalitesi ölçüm cihazı ile belirlenmiştir. Amonyak, nitrit ve nitrat değerleri ise *Hach DR3900* model spektrofotometre ile 15 günlük periyotlarla analiz edilmiştir.



Şekil 3. Balık ve bitki gelişiminde kullanılan ölçüm aletleri. A: Balıklarda bireysel boy ölçümü, B: Ağırlık ölçümü; C: Bitkilerde boy ölçümü, D: Kök uzunluğu ölçümü ve E: Bitki ağırlığı ölçümü.

2.1.6. 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 (Şekil 4).



Şekil 4. Deneyde boyunca güneşli ve yağmurlu günlerde ölçülen ışık yoğunluğu.

2.1.7. 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 kullanılarak 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 heparinize tüplere aktararak 8-10 kez nazikçe alt üst edilmiştir. Numunelerin eritrosit, lökosit, hematokrit ve hemogloblin değerleri, *PROKAN PE-6800 VET* marka otomatik kan sayım cihazı ile analiz edilmiştir. Bu cihaz, kan hücrelerini elektriksel empedans yöntemiyle saymakta ve boyutlandırmakta, hemogloblin 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.

2.1.8. Hesaplamalar ve Veri Analizi

Çalışma sonunda balık gelişim performansı ve besin kullanımının belirlenmesinde aşağıdaki formüllerden yararlanılmıştır:

$$\text{Ağırlık Artışı (AA, g)} = \text{Son vücut ağırlığı (Ws)} - \text{Başlangıç vücut ağırlığı (Wi)} \quad (1)$$

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

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

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

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

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

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-testi* kullanılmış, normal dağılmayan gruplar için ise *Mann-Whitney U* testi uygulanmıştır.

2.2. İkinci Deneme (İç Mekân Deneme Ortamı)

2.2.1. Deney Alanı

Çalışma, Recep Tayyip Erdoğan Üniversitesi Su Ürünleri Uygulama ve Araştırma Merkezi'nde kapalı (indoor) ortamda yürütülmüştür.

2.2.2. Sistem Kurulumu ve Deney Düzeneği

Çalışma, deney düzeneği üç tekrar ve üç tekerrür olacak şekilde dokuz sistem kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Akuaponik sistem düzeneği; eni 57,5 cm, boyu 111 cm ve yüksekliği 40 cm olan 255,3 litre hacimli cam akvaryumlar kullanılarak tasarlanmıştır. Her bir sistemde kullanılan üç akvaryum vertikal olarak konumlandırılmış; en üstte bitki yatağı, orta seviyede balık tankı ve en alt kısımda sump filtre düzeneği yerleştirilmiştir. Sump filtreden su pompası ile tahrik edilen suyun bir kısmı bitki yataklarına, bir kısmı balık tankına ve kalan debi ise sump havuzuna geri döndürülmüştür. Su debileri bitki, balık ve sump havuzlarına vanalar kullanılarak ayarlanmıştır. Bitki yatağından çıkan su balık tankına ve buradan da su muamele tankına kendi cazibesiyle geri döndürülmüştür (Şekil 5).



Şekil 5. Denemenin yürütüldüğü düzenek sistemi.

Bitki yetiştirme yatağı (derin su kültürü), balık yetiştirme ve sump filtre su derinlikleri sırasıyla 11 cm, 34 cm ve 24 cm olacak şekilde; aynı sırayla 70 L, 217 L ve 153 L olarak planlanmıştır. Toplam bir sistem su hacmi 440 L olup, sistemde dinlendirilmiş ve havalandırılmış kuyu suyu kullanılmıştır (Tablo 1). Sistem su döngüsü *VenusAqua P5200* marka sirkülasyon pompasıyla sağlanmış, sump içine verilen havalandırma merkezi blower havalandırma sisteminden yararlanılmıştır. Her bir deneme grubunda balık tankı, sump (mekanik ve biyofiltrasyon tankı) ve bitki yatağında toplam 440 L su hacmi kullanılmıştır. Sadece buharlaşma kaynaklı su kaybı iki haftada bir 3 L taze su ilavesi ile telafi edilmiş, bu da toplam hacmin %0,68'ine karşılık gelmiştir. Sistem su değişimi RAS sistemler için uygun olan %90'dan daha fazla suyun muameleden sonra geri kullanım prensibine uygun bir değerdir (Bregnballe., 2022; Uğural vd., 2018). Elektrik kullanımı merkezi jeneratör ile desteklendiğinden enerji kesintisi söz konusu olmamıştır. Sump içerisinde biyofiltrasyon amacıyla 50 × 50 × 5 cm boyutlarında bir adet akvaryum süngeri kullanılmıştır. Bu sünger yaklaşık 12,5 dm³ hacme sahip olup, yalnızca geometrik dış yüzey alanı dikkate alındığında 0,60 m² yüzey sağlamaktadır.

Tablo 1. Kaynak suyunun özellikleri

Parametreler	Ölçülen Değer
Su Sıcaklığı (°C)	17°C
pH	7,22
Nitrit (mg/L NO ₂)	0,01
Nitrat (mg/L NO ₃)	8,8
Fosfat (mg/L PO ₄)	0,16
Amonyum (mg/L NH ₄)	<0,03
İletkenlik (µS/cm)	206,9
Tuzluluk (‰)	0,10
Askıda katı madde-TSS (mg/L)	2
Çözülmüş oksijen (mg/L)	10,16
Doymuş oksijen %	95,2
Toplam sertlik (mg/L CaCO ₃)	89

Bitki yetiştirme yatağına, yapraklarından yararlanılan ve akuaponik uygulamalarda en çok tercih edilen 5 haftalık 2 adet marul (*Lactuca sativa*), meyve geliştiren bitkilerden 9 haftalık 5 adet biber (*Capsicum annuum*) ve 3 haftalık 4 adet fasulye (*Phaseolus vulgaris*) olmak üzere, her bir deneme ortamı için toplam 11 adet fide özenle yerleştirilmiştir. Sisteme yerleştirilen *L. sativa* boyları ortalama $13,56 \pm 0,57$ cm gövde çapları ise ortalama $6,16 \pm 0,36$ mm olarak belirlenmiştir. Sisteme yerleştirilen *C. annuum*'ların ortalama boyu $25,91 \pm 0,76$ cm; gövde çapları ise $4,20 \pm 0,13$ mm olarak belirlenmiştir. Sisteme yerleştirilen *P. annuum vulgaris*'lerin ortalama boyu $24,47 \pm 1,02$ cm; gövde çapları ise $4,52 \pm 0,12$ g olarak belirlenmiştir. Fidelerin sisteme entegrasyonundan yaklaşık bir hafta önce sisteme *C. carpio*'lar yerleştirilerek adaptasyonları sağlanmış ardından fidelerin sisteme entegrasyonu gerçekleştirilmiştir.

2.2.4. Deneme Balıkları ve Besleme

Deney düzeneğinde ılık su balıklarından sazan (*Cyprinus carpio*) Tarım ve Orman Bakanlığı Amasya Yedikır Sazan Üretim Merkezi'nden temin edilmiştir (Şekil 6).

Deneme başlangıcında kontrol akuaponik sistem (K), akuaponik sistem yapraktan uygulama (Y) ve akuaponik sistem sudan uygulama (S) tanklarına $2,62 \text{ kg/m}^3$ stok yoğunluğunda 25 adet balık yerleştirilmiştir. Her sistemde balıkların boyları S, Y ve K grupları için sırasıyla $11,40 \pm 1,37$ cm; $11,67 \pm 1,07$ cm ve $11,68 \pm 1,18$ cm, ağırlıkları ise $22,7 \pm 9,26$ g; $22,82 \pm 7,97$ g ve $22,77 \pm 7,81$ g olarak ölçülmüştür. Başlangıçta grupların boy ve ağırlıkça benzer olduğu belirlenmiştir ($P > 0,05$).

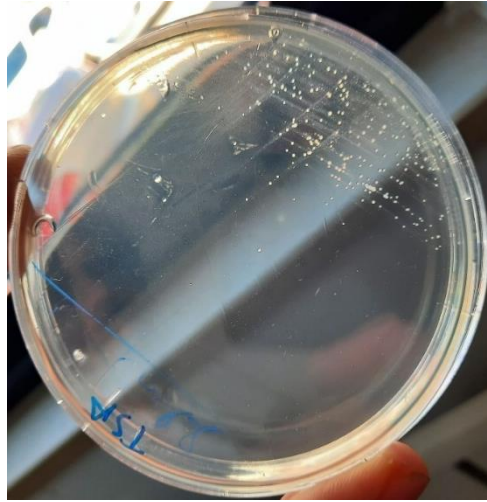
Her akvaryuma yerleştirilen 567,5 g ağırlığında 25 balık, günlük canlı ağırlığın %2'si kadar yemlenmiştir. Kullanılan yem 3–4 mm pelet, %46 protein, %19 ham yağ içeren ticari yemdir (*Gümüşdoğa A.Ş.*). 15 günlük periyotlarla yapılan biyokütle ölçümleriyle yem miktarı güncellenmiş ve FCR hesaplanmıştır.



Şekil 6. Denemede kullanılan sazan balığı (*Cyprinus carpio*).

2.2.5. Sistem Sularının Mezofilik Bakteri Yükünün Belirlenmesi

Sıvı vermikompost ilavesinin deneme ortamları mezofilik bakteri yükünün belirlenmesi çalışması yürütülmüştür. Yapraktan (Y), sudan (S) sıvı vermikompost ilave edilen akuaponik sistemler ile kontrol (K) gruplarından alınan su örneklerinde analizler yapılmıştır. Steril olarak alınan su numuneleri, Fizyolojik Tuzlu su (%9) FTS, ile 10-5 dilüsyonuna kadar seyreltilmiştir. Bu seyreltilmiş örnekten Plate Count Agar besi yerine iki tekerrürlü olarak ekimler (Her bir besi yerine 100µl örnek olacak şekilde) yapılmıştır (Şekil 7). Bu katı besi yerleri 30°C’de 24-48 saat inkübe edilmiş ve koloni sayımları yapılarak bakteri yoğunluğu hesaplanmıştır.



Şekil 7. Besiyerde bakteriyel yoğunluğun izlenmesi.

2.2.6. Sıvı Vermikompost Uygulaması

Bitkilerin gelişimi için ihtiyaç duyulacak bitki besin elementlerinin balık yetiştiriciliğinden gelecek miktarın yetersizliğinin telafisi amacıyla sıvı

vermikomposttan yararlanılması öngörülmüştür. Sistem suyuna (S) ve bitki yapraklarına (Y) uygulanan sıvı vermikompost içeriği Tablo 2. de verilmiştir.

Tablo 2. Supersol-Wormbomb marka sıvı vermikompost onaylı etiket içeriği (<https://supersol.com.tr/wp-content/uploads/2023/09/WORMBOMB-ONAYLI-ETIKET.pdf>)

İçerik	Oranı
Organik Madde	%15
TAN (Toplam Azot)	%1,5
Organik Azot	%1
Suda Çözünür K ₂ O	%1
Toplam Hümk+Füllfik Asit	%1,5
Maksimum EC (dS/m)	5
pH	4,5-5,5

Sistemin sıvı vermikomposta maruziyetinin hem balık hem de bitki gelişimini olumsuz etkilememesi büyük önem arz etmektedir. Bu amaçla, deneme öncesinde gerçekleştirilen ön testlerde farklı konsantrasyonlarda sıvı vermikompost uygulamaları değerlendirilmiştir. Yapılan bu ön denemeler sonucunda, suya 2 ml/L' nin üzerinde konsantrasyonda sıvı vermikompost ilavesi durumunda, balıklarda davranışsal durgunluk, yüzme aktivitesinde azalma ve ani kaçış tepkilerinde bozulmalar gözlemlenmiştir. Ayrıca, sistem suyunun görünümünde aşırı bulanıklık meydana gelmiş ve bu durum sistem estetiğini ve ışık geçirgenliğini olumsuz etkilemiştir. Aynı şekilde, 2 ml/L düzeyindeki uygulamaların ardından marul (*Lactuca sativa*) yapraklarında sararma, kenar kuruması ve yaprak yüzeyinde büzüşmeler gibi stres belirtileri görülmüştür.

Suya 1,5 ml/L konsantrasyonunda sıvı vermikompost ilavesi yapılan uygulamalarda, juvenile *Cyprinus carpio* bireylerinde gözle görülür herhangi bir davranışsal anormallik saptanmamış olmakla birlikte, sistem suyunun aşırı bulanıklaştığı tespit edilmiştir.

Sistem için en uygun dozun belirlenmesi amacıyla yapılan optimizasyon çalışmaları sonucunda, 1 ml/L konsantrasyonda sıvı vermikompost ilavesiyle sistemin dengede kalabildiği, balık refahı ve bitki gelişimi açısından olumsuz bir etkinin gözlenmediği belirlenmiştir.

Bu doğrultuda, sistem suyuna doğrudan 1 ml/L oranında sıvı vermikompost ilavesi yapılan gruplar “S” (Sıvı vermikompostun suya uygulandığı grup), aynı konsantrasyonda hazırlanan sıvı vermikompostun bitki yapraklarına sprey yoluyla uygulandığı gruplar ise “Y” (Sıvı vermikompostun yaprağa uygulandığı grup) olarak adlandırılmıştır. Hiçbir şekilde sıvı vermikompost uygulanmayan ve yalnızca balıkların metabolitleriyle çalışan sistem ise “K” (Kontrol) grubu olarak tanımlanmıştır.

2.2.7. Verilerin Toplanması ve Su Kalitesi Ölçümleri

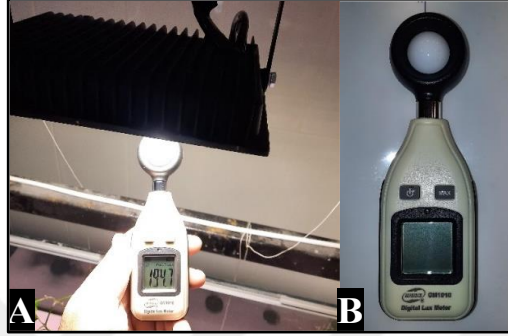
Balıkların ağırlık ölçümleri için $\pm 0,1$ g hassasiyetli *NECKLIFE JZS-TSC* model dijital terazi, boy ölçümleri için ise ± 1 mm hassasiyetli *Von Bayer* teknesi kullanılmıştır. Bitki gelişiminin takibi, marul, biber ve fasulyede boy, gövde çapı ve yaprak sayısı kayıtlarıyla gerçekleştirilmiştir. Ölçüm işlemleri 15 günlük periyotlar halinde yapılmıştır. Oksijen, sıcaklık, pH, iletkenlik gibi su kalitesi parametreleri her 15 günde bir *Orion Star™ A329* marka multiparametre cihaz ile ölçülmüş; amonyum, amonyak, nitrit, nitrat ve fosfat düzeyleri *Hach DR3900* spektrofotometre ile analiz edilmiştir (Şekil 8).



Şekil 8. Deneyde kullanılan ölçüm aletleri. A: Orion Star™ A329 marka multiparametre cihazı; B: 0,1 g hassasiyetli Necklife Jzs-Tsc model dijital terazi; C: Bitki gelişim ölçümü için kumpas aleti D: Hach DR3900 spektrofotometre cihazı; E: Su parametreleri analiz kitleri.

2.2.8. Işık ve Çevresel Koşullar

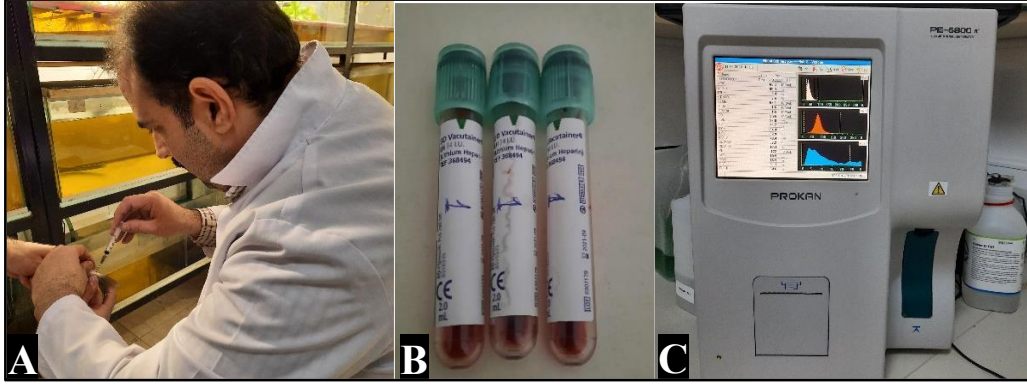
İç mekân olarak planlanan sistemde bölgede en uzun gün ışığı olan 16L:8D fotoperiyot düzeni *Dimmer* cihazı ile sağlanmıştır. Işık şiddeti, *Benetech GM1010* marka dijital lüksmetre ile ölçülerek kaydedilmiştir. Bitki gelişimi için *ATLANTIS A3619* marka LED aydınlatmalar kullanılmış (Şekil 9), ışık yoğunluğu PPFD cinsinden $171,25 \mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{sn}$ olarak ölçülmüştür.



Şekil 9. Deney düzeneğinde LED aydınlatma sistemi. A: 100 watt'lık LED lamba isteminde ışık şiddetinin ölçümü. B: Benetech GM1010 marka dijital lüksmetre.

2.2.9. Hematolojik Analizler

Balıkların farklı sistemlere fizyolojik tepkilerinin belirlenmesi amacıyla alınan kan numunelerinde 30 günlük aralıklarla 4 periyotta kaudal venadan 2,5 mL yeşil uçlu enjektör ile alınan kan örnekleri *BD Vacutainer* marka 500 μL hacminde heparinize tüplere yerleştirilmiş, kan sayımları *PROKAN PE-6800 VET* marka otomatik kan sayım cihazında gerçekleştirilmiştir (Şekil 10). Kan örneklerinde eritrosit, lökosit, hematokrit ve hemoglobin değerleri ölçülmüştür. Bu cihaz, kan hücrelerini elektriksel empedans yöntemiyle saymakta ve boyutlandırmakta, hemoglobin değerini ise kolorimetrik yöntemle belirlemektedir (Köse ve Arıman Karabulut, 2022).



Şekil 10. Kan örnekleri işlemleri. A: Kaudal venadan 2,5 mL yeşil uçlu enjektör ile kan alımı. B: BD Vacutainer marka 500 µL hacminde heparinize tüpler; C: PROKAN PE-6800 VET marka otomatik kan sayım cihazı.

2.2.10. İstatistiksel Analizler

Verilerin değerlendirilmesinde *Excel* ve *SigmaPlot 11.0* kullanılmıştır. Normal dağılım *Kolmogorov–Smirnov* testi ile test edilmiş; T-testi ve *One-Way ANOVA* testleri ile gruplar arası farklılıklar analiz edilmiştir. Anlamlılık düzeyi $p < 0,05$ olarak kabul edilmiştir.

3. BULGULAR

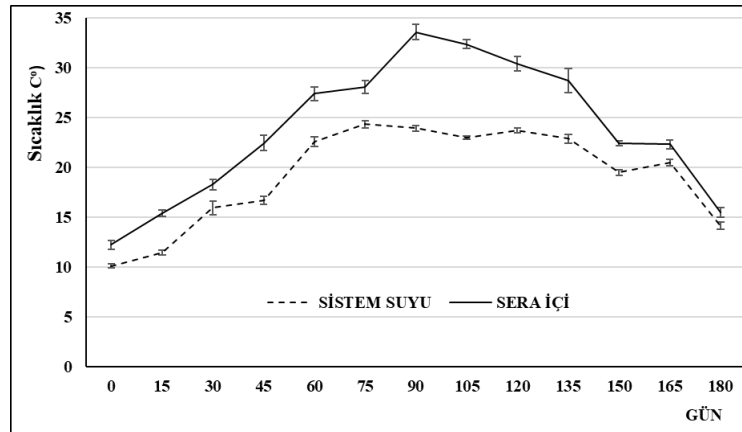
3.1. Birinci Deneme (Sera Ortamı Denemeleri)

3.1.1. Su Kalitesi ve Çevresel Koşullar

Çalışmanın yapıldığı RTEÜ İyidere Su Ürünleri Uygulama ve 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), çözülmüş 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 $137,16 \pm 8,80$ $\mu\text{s cm}^{-1}$ (min 120 $\mu\text{s cm}^{-1}$ -mak 152 $\mu\text{s cm}^{-1}$) olarak belirlenmiştir.

Sistem suyunun sıcaklığı hem sera içerisindeki iklimsel şartlardan hem de biyolojik aktivitelerden dolayı taze sudan daha yüksek bulunmuştur. Akuaponik sistem (DM) grubunda $21,77 \pm 1,12$ °C, kontrol (K) grubunda $22,53 \pm 0,77$ °C sıcaklık değerleri tespit edilmiştir. pH düzeyinin deney boyunca 6,4-8,5 aralığında değiştiği belirlenmiştir.

Sera içi sıcaklık, meteorolojik koşullara bağlı olarak değişkenlik göstermiştir. Sistem suyu sıcaklığı 10°C ile 24,3°C (ortalama $19,14 \pm 0,35$ °C), sera içi sıcaklık ise 12,23°C ile 33,6°C (ortalama $23,78 \pm 0,59$ °C) arasında seyretmiştir (Şekil 11).



Şekil 11. Deneme süresince sistem suyu ve sera içindeki hava sıcaklığı değişimi (°C)

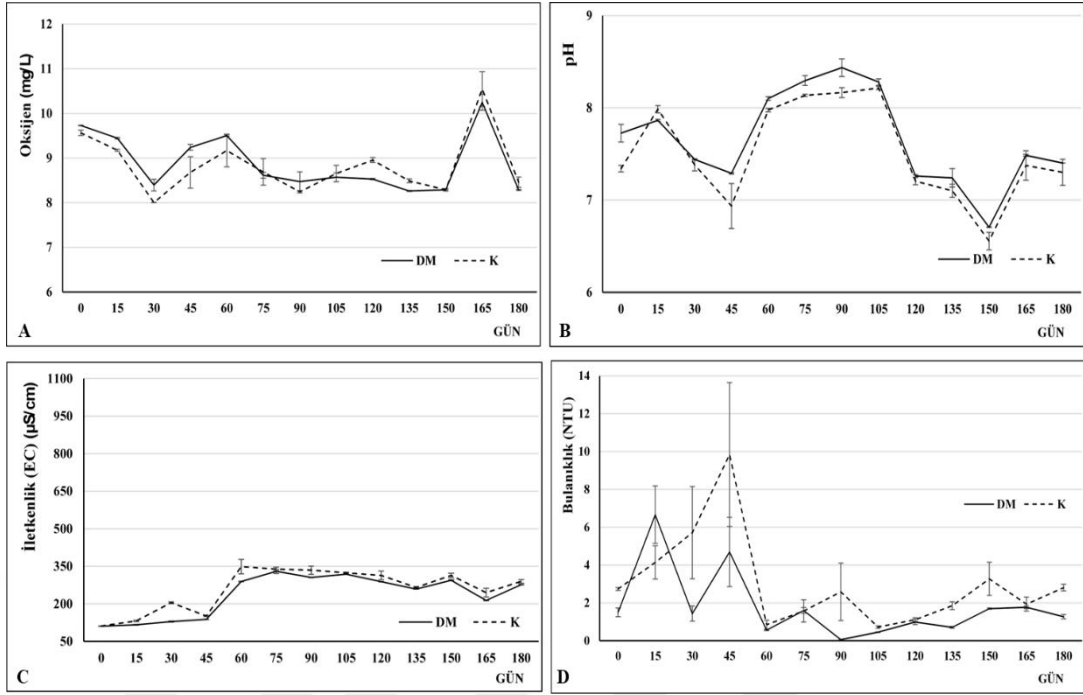
Deneme boyunca Kontrol (K) ve Akuaponik sistemi (DM) gruplarında kullanılan suyun fiziksel özellikleri Şekil 12’te sunulmuştur. Buna göre, çalışmanın 0-30. günleri arasında çözülmüş oksijen seviyeleri K ve DM gruplarından benzer

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 12A).

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 12B).

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'inci 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 12C).

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'inci 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 12D) Genel olarak çalışma boyunca kontrol grubunda bulanıklık 3 NTU seviyelerinde ölçülürken, akuaponik sistemde 1,80 NTU düzeylerinde belirlenmiştir (Tablo 3).



Şekil 12. Deneme süresince Kontrol (K) ve Akuaponik sistemi (DM) gruplarında kullanılan suyun fiziksel özellikleri. A: Sistem suyunda çözünmüş oksijen düzeyleri, B: pH düzeyleri, C: İletkenlik düzeyleri, D: Bulanıklık düzeyleri

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 3 de sunulmuştur. Bu parametreler bakımından akuaponik sistem ve kontrol grupları arasında anlamlı bir fark belirlenememiştir ($P>0,05$).

Tablo 3. Deneme gruplarında çalışma süresince ölçülen sistem suyu kalitesi değerleri (Veriler ortalama $\pm$ SH olarak sunulmuştur).

	$\text{NH}_4\text{-N}$	$\text{NH}_3\text{-N}$	$\text{NO}_2\text{-N}$	$\text{NO}_3\text{-N}$	pH	O_2	EC	t (°C)	NTU
DM	$0,16\pm0,03$	$0,03\pm0,02$	$0,10\pm0,02$	$4,84\pm0,31$	$7,8\pm0,10$	$8,89\pm0,13$	$236,2\pm15,70$	$19,14\pm0,35$	$1,80\pm0,39$
K	$0,33\pm0,14$	$0,04\pm0,02$	$0,25\pm0,08$	$6,65\pm0,94$	$7,7\pm0,11$	$8,84\pm0,14$	$355,8\pm46,06$		$3,01\pm0,60$

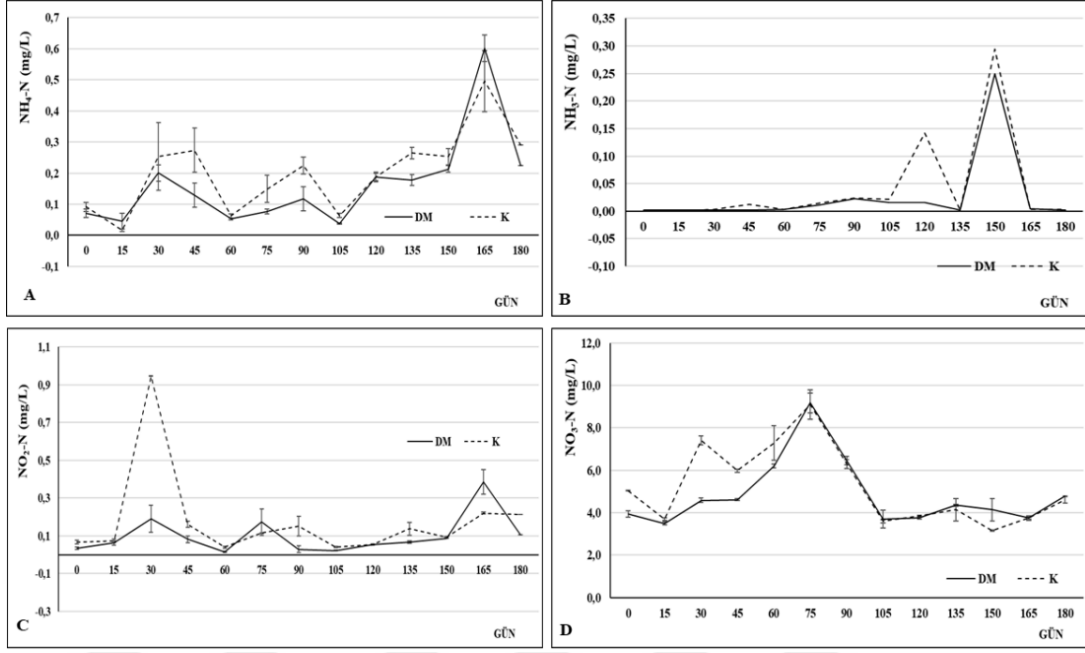
Veriler ortalama $\pm$ SH olarak sunulmuştur. S: Suya sıvı vermikompost, Y: Yaprğa sıvı vermikompost spreyi, K: Kontrol grubunu, $\text{NH}_4\text{-N}$: Amonyum (mg/L), $\text{NH}_3\text{-N}$: Amonyak (mg/L), $\text{NO}_2\text{-N}$: Nitrit (mg/L), $\text{NO}_3\text{-N}$: Nitrat (mg/L), pH: Potansiyel hidrojen iyonu, O_2 (mg/L): Çözünmüş oksijen, EC: Elektriksel iletkenlik ($\mu\text{S cm}^{-1}$), t: 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 13'te sunulmuştur. Buna göre Kontrol grubunda 30, 45, 90, 135 ve 165'inci (sırasıyla $0,25\pm0,11$; $0,27\pm0,07$; $0,22\pm0,03$; $0,27\pm0,02$ ve $0,50\pm0,10$) 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 13A).

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 13B).

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 13C).

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 13D).



Şekil 13. 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: Sitem suyunun amonyum azotu ($\text{NH}_4\text{-N}$), C: Sistem suyunun nitrit azotu ($\text{NO}_2\text{-N}$), D: Sistem suyunun nitrat azotu ($\text{NO}_3\text{-N}$)

3.1.2. Balık ve Bitki Gelişim Performansları

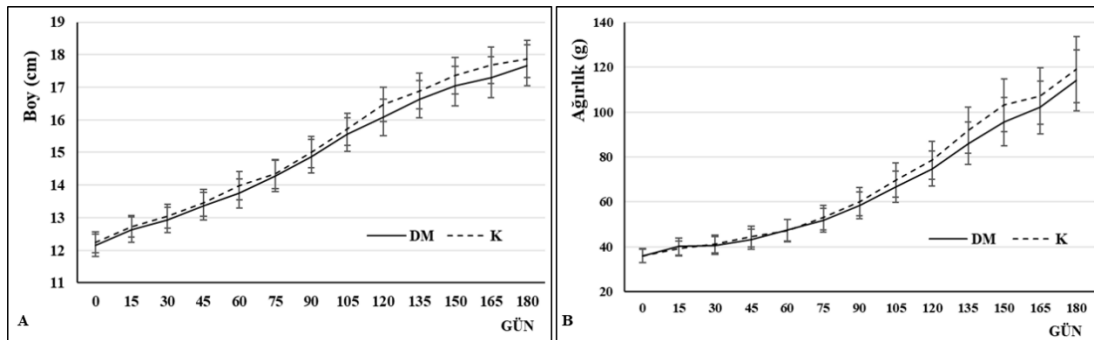
Deneme sonunda, *C. carpio* balıklarında RAS (Kontrol) ve akuaponik sistem (DM) gruplarında elde edilen veriler arasında yapılan karşılaştırmalar ve son vücut ağırlığı (W_s), son vücut boyu (L_s), son stok yoğunluğu (SY_s), ağırlık artışı (AA), ağırlık artışı oranı (AAO), yem tüketimi (YT), yem değerlendirme oranı (FCR), spesifik büyüme oranı (SBO), kondisyon faktörü (KF) ve yaşama oranı (YO)'na ait belirlenen değerler Tablo 4 sunulmuştur. Çalışma sonunda SY_s ve YT bakımından Kontrol ve DM grupları arasında anlamlı fark bulunmuşken ($P < 0,05$), diğer parametreler bakımından gruplar arasında anlamlı bir fark belirlenmemiştir ($P > 0,05$).

Tablo 4. Deneme sonunda *C. carpio*'da hesaplanan balık gelişim performansı ve besin kullanıma ait veriler

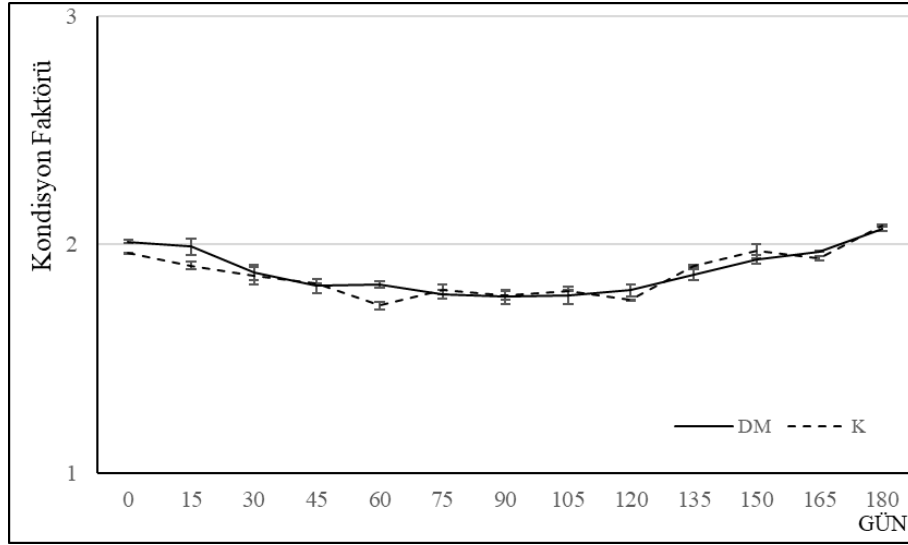
Parametreler	RAS (Kontrol)	Akuaponik sistem (DM)
L_i (cm)	$12,24 \pm 0,32$	$12,24 \pm 0,32$
L_s (cm)	$17,87 \pm 0,39$	$17,67 \pm 0,44$
W_i (g)	$35,98 \pm 2,96$	$36,06 \pm 3,23$
W_s (g)	$118,92 \pm 10,34$	$114,04 \pm 9,49$
SY_i (kg/km ³)	$3,53 \pm 0,02$	$3,54 \pm 0,02$
SY_s (kg/km ³)	$11,66 \pm 0,11^a$	$11,18 \pm 0,14^b$
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 (%)	$100,0 \pm 0,00$	$100,0 \pm 0,00$

Not: Tüm veriler ortalama $\pm$ SH olarak sunulmuştur (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.

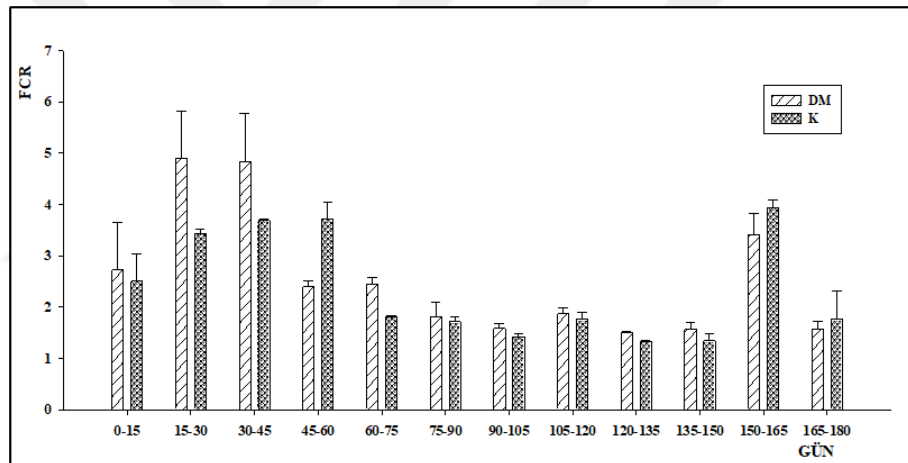
Deneme boyunca ölçüm periyotlarında belirlen balık boy ve ağırlıkları Şekil 14'te kondisyon faktörleri Şekil 15'te FCR değerleri ise Şekil'16 de sunulmuştur. Her iki grup arasında, boy (Şekil 14A) ve ağırlık (Şekil 14B), kondisyon faktörü bakımından ve FCR değerleri bakımından ölçüm periyot günleri için anlamlı bir fark belirlenememiştir (P>0,05).



Şekil 14. Deneme gruplarında çalışma süresince balıkların ortalama boy (A) ve ağırlık (B) değişimleri.



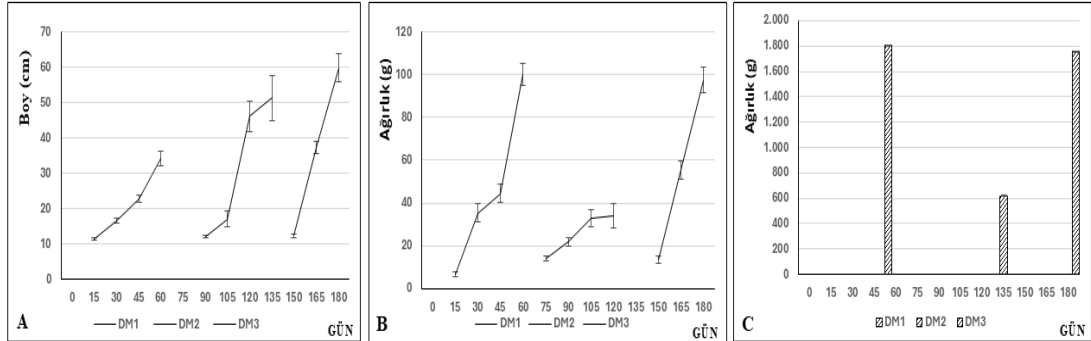
Şekil 15. Deneme süresince kontrol (K) ve akuaponik sistem (DM) gruplarında hesaplanan kondisyon faktörü değişimleri



Şekil 16. Deneme süresince kontrol (K) ve akuaponik sistem (DM) gruplarında hesaplanan yem dönüşüm değeri (FCR) değişimleri

Akuaponik sistem gruplarında *L. sativa*'nın üç periyot halinde sisteme yerleştirildiği Bölüm 2.1.3 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 17A'da, hasat edilen ortalama ürün ağırlığı Şekil 17B'de, hasat günlerindeki (DM1, DM2 ve DM3) toplam ürün ağırlığı Şekil 17C

de sunulmuş olup, hasat edilen ürünlerin gelişimine ait görseller Şekil 18’de sunulmuştur.



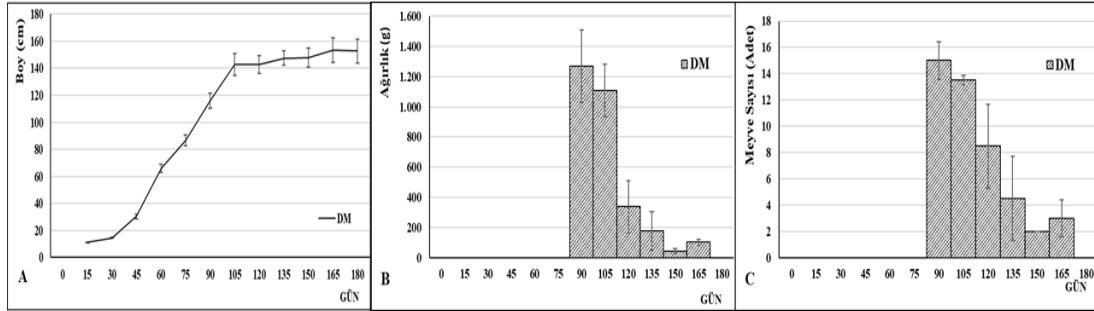
Şekil 17. Çalışma boyunca *L. sativa*’da belirlenen gelişim performansı. A: çalışma süresince ölçülen ortalama *L. sativa* boyları, B: çalışma süresince ortalama *L. sativa* ağırlıkları, C: çalışma süresince hasat edilen toplam *L. sativa* ağırlıkları (Üç farklı zamanda gerçekleştirilen marul hasadı DM1, DM2 ve DM3 terimleri ile özetlenmiştir).



Şekil 18. 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*.

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 tekrerrüden 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 19A'da, hasat edilen ürün ağırlığı Şekil 19B'de, hasat edilen meyve sayısı Şekil 19C' de, hasat edilen ürünlere ait görseller ise Şekil 20 de sunulmuştur.



Şekil 19. 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



3.1.3. Hematolojik ve Biyokimyasal Analizler

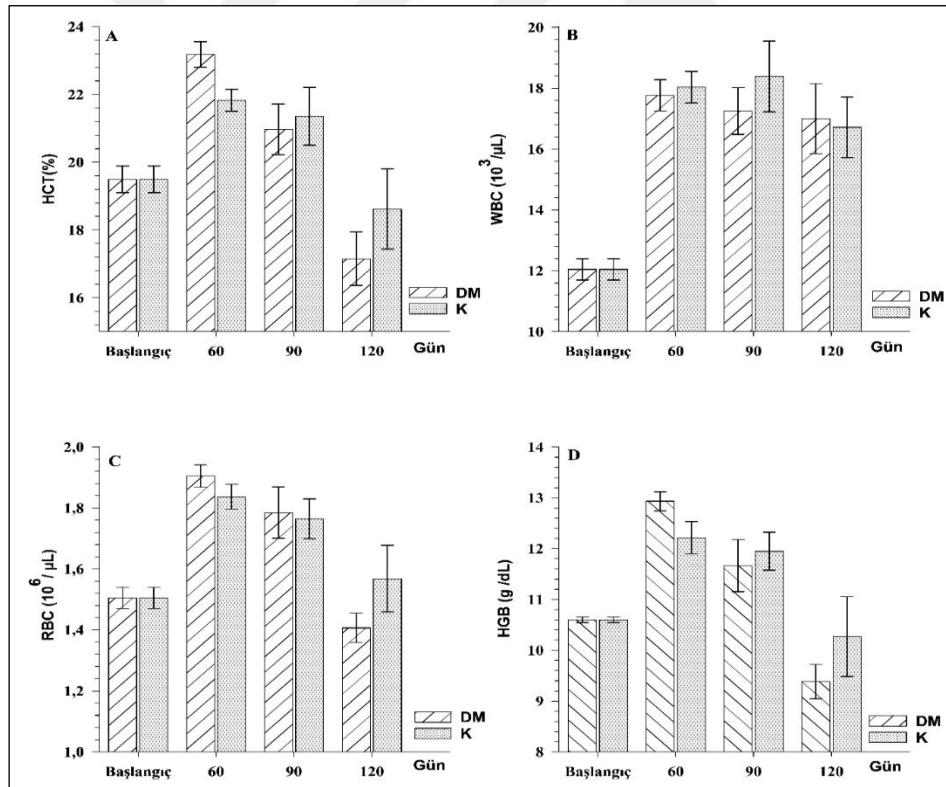
Çalışma sonunda Kontrol ve akuaponik sistem grupları arasında belirlenen ortalama lökosit (WBC), eritrosit (RBC), hemoglobin (HGB) ve hematokrit (HCT), kortizol, Ca^{++} ve Na^{+} düzeyleri Tablo 5'te sunulmuştur. Sonuçlara göre çalışma sonunda gruplar arasında anlamlı bir fark oluşmamıştır ($P>0,05$). 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 21).

Tablo 5. RAS ve akuaponik sistemlerde yetiştirilen *C. Carpio* balıklarında çalışma boyunca belirlenen hematolojik ve plazma parametrelerin ortalama değerleri.

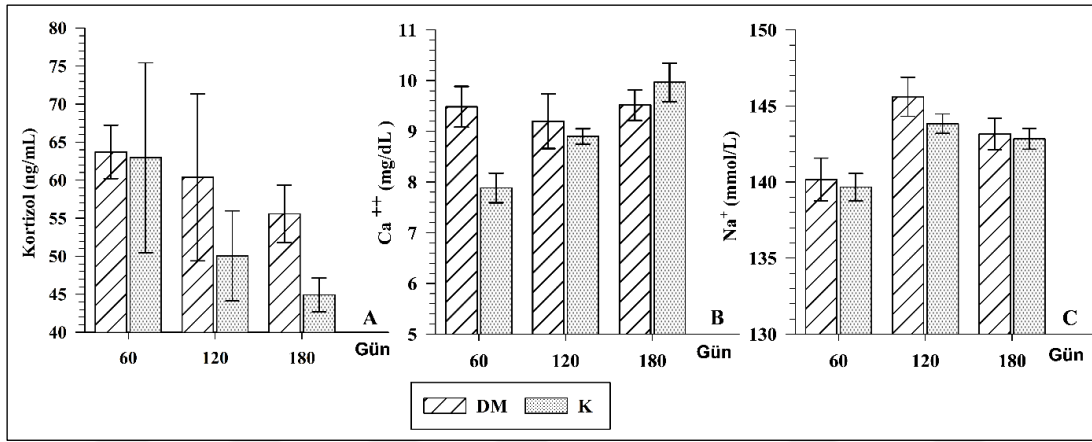
Parametreler	RAS (Kontrol)	Akuaponik (DM)
WBC ($10^3/\mu\text{L}$)	$17,71\pm0,50$	$17,34\pm0,22$
RBC ($10^6/\mu\text{L}$)	$1,72\pm0,08$	$1,70\pm0,15$
HGB (g/dL)	$11,48\pm0,61$	$11,32\pm1,03$
HCT (%)	$20,60\pm0,99$	$20,43\pm1,76$
Kortizol (ng/ml)	$52,74\pm4,00$	$59,27\pm0,58$
Ca^{++} (mmol/l)	$8,92\pm0,40$	$9,40\pm0,23$
Na^+ (mmol/l)	$142,11\pm0,82$	$142,94\pm1,15$

Tüm veriler ortalama $\pm$ standart hata ($\pm$ SH) olarak sunulmuştur ($n=3$). 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 21. 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).

Deneme boyunca Kontrol ve akuaponik sistemlerde ölçüm periyotlarına göre biyokimyasal kan parametrelerinden kortizol, kalsiyum iyonu (Ca^{++}), sodyum iyonu (Na^+) seviyelerinin plazmada belirlenen düzeyler Şekil 22’de 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 22. 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).

3.2. İkinci deneme (İç Mekân Deneme Ortamı)

3.2.1. Su Kalitesi ve Çevresel Koşullar

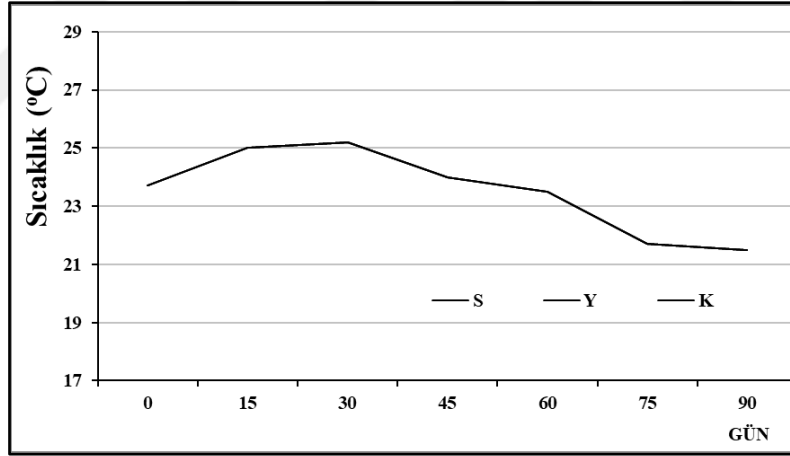
Denemede kullanılan sistem sularının amonyum, nitrat, nitrit, fosfat, sıcaklık, pH, oksijen, iletkenlik (EC) ve bulanıklık (NTU) değerleri zamansal olarak ölçülmüştür. Çalışma süresince elde edilen ortalama değerler Tablo 6’da sunulmuştur ($P>0,05$). Ölçülen değerler arasında, S grubunun nitrit seviyeleri diğer gruplardan nispeten yüksek, K grubunun ise oksijen seviyesi diğer gruplardan yüksek bulunmuştur. Bununla birlikte, her üç grupta da nitrit ve oksijen değerleri, balık refahını tehdit edecek seviyelere ulaşmamıştır ($p<0.05$).

Tablo 6. Deneme gruplarında çalışma süresince ölçülen sistem suyu kalitesi değerleri.

	NH ₄ -N	NH ₃ -N	NO ₂ -N	NO ₃ -N	PO ₄ ³⁻	pH	O ₂	EC	t ^t (°C)	NTU
S	2,85±0,7	<0,01	0,03±0	38,4±2,1	3,9±0,1	6,03±0,0	7,45±0,1	672,62±43,3		3,07±0,6
Y	3,25±0,8	<0,01	0,02±0	35,96±2,8	4,03±0,1	6,03±0,0	7,76±0,1	538,57±41,9	23,51±0,3	2,26±0,5
K	3,98±0,8	<0,01	0,02±0	37,56±3,9	3,93±0,2	6,05±0,1	7,49±0,1	622,07±52,2		2,30±0,3

Veriler ortalama ±SH olarak sunulmuştur. S: Suya sıvı vermicompost, Y: Yaprağa sıvı vermicompost spreyi, K: Kontrol grubunu, NH₄-N: Amonyum (mg/L), NH₃-N: Amonyak (mg/L), NO₂-N: Nitrit (mg/L), NO₃-N: Nitrat (mg/L), PO₄³⁻-P: Fosfat (mg/L), pH: Potansiyel hidrojen iyonu, O₂ (mg/L): Çözülmüş oksijen, EC: Elektriksel iletkenlik (µS cm⁻¹), t (°C): çalışma süresince ortalama sıcaklık değeri ve NTU: bulanıklığı ifade etmektedir.

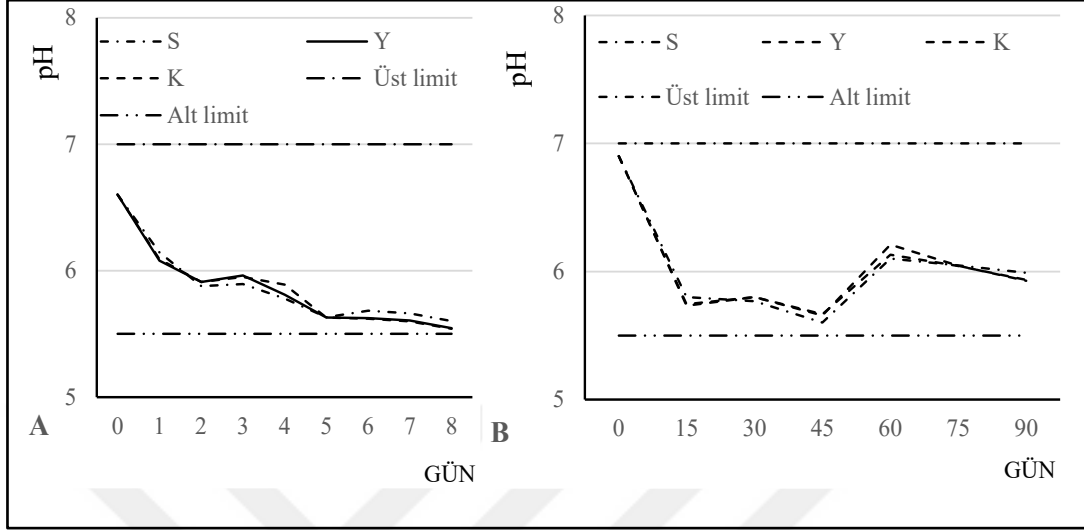
Çalışma, binanın zemin katında kapalı bir ortamda gerçekleştirildiğinden, su sıcaklığında anlık değişimler gözlemlenmemiştir. Deneme süresi boyunca, her üç sistemde de su sıcaklığı 21,5-25,2°C aralığında seyretmiştir (Şekil 23). Bu sıcaklık değerleri, sistemin canlı bileşenleri olan sazan, biber, fasulye ve marul için önerilen sıcaklık aralıklarıyla uyumludur.



Şekil 23. Deneme süresince gruplarda su sıcaklığı değişimleri.

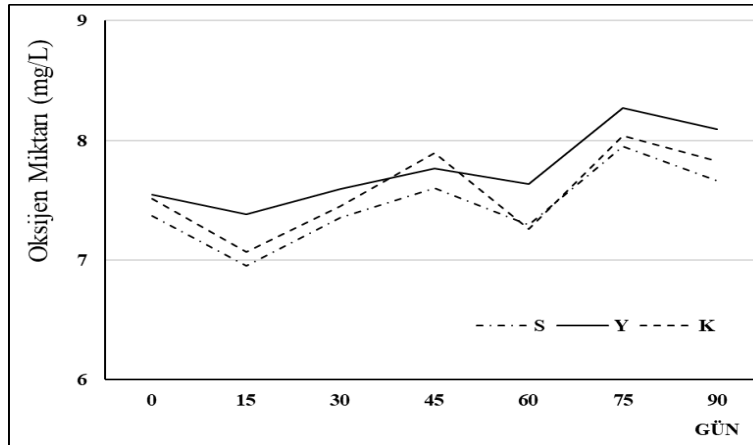
Kapalı devre olarak çalışan deneme gruplarında, *akuaponik* sistemlerinin suyunda pH değerlerinin sürekli olarak düştüğü tespit edilmiştir. Başlangıçta, üç gruptaki pH değeri 6,60'tan başlayarak, 5, 6 ve 7. günlerde yaklaşık 5,60 seviyelerine kadar düşmüş ve bu seviyede sabit kalmıştır. Balıkların metabolik aktiviteleri ve biyo-filtrasyon süreçlerinden kaynaklanan bu pH düşüşü gözlemlenmiştir. Bu sorunu düzeltmek için, 440 L toplam hacmindeki deneme tanklarına 14 g sodyum hidroksit (NaOH) 5 L kuyu suyunda eritilmiş ve damlama yoluyla sistem suyuna eklenmiştir.

Böylece tamponlanan sistem suyunun pH değeri tekrar 6,60 seviyesine yükseltilmiştir (Şekil 24).

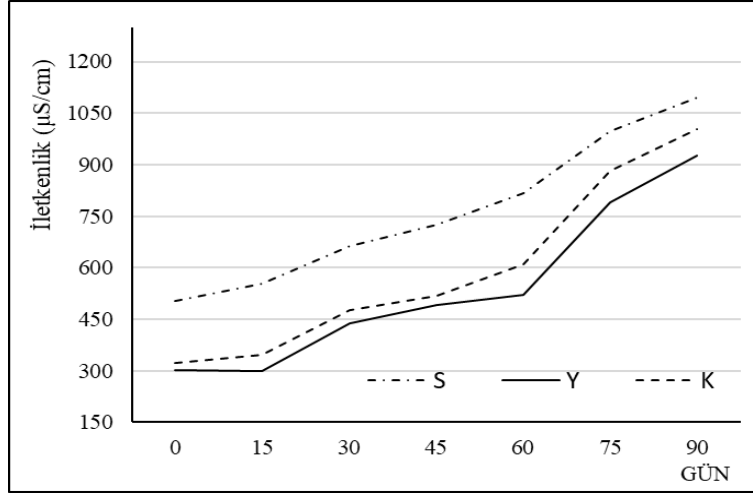


Şekil 24. Deneme grubunda gözlemlenen bir haftalık pH değişimi (A). Deneme süresince gruplarda pH değişimleri (B).

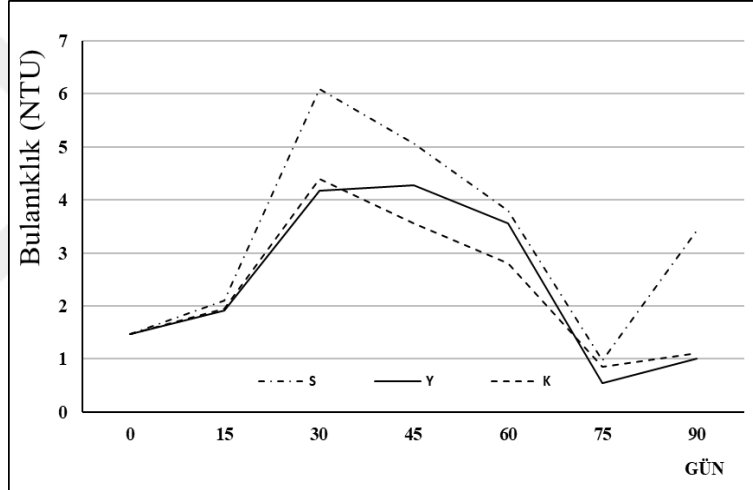
Sistemlerde ölçülen çözünmüş oksijen değerleri, S, Y ve K gruplarında sırasıyla $7,45 \pm 0,1$, $7,76 \pm 0,1$ ve $7,49 \pm 0,1$ mg/L olarak belirlenmiştir (Şekil 25). Elektriksel iletkenlik (EC), başlangıçta sudan vermikompost ilavesi yapılan akuaponik sistemde yaklaşık $191,28 \mu\text{S}/\text{cm}$ olarak daha yüksekken, çalışma süresince bu fark düzenli olarak azalarak yaklaşık $128,94 \mu\text{S}/\text{cm}$ seviyesine gerilemiştir (Şekil 26). Sudan vermikompost ilavesi yapılan grubun bulanıklığı, genel olarak diğer gruplara kıyasla çalışma süresince daha yüksek ölçülmüştür (Şekil 27).



Şekil 25. Deneme süresince gruplarda oksijen değişimleri.

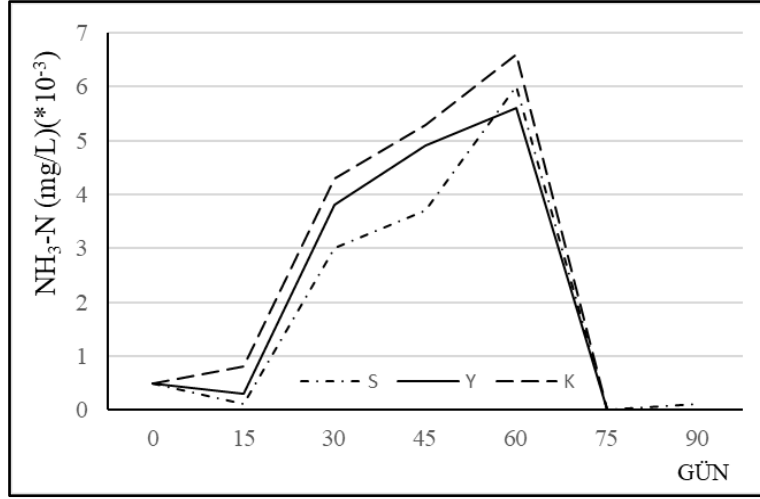


Şekil 26. Gruplarda 90 gün boyunca suyun elektriksel iletkenlik (EC) değeri değişimi.

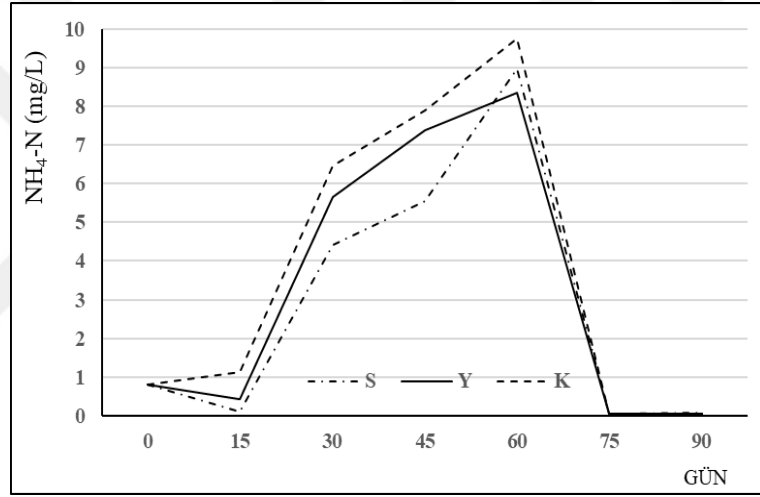


Şekil 27. Deneme süresince gruplarda bulanıklık (NTU) değişimleri.

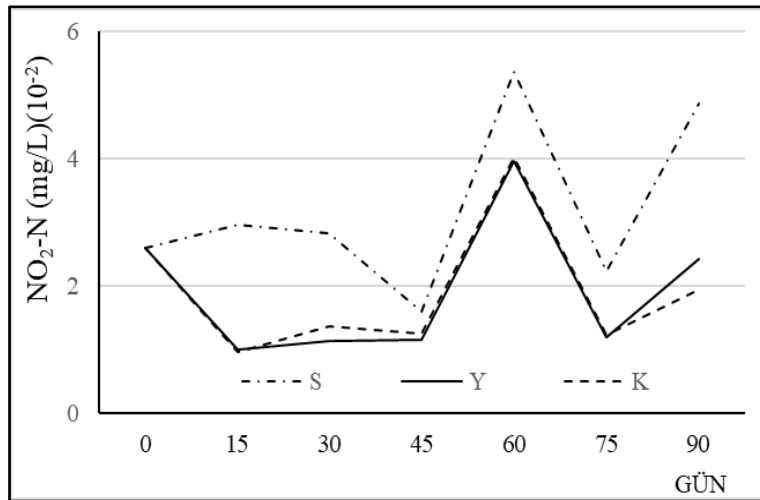
Suda çözünen metabolitler, biyo-filtrasyon aktivasyonu sonucunda önce nitrite, ardından nitrata dönüştürülmektedir. S, Y ve K gruplarındaki zamansal amonyum, amonyak, nitrit, nitrat ve fosfat değerlerinin değişimi Şekil 28-32’de gösterilmiştir.



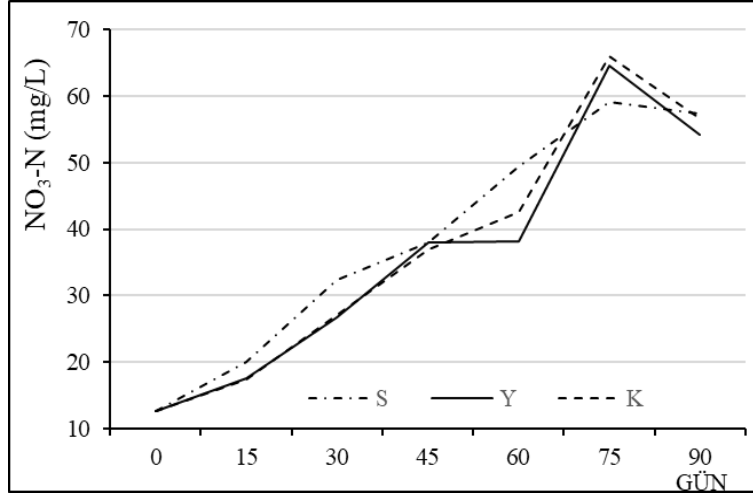
Şekil 28. Deneme süresince gruplarda amonyak azotu ($\text{NH}_3\text{-N}$) değişimi.



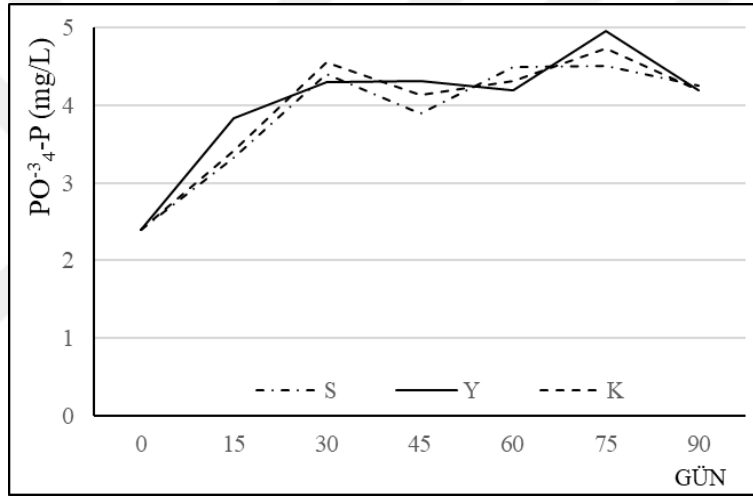
Şekil 29. Deneme süresince gruplarda amonyum azotu ($\text{NH}_4\text{-N}$) değişimi.



Şekil 30. Deneme süresince gruplarda nitrit azotu ($\text{NO}_2\text{-N}$) ($\times 10^{-2}$) değişimi.



Şekil 31. Deneme süresince gruplarda nitrat azotu ($\text{NO}_3\text{-N}$) değişimi.



Şekil 32. Deneme süresince gruplarda fosfat ($\text{PO}_4\text{-P}$) değişimleri.

3.3. Balık ve Bitki Gelişim Performansları

3.3.1. Sıvı Vermikompostun Sazan Yetiştiriciliğine Etkileri

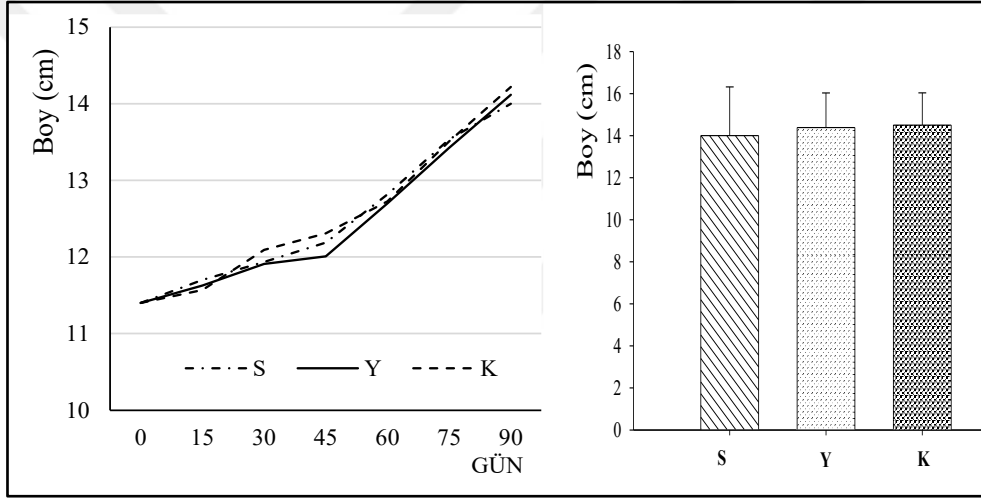
Sıvı vermikompost doğrudan suya ilave edilen gruptaki balıkların boy ve ağırlık gelişimleri, diğer gruplara benzer sonuçlar vermiştir. Ara periyot ölçümleri de benzerlik göstermiştir (Şekil 33 ve Şekil 34). Çalışma başında ve sonunda balıklarda bireysel ölçümlerde elde edilen boyca ve ağırlıkça farklılaşma Tablo 7 ve Tablo 8' de sunulmuştur.

Bu sonuçlara göre, amonyak, nitrit ve nitrat gibi toksik bileşenler içeren sıvı vermikompost'un 90 gün boyunca balık gelişimi üzerinde olumsuz bir etkisinin

olmadığı sonucuna varılmıştır. Her bir akuaponik sistem, çalışma sonunda yaklaşık 5,08 kg/m³ stoklama yoğunluğuna ulaşmıştır. Deneme sonunda, grupların boy ve ağırlık açısından benzer oldukları belirlenmiştir ($p>0,05$).

Tablo 7. Deneme başında ve sonunda balıklarda bireysel ölçümlerde elde edilen boyca farklılaşma ($P>0,05$).

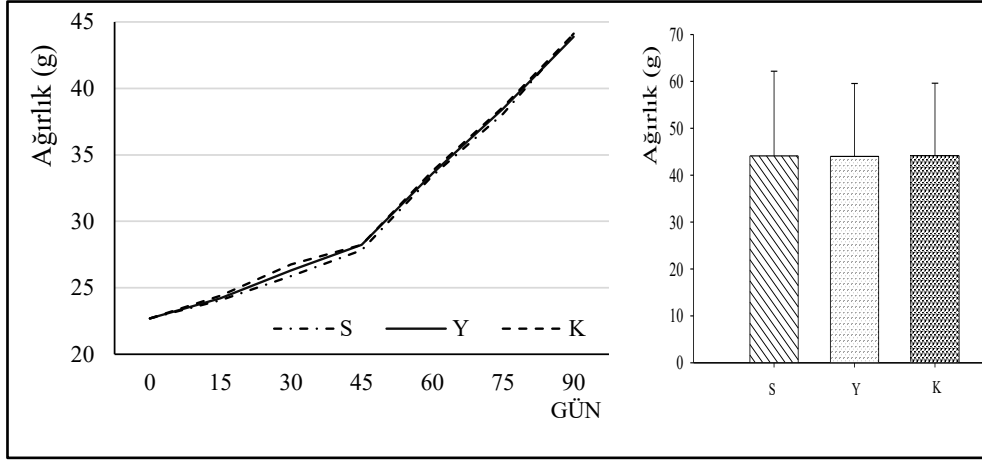
Gruplar	L _{başlangıç} (cm)	L _{son} (cm)
Sıvı vermikompost (S)	11,40±1,37	14,0± 2,32
Sıvı vermikompost (Y)	11,67±1,07	14,4± 1,65
Kontrol (K)	11,68±1,18	14,5± 1,54



Şekil 33. Deneme gruplarında 90 gün boyunca balıklarda boyca büyüme (sol), Çalışma sonunda grupların boy farklılaşması (sağ)

Tablo 8. Deneme başında ve sonunda balık gruplarının ağırlıkça farklılaşması ($P>0,05$).

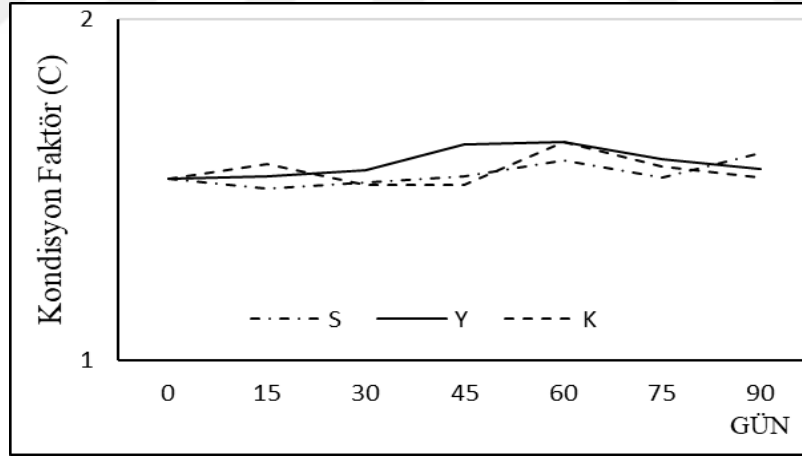
Gruplar	W _{başlangıç} (g/Adet)	W _{son} (g/Adet)
Sıvı vermikompost (S)	22,70±9,26	44,12±18,06
Sıvı vermikompost (Y)	22,82±7,97	44,01±15,54
Kontrol (K)	22,77±7,81	44,16±15,46



Şekil 34. 90 boyunca deneme gruplarında ağırlıkça gelişim (sol), Çalışma sonundaki gruplardaki ağırlık dağılımı (sağ)

3.3.2. Kondisyon Faktörü

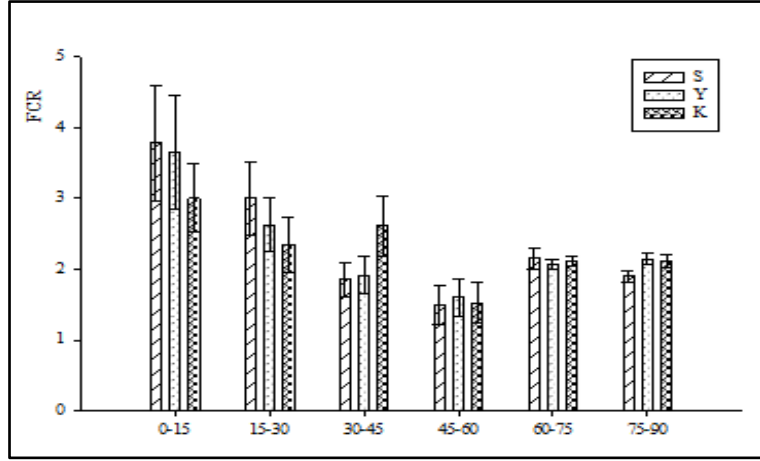
Balıklarda 15 günlük aralıklarla yapılan bireysel ölçüm değerlerinden grupların kondisyon faktörleri hesaplanmıştır. Y grubu balıkların kondisyon faktörü değerleri çalışma sürecinde yüksek seyretmişse de Suya vermikompost ilavesi grubunda (S) çalışma sonunda diğer grupların sayısal olarak önüne geçmiştir (Şekil 35).



Şekil 35. 90 boyunca deneme gruplarında kondisyon faktörü.

3.3.3. FCR

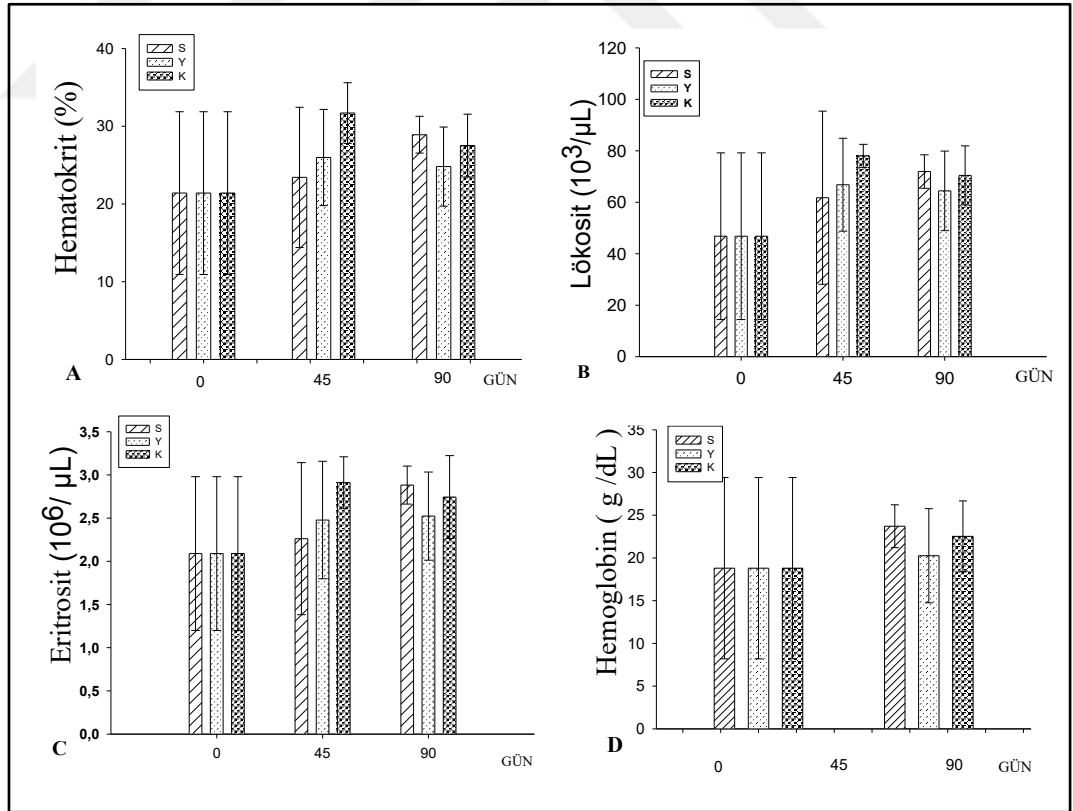
Her 15 günde bir gruplarda tüketilen yemler tartılmıştır. Toplam balık biyomaslarıyla oranlayarak grupların yem değerlendirme oranları hesaplanmıştır. Gruplar arasında istatistiki farklılık olmasa da en başarılı FCR değeri suya vermikompost ilavesi grubunda (S) tespit edilmiştir (Şekil 36).



Şekil 36. 90 boyunca deneme gruplarında FCR değerleri.

3.3.4. Hematolojik Analizler

Deneme gruplarında sıvı vermikompost ilavesinin balıkların fizyolojik değişimlerine etkileri takip edilmiştir. Gruplardan alınan kan numunelerinde, hematokrit oranı (HCT), lökosit (WBC), eritrosit (RBC) sayıları ve hemoglobin (HGB) düzeylerindeki değişimler Şekil 37'de sunulmuştur.

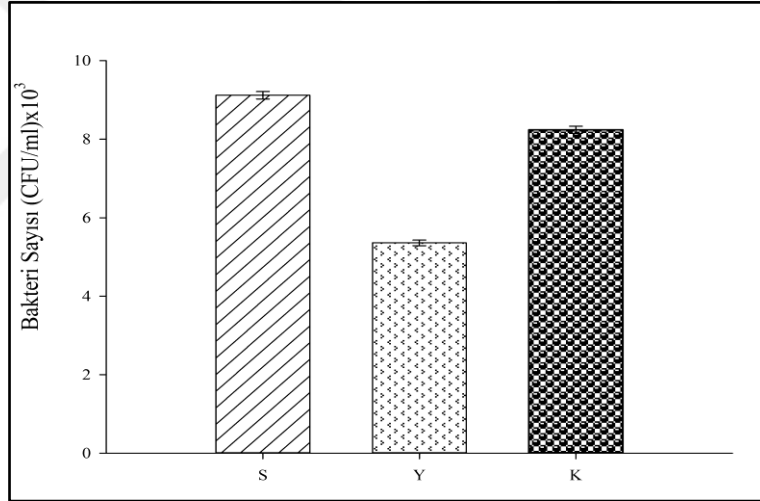


Şekil 37. Denemede S, Y ve K gruplarında Hematokrit oranları (HCT) (A), Lökosit (WBC) sayıları (B), Eritrosit (RBC) sayıları (C) ve Hemoglobin (HGB) değerleri (D) değişimleri ($P>0,05$).

Sıvı vermikompost ilavesine maruz kalan sazan balığının lökosit (WBC) sayısı, eritrosit (RBC) sayısı, hemoglobin (HGB) düzeyi ve hematokrit (HCT) değerlerinin, Y ve K gruplarına göre benzer olduğu gözlemlenmiştir. Gruplar arasında bu parametrelerde anlamlı bir farklılık bulunmamıştır ($p>0,05$).

3.3.5. Toplam Mezofilik Aerob Bakteri Sayıları

Denemede, S gruplarına sıvı vermikompost ilave edildikten sonra, tüm sistemde Toplam Mezofilik Aerob Bakteri Sayımı gerçekleştirilmiştir. S, Y ve K gruplarında sırasıyla $(9,12 \pm 0,096) \times 10^3$ CFU/ml, $(5,36 \pm 0,073) \times 10^3$ CFU/ml ve $(8,24 \pm 0,091) \times 10^3$ olarak ölçülen bakteri sayıları belirlenmiştir (Şekil 38). Genel olarak, sistemdeki Mezofilik Aerob Bakteri miktarlarının benzer şekilde dağıldığı gözlemlenmiştir.

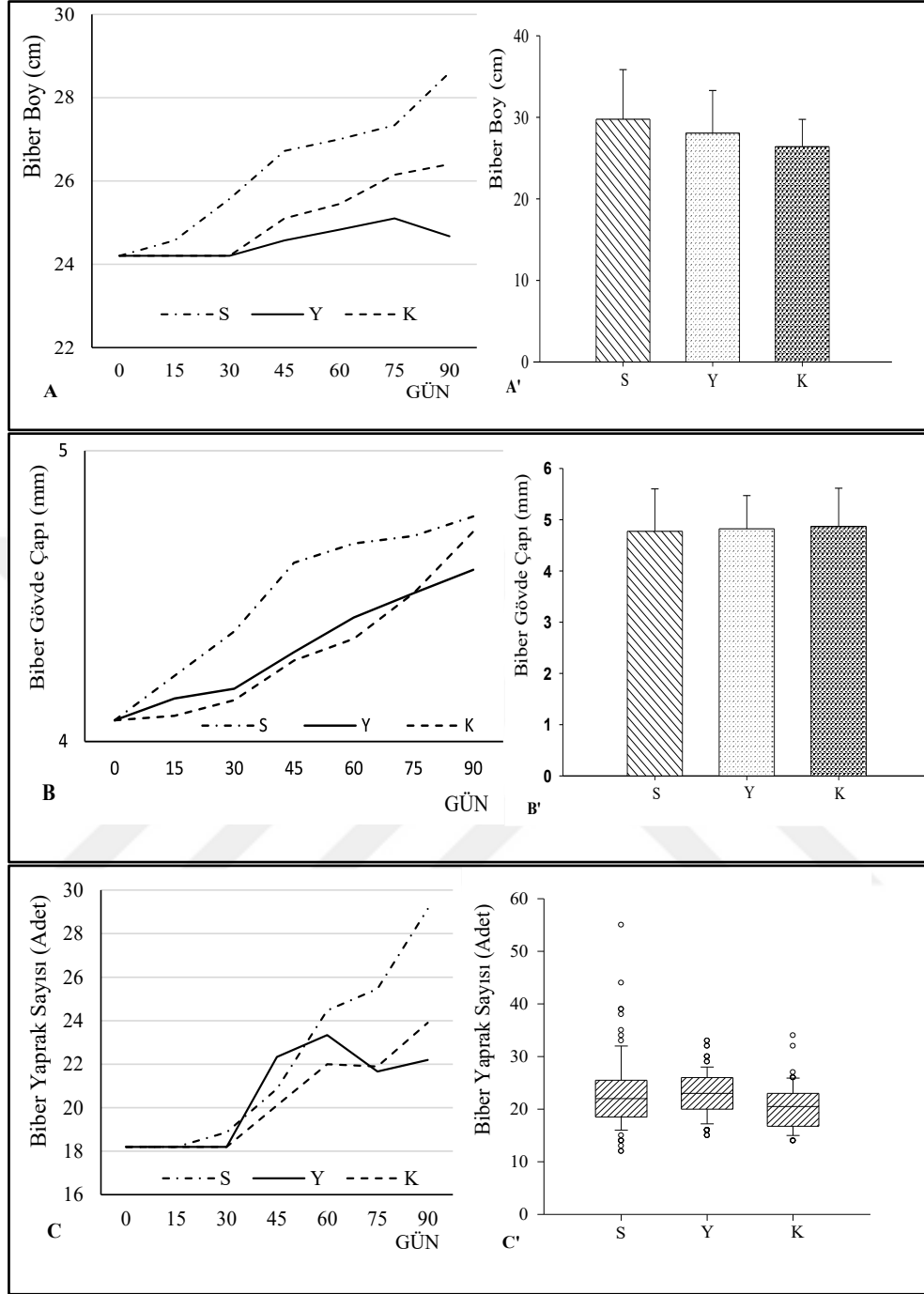


Şekil 38. Deneme gruplarında toplam mezofilik aerob bakteri sayıları

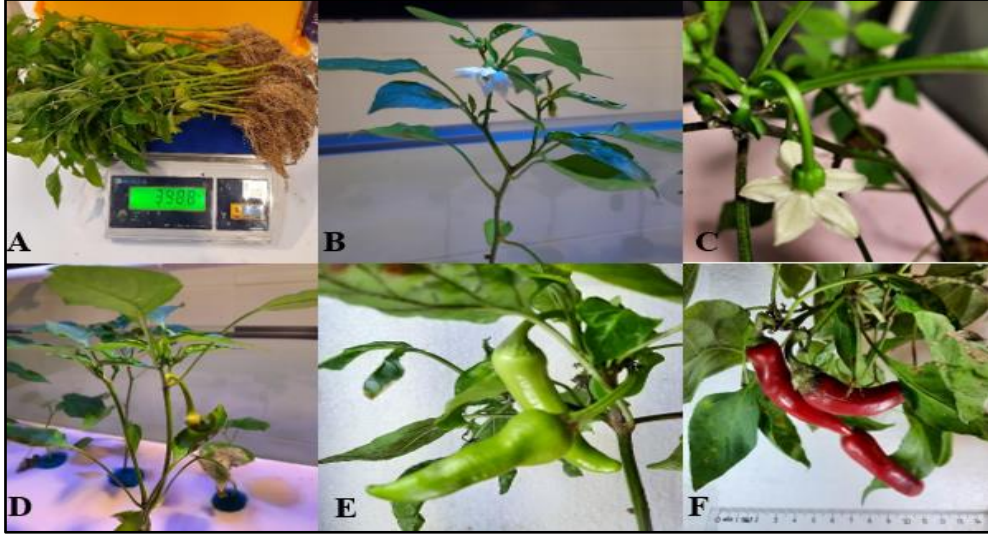
3.3.6. Sıvı Vermikompost 'un Bitki Gelişimine Etkileri

3.3.6.1. Biber Fideleri Gelişimi

Gövde çapı gelişimi, deneme süresince sudan zenginleştirme uygulamalarında belirgin bir şekilde gözlemlenmiştir. 90 günlük sürenin sonunda, gruplar arasında bitki gövde çaplarında rakamsal farklılıklar gözlemlense de istatistiksel olarak anlamlı bir farklılık bulunmamıştır ($p>0,05$) (Şekil 39). Biber bitkisine ait hasat edilen ürünlere ait görseller ise Şekil 40' de sunulmuştur.



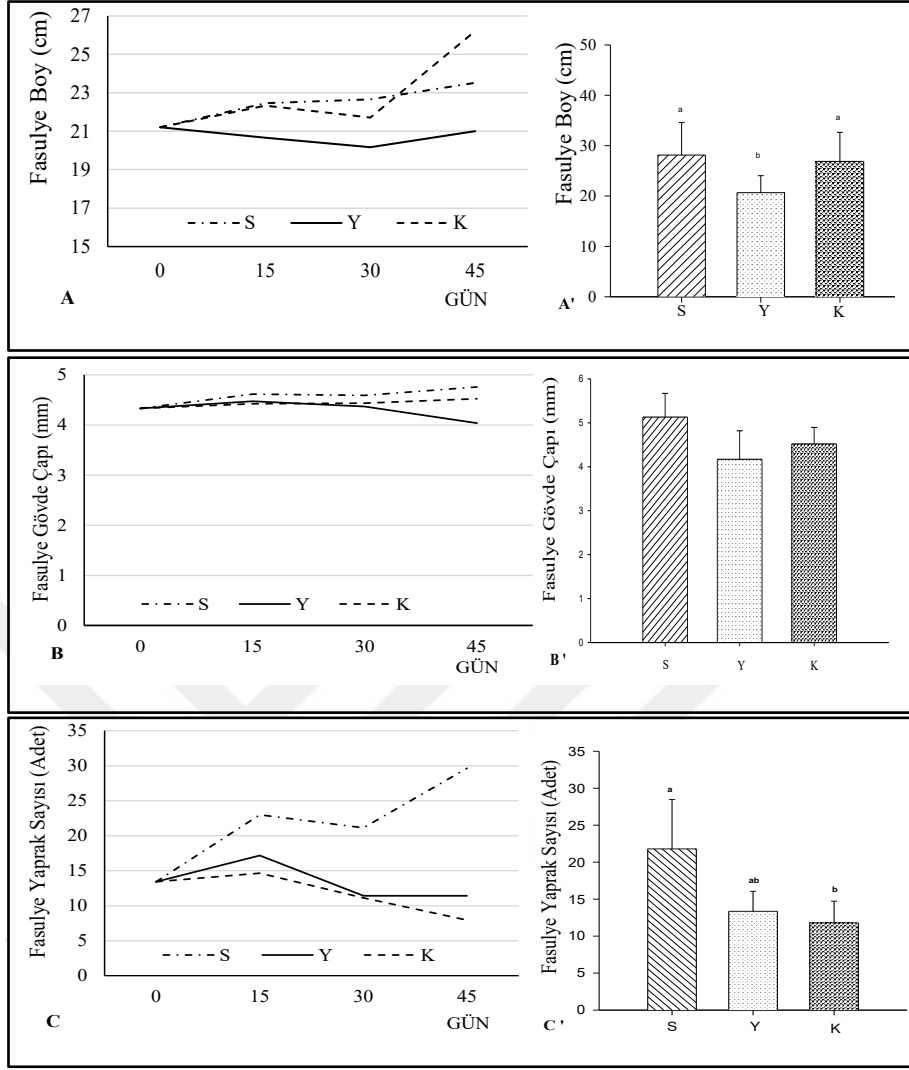
Şekil 39. Çalışma süresince Biber bitkisi fidelerinde ölçülen gelişim parametreleri (Sol resim), çalışma sonunda gruplar arasındaki farklılaşma (Sağ resim) ($P>0,05$). A-A': Boyca Büyüme, B-B': Gövde çapı, C-C': Yaprak sayısı.



Şekil 40. Akuaponik sistemde meyveli bitkilerden olan biberin gelişim safhaları. A: biber fidelerinin tartımı; B ve C: Biber fidelerinde çiçeklenme; D: Biber fidelerinde meyveye durma; E ve F: Olgunlaşmış biber meyveleri.

3.3.6.2. Fasulye Fideleri Gelişimi

Fasulye fidelerinin boyca büyümesinde, sudan zenginleştirme uygulaması rakamsal olarak iyi sonuçlar göstermiş olsa da istatistiksel olarak anlamlı bir farklılık bulunmamıştır (Şekil 41A). Gövde çapı gelişiminde ise en iyi sonuç, sudan zenginleştirme grubunda elde edilmiştir. Yapraktan spreyle zenginleştirme uygulamasında, 15. günden sonra kötüleşme ve bozulma gözlemlenmiştir (Şekil 41B). Çalışma sonunda, yapraktan zenginleştirme gruplarında gövde çapı zayıflaması en kötü duruma gelmiştir. Yaprak sayılarında ise sudan zenginleştirmenin istatistiksel olarak önemli derecede iyi geliştiği gözlenmiştir ($p < 0,05$) (Şekil 41C). Fasulye bitkisine ait hasat edilen ürünlere ait görseller ise Şekil 42’ de sunulmuştur.



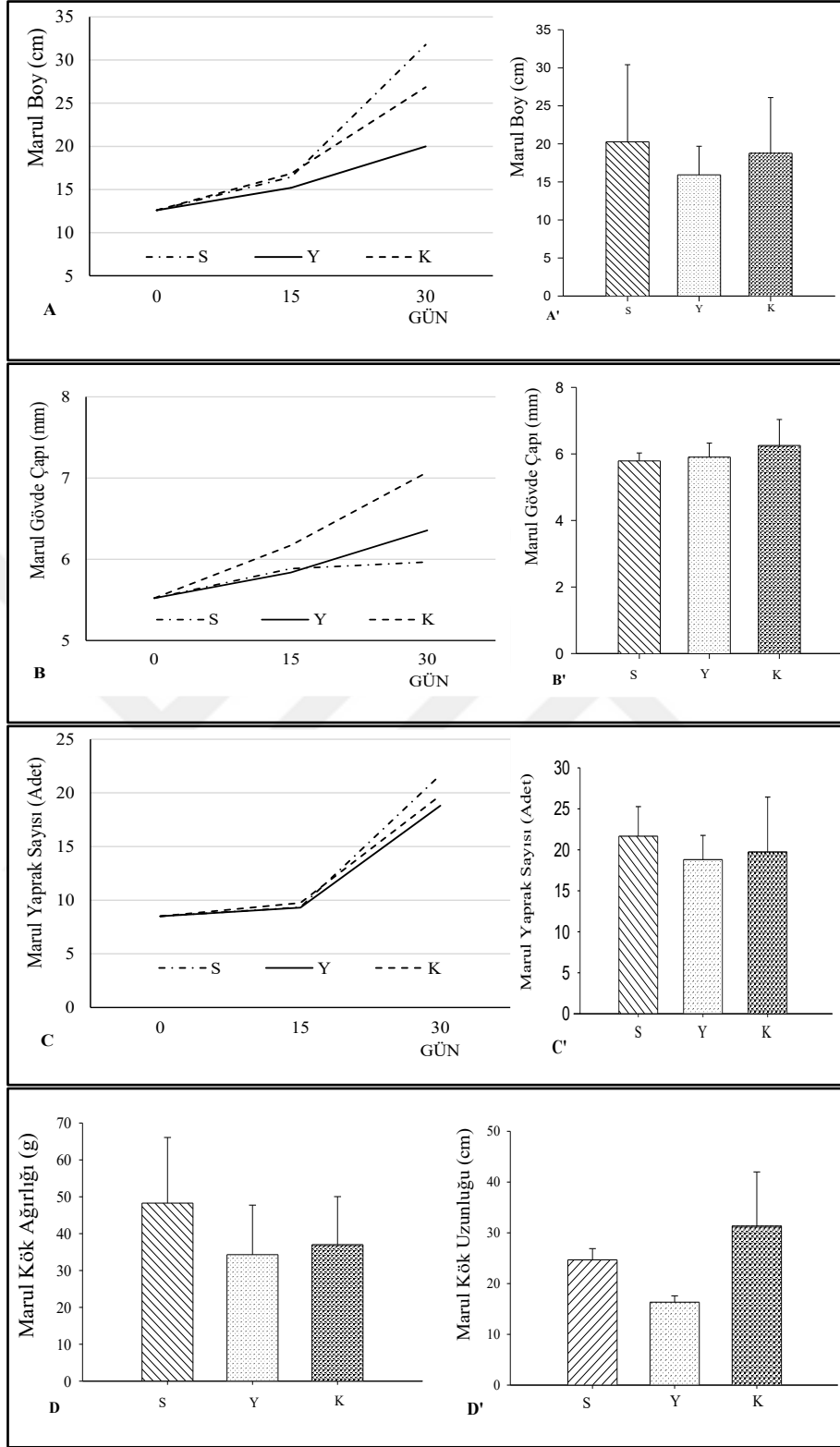
Şekil 41. Çalışma süresince Fasulye bitkisi fidelerinde ölçülen gelişim parametreleri (Sol resim), çalışma sonunda gruplar arasındaki farklılaşma (Sağ resim) ($P>0,05$). A-A': Boyca Büyüme, B-B': Gövde çapı, C-C': Yaprak sayısı.



Şekil 42. Akuaponik sistemde meyveli bitkilerden olan fasulyenin gelişim safhaları. A ve B: Fasulye fidesi; C: Fasulye fidelerinde çiçeklenme; D: Fasulye fidelerinde meyveye durma; E ve F: Olgunlaşmış fasulye meyveleri.

3.3.6.3. Marul Fideleri Gelişimi

Araştırmada, gruplardaki marul fideleri dikimden 30 gün sonra hasat aşamasına ulaşmıştır. Boyca büyümede, sudan zenginleştirme gruplarında en iyi gelişim gözlemlenirken, gövde çapı gelişiminde kontrol grupları rakamsal olarak nispeten başarılı bulunmuştur. Yaprak sayılarında ise 30 günlük gelişim sürecinde tüm gruplarda önemli bir farklılık oluşmamıştır. Hasat aşamasında, sudan zenginleştirme uygulamasında kök ağırlıkları bakımından nispeten başarılı bir gelişim gözlemlenmiş, kontrol grubu ve yapraktan zenginleştirme grupları ise benzer sonuçlar göstermiştir (Şekil 43). Marul bitkisine ait hasat edilen ürünlere ait görseller ise Şekil 44’ de sunulmuştur.



Şekil 43. Çalışma süresince marul fidelerinde ölçülen gelişim parametreleri (Sol resim), çalışma sonunda gruplar arasındaki farklılaşma (Sağ resim). A-A': Boyca Büyüme, B-B': Gövde çapı, C-C': Yaprak sayısı, D: Çalışma sonunda hasat edilen marulların kesilerek çıkarılan kök ağırlıkları ve D': kök uzunlukları ($P>0,05$).

Yapılan istatistiksel analizde, gruplar arasında bitki boyu ve gövde çapı açısından anlamlı bir farklılık gözlemlenmemiştir. Ancak, çalışma sonunda kesilen marul kökleri arasında anlamlı bir farklılık bulunmuştur. Sudan zenginleştirme grubu ile kontrol grubundaki bitki kök gelişimleri benzerken, yaprakdan zenginleştirme grubunun kök uzunluğu her iki gruptan da daha zayıf bulunmuştur ($p<0,05$).



Şekil 44. Akuaponik sistemde yapraklı bitkilerden olan marulun gelişim safhaları. A ve B: Marul fidesi; C: Marul fidelerinde Yapraklanma; D ve E: Marul fidelerinde büyüme; F: Hasat edilmiş marul.

4. TARTIŞMA, SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu doktora tezinde, akuaponik sistemlerde balık refahı ile bitki gelişiminin birlikte optimize edilebilmesi amacıyla iki ayrı deneme gerçekleştirilmiştir. Birinci denemede, geleneksel bir akuaponik düzende balık (akuakültür) ve bitki (hidroponik) komponentlerinin performansı ve etkileşimi incelenmiş; su kalitesi parametreleri, balık büyüme verimleri ile kan parametreleri ve aynı sistemde yetiştirilen *Lactuca sativa* (marul) ve *Lycopersicon esculentum* (domates) bitkilerinin gelişimi değerlendirilmiştir. İkinci denemede ise akuaponik sisteme sıvı vermikompost takviyesi yapılarak (hem sisteme suyu yoluyla hem de yaprak püskürtme ile) ek besin sağlamanın, balık büyümesi, balık sağlığı ve *Capsicum annuum* (biber), *Phaseolus vulgaris* (fasulye) ve *L. sativa* (marul) bitkilerinin gelişimi üzerindeki etkileri araştırılmıştır. Her iki denemenin ortak amacı, akuaponik sistemin hem akuatik canlı refahını koruyarak hem de bitkisel üretim kapasitesini artırarak daha verimli hale getirilebileceğine dair bilimsel kanıtlar ortaya koymaktır. Bu tartışma bölümünde, elde edilen bulgular literatürdeki çalışmalar ışığında karşılaştırmalı olarak ele alınmakta; su kalitesi dinamikleri, balık büyüme performansı, hematolojik değişimler ve bitki gelişimi yönlerinden sonuçlar değerlendirilmektedir. Ayrıca, özellikle ikinci denemede uygulanan sıvı vermikompost takviyesinin akuaponik sistem bütününe olan genel etkileri irdelenerek, bu uygulamanın sistem sürdürülebilirliği ve verimi üzerindeki potansiyel faydaları kapsamlı biçimde tartışılmaktadır. Son olarak, çalışmanın ortaya koyduğu sonuçlara dayanarak akuaponik sistemlerin geliştirilmesine yönelik öneriler sunulmaktadır.

4.1. Birinci Deneme (Sera Ortamı Denemeleri)

4.1.1. Su Kalitesi Değişimleri

Birinci denemede akuaponik sistem su kalitesi, zaman içindeki değişimleriyle birlikte yakından izlenmiş; pH, elektriksel iletkenlik (EC), amonyak ($\text{NH}_3/\text{NH}_4^+$), nitrit (NO_2^-), nitrat (NO_3^-) ve sıcaklık gibi temel parametreler ölçülmüştür. Çalışma sonunda elde edilen su kalite parametrelerinin, *C. carpio* yetiştiriciliği ile ilgili Çelikkale

(1988), Verep (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 (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.

Sistem elektriksel iletkenlik (EC) değeri, 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 $\text{EC} < 3000 \mu\text{S}/\text{cm}$ olması istenir (Soliman, 2022). Optimal EC bitkiye özgü olup çevresel koşullara bağlıdır. Genel olarak, yüksek EC, besin alımını engelleyerek ozmotik basıncı artırabilir, besin kayıplarına ve çevre kirliliğine neden

olabilir. Çok düşük EC seviyesi ise bitki sağlığını ve verimini olumsuz etkileyebilir (Ding vd., 2018). Akuaponik sistemlerde optimal elektriksel iletkenlik (EC) düzeyleri, bitki türüne bağlı olarak değişmektedir. Örneğin, *L.sativa* için 800-1200 $\mu\text{S}/\text{cm}$ ve *L.esculentum* için 2000-5000 $\mu\text{S}/\text{cm}$ olarak bildirilmiştir (Dorais vd., 2001; Wu vd., 2004; Samarakoon vd., 2020; Kappel vd., 2021; Hosseini vd., 2021; URL-3, 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. Sazan (*Cyprinus carpio*) yetiştiriciliğinde suyun bulanıklığı (turbidity, NTU) balık refahı ve yem alımı üzerinde önemli bir etkiye sahiptir. Bununla birlikte, çoğu doğal suyun bulanıklığı 50 NTU'dan daha düşüktür, fakat ölçülen değerler 1 NTU'dan daha az olabileceği gibi 1.000 NTU'dan fazla değerler de gösterebilmektedir (Boyd, 2015). Bu durum, özellikle ışık penetrasyonu ve oksijen çözünürlüğu açısından balık yetiştiriciliğinde dikkate alınması gereken bir faktördür. Araştırmalar, düşük ve orta düzeydeki bulanıklığın balıkların yem tüketimi ve metabolik aktiviteleri açısından elverişli olduğunu ortaya koymaktadır. 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. $\text{NH}_3\text{-N}$ 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; Das vd., 2004; Guan vd., 2010). $\text{NH}_4\text{-N}$ düzeyi, $\text{pH} \leq 7,0$ ise toksik olmayan $\text{NH}_4\text{-N}$ formunda kalırken, $\text{pH} > 7,0$ olduğunda toksik olan $\text{NH}_3\text{-N}$ formuna dönme eğilimi gösterir (Hasan ve Machintosh, 1986; Das vd., 2004; Verep, 2017). Bu çalışmadan farklı olarak, Hassan (2023), çalışmasında bitkisiz kontrol grubunda $\text{NH}_3\text{-N}$ 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 değerıyla birlikte $\text{NH}_3\text{-N}$

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.

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 (Verap vd., 2017), genel akuaponik sistemlerde NO_2 düzeyinin <1 mg/L altında olması gerektiği bildirilmiştir (Sallenava, 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 (2023), 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 literatürde belirtilen güvenli sınırların oldukça altındadır ve *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.

Özellikle sucul ortamlarda yüksek NO₃ 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 NO₃-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 NO₃-N düzeylerinin bile balıklarda zararlı bir durum oluşturmadığını bildirmiştir. Başka bir bildirimde ise marul-tilapia akuaponik isteminde NO₃-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 NO₃-N seviyeleri bildirmiştir. Bu çalışmada hem kontrol hem de akuaponik sistem gruplarında çalışma süresince NO₃-N düzeyleri literatürde bildirilen değerlerin (Çelikkale, 1988; Küçükağtaş, 2012; Mohale vd. 2020) altında ölçülmüştür (Şekil 13). Literatürle bildirilen farkın nedeni, çalışılan hayvan ve bitki türlerinin, çevresel şartların ve çalışma sürelerinin farklı olmasıyla ilişkilendirilebilir.

Özetle, birinci deneme boyunca su kalitesi parametreleri stabil ve canlı refahını destekleyici düzeyde kalmıştır. Ölçülen değerler, akuaponik literatüründe vurgulanan optimum aralıklara oldukça yakındır ve sistemde etkin bir biyolojik filtrasyon ile su değişimi yönetimi yapıldığını göstermektedir. Bu sağlam su kalitesi temeli, balıkların sağlıklı büyümesi ve bitkilerin topraksız ortamda gelişebilmesi için kritik önemdedir.

4.1.2. Balık gelişimi ve Besin kullanımı

Çalışma sonunda, yem tüketimi (YT) ve stok yoğunluğu (SY) bakımından gruplar arasında anlamlı fark bulunurken, kontrol grubunda bu değerlerin DM grubuna kıyasla daha yüksek olduğu belirlenmiştir. Kontrol grubunda balık boyu (Ls), canlı ağırlık (Ws), ağırlık artışı (AA), ortalama ağırlık artışı (AAO), spesifik büyüme oranı (SBO) ve kondisyon faktörü (KF) bakımından daha yüksek; yem dönüşüm oranı (FCR) açısından ise daha düşük değerler elde edilmesine karşın, DM grubuyla aralarında istatistiksel olarak anlamlı bir fark belirlenmemiştir (P>0,05).

Bu çalışmadan farklı olarak, Mao ve arkadaşları (2023), *Carassius auratus* türünde yürüttükleri araştırmada, RAS grubunda akuaponik gruba göre daha düşük Ws, SBO ve AAO değerleri bildirmiş, yaşama oranlarının ise çalışmamızla benzer

olduğu tespit edilmiştir. Khalil ve arkadaşları (2022), akuaponik sistemde *Oreochromis niloticus* ve *Cyprinus carpio*'nun birlikte ve ayrı ayrı yetiştirildiği çalışmada, *C. carpio* için KF değerini 1,4; SBO değerini %2,5–2,6 aralığında; FCR değerini ise 1,3–2,0 aralığında rapor etmişlerdir.

Hassan (2023), farklı sebzelerin filtrasyon bitkileri olarak kullanıldığı akuaponik sistemde sazan (*Cyprinus carpio*) balığının su kalitesi ve büyüme performansı üzerindeki etkilerini değerlendirmiştir. Çalışmada, bitkisiz gruptaki Ws, AA ve SBO değerlerinin bitkili gruplara göre daha düşük; buna karşın FCR ve KF değerlerinin daha yüksek olduğu bildirilmiştir. Bu sonuçlar, mevcut çalışmamızdan farklılık göstermektedir.

Cordeli ve arkadaşları (2021), RAS sisteminde stok yoğunluğunun gelişim parametreleri üzerindeki etkisini inceledikleri çalışmada, 3,50 kg/m³ yoğunluğa sahip V4 grubunda FCR değerini 3,69; SBO değerini ise %1,80 olarak bildirmişlerdir. Bu değerler, çalışmamızda elde edilen değerlerden daha yüksektir. RAS sistemlerinde farklı stok yoğunluklarının balık gelişimi üzerindeki etkilerini irdeleyen Enache ve arkadaşları (2011), *C. carpio* için 50,62–95,54 kg/m³ aralığında stoklama yaparak, optimum SBO ve FCR değerlerinin 32 kg/m³ stok yoğunluğunda sağlandığını belirtmişlerdir. Benzer şekilde, Menezes ve arkadaşları (2015), *Rhamdia quelen* (gümüş kedi balığı) ile yürüttükleri araştırmada, 16–32 kg/m³ yoğunluklarda herhangi bir olumsuz etki gözlemlenmemiş ve bu aralığın balık refahı açısından uygun olduğunu ortaya koymuşlardır.

Mevcut çalışmada uygulanan stok yoğunluğu, literatürde bildirilen değerlerden daha düşük olmakla birlikte balık refahı açısından kabul edilebilir sınırlar içerisinde kalmıştır. Gruplar arasında gözlenen büyüme parametrelerindeki farklılıklar, balıkların farklı çevresel koşullar, beslenme düzeyleri ya da sistem tasarımlarında farklı büyüme performansları gösterebildiğini ortaya koymaktadır. Bu bağlamda, kontrol grubunda Ls, Ws, AA, AAO, SBO ve KF değerlerinin yüksek, FCR'nin ise düşük bulunması, bu grubun büyüme verimliliği açısından daha avantajlı olabileceğini düşündürmektedir. Öte yandan, çalışmada tüm balıklarda %100 yaşama oranının elde edilmesi, son derece olumlu bir bulgu olup, balık refahı açısından herhangi bir olumsuzluğun yaşanmadığını göstermektedir. Bu durum, çevresel koşulların iyi yönetildiğini,

balıkların düşük stres altında beslendiğini ve sistem bakımının yeterli düzeyde sağlandığını ortaya koymaktadır.

4.1.3. Hematolojik ve Biyokimyasal Değişimler

Hematolojik parametreler, balıkların sağlık durumu, fizyolojik yapısı, yaşadığı su kalitesi ve beslenme koşulları hakkında önemli bilgiler sunmaktadır. Yoğun akuakültür uygulamalarında balık sağlığının izlenmesi amacıyla bu parametrelerin düzenli olarak takip edilmesi önerilmektedir (Fazio vd., 2013). Balıklarda hematolojik değerler; tür, yaş, büyüklük, cinsiyet, üreme dönemi, su sıcaklığı ve çevresel stres faktörleri gibi birçok etmene bağlı olarak değişim gösterebilir (Yılayaz ve Bitmiş, 2002). Lökosit (WBC) hücreleri, organizmayı patojen mikroorganizmalara karşı koruduğu için bireyin fizyolojik ve patolojik durumunun değerlendirilmesinde kullanılabilir (Mohammadi vd., 2020). WBC düzeyinin yüksekliği genellikle bağışıklık sisteminin aktif olduğunu gösterir. Ancak, inflamasyon gibi durumlarda da WBC seviyeleri yükselebilir (Morgan ve Iwama, 1997; Czech vd., 2009). Eritrositler (RBC), dokulara oksijen taşıyan hemoglobin (HGB) içerir ve bu nedenle hayati fizyolojik fonksiyonlarda rol oynar (Ferhanoğlu, 2004). RBC düzeyi, balığın beslenme durumu, sağlık seviyesi ve çevresel koşullara bağlı olarak azalabilir (Çelik vd., 2006). RBC seviyeleri türlere göre farklılık göstermekte olup genel aralık $0,03 \times 10^3 - 5,3 \times 10^6 / \mu L$ 'dir (Fange, 1992; Hrubec ve Smith, 2010). *Cyprinus carpio*'da doğal ortamlardan elde edilen bireyler üzerinde yapılan çalışmalarda RBC değerlerinde farklılıklar saptanmıştır (Harikrishnan vd., 2003; Tabakoğlu, 2016; Tabakoğlu vd., 2020; Sanoesi vd., 2020). Bu tür için optimal RBC değeri $1,44 \times 10^6 / \mu L$ olarak bildirilmiştir (Tabakoğlu vd., 2020). Hematokrit (HCT) değeri, kandaki eritrositlerin hacimsel oranını yansıtır ve RBC düzeyine paralel değişir (Mohammadi vd., 2020). RBC, HGB ve HCT değerlerinin birlikte değerlendirilmesi, anemik durumların belirlenmesine katkı sağlar (Yılmaz, 2015).

Bu çalışmada, WBC, RBC, HGB ve HCT düzeyleri bakımından kontrol ve akuaponik gruplar arasında deney sonunda istatistiksel olarak anlamlı bir fark tespit edilmemiştir ($P > 0,05$). Bulgular, HGB, HCT ve WBC açısından Sanoesi vd. (2020) ve Harikrishnan vd. (2003) ile uyumlu; RBC açısından ise Tabakoğlu vd. (2020) ve Sanoesi vd. (2020) ile benzerlik gösterirken, Harikrishnan vd. (2003)'ün verileriyle

farklılık göstermiştir. Bu tür farklılıkların, su kalitesi, yemleme rejimi, biyolojik yapı, genetik farklılıklar ve sistem tasarımı gibi değişkenlerle açıklanabileceği düşünülmektedir.

Balıkların elektrolit dengesi açısından en çok incelenen iyonlar sodyum (Na^+) ve kalsiyum (Ca^{2+}) iyonlarıdır (Çelik, 2006). Kalsiyum; kemik ve diş yapısının temel bileşeni olmasının yanı sıra sinir ve kas işlevlerinin düzenlenmesinde, pıhtılaşma mekanizmalarında, enzim aktivasyonlarında ve hormonal iletide kritik rol oynar. Aynı zamanda, balığın yaşadığı çevre ile su/elektrolit dengesinin sağlanmasında görev alır (Uncumusaoğlu, 2018). Çelik (2006), kalsiyum düzeylerinin en düşük 0,60 mmol/L, en yüksek 14,30 mmol/L ve ortalama 3,64 mmol/L arasında olduğunu belirtmiştir. Dragomir vd. (2021), Ca^{2+} seviyesini 0,22–0,28 mmol/L; Chakraborti ve Mukherjee (1995), genç *C. carpio*'larda 3,15 mmol/L olarak bildirmiştir. Mevcut çalışmada ise gruplar arasında ortalama Ca^{2+} düzeyi bakımından anlamlı fark bulunmamıştır. Tespit edilen değerler, Çelik (2006)'nın belirttiği maksimum düzey hariç olmak üzere diğer çalışmalardan yüksek bulunmuştur. Bu farklılıkların, akuaponik ve RAS sistemlerinde uygulanan su yönetimi ve çevresel etmenlerden kaynaklanabileceği düşünülmektedir.

Sodyum iyonu, hücre dışı sıvının temel katyonudur ve vücut sıvısının dağılımını, osmotik basıncını ve kas-sinir iletimini etkiler. Na^+ iyonunun plazmadaki seviyeleri, sodyum-potasyum ATPase sistemi ile düzenlenir. Çelik (2006), sodyum düzeylerinin en düşük 61,80 mmol/L, en yüksek 264,80 mmol/L ve ortalama 162 mmol/L olduğunu rapor etmiştir. Uncumusaoğlu (2018), *C. carpio* bireylerinde bu değeri 210 mmol/L olarak belirlemiştir. Bu çalışmada, Na^+ düzeyleri açısından gruplar arasında anlamlı bir fark bulunmamıştır. Belirlenen en düşük değer olan 139,67 mmol/L, Çelik'in en düşük değeri ile farklılık gösterse de ortalama değerle uyumludur. Ayrıca Uncumusaoğlu (2018)'nin bulgularıyla da örtüşmektedir.

Stres durumları, balıklarda kortizol gibi hormon düzeylerinin değişmesine neden olur ve bu değişiklikler organizmada fizyolojik, morfolojik ve biyokimyasal tepkilere yol açar (Haond vd., 2003; Güleç ve Şahan, 2010). Kortizol, teleost balıkların kanında en yaygın ve biyolojik olarak en aktif glukokortikoid olup, stresin en önemli göstergelerindendir (Wojtaszek vd., 2002). Bu araştırmacılar, sağlıklı *C. carpio* bireylerinde kortizol düzeyinin 32,0–54,2 ng/mL arasında değiştiğini rapor etmişlerdir. Güleç ve Şahan (2010), stres uygulanan grupta ortalama 28,54 ng/mL, kontrol

grubunda ise 17,13 ng/mL düzeyinde kortizol tespit etmişlerdir. Baßmann vd. (2017), *Clarias gariepinus* türünde gerçekleştirdiği çalışmada kortizol seviyesini 10–12 ng/mL olarak bildirmiştir. Mao vd. (2023) ise *Carassius auratus* üzerinde gerçekleştirdikleri çalışmada, RAS sisteminde akuaponik sisteme göre anlamlı düzeyde daha yüksek kortizol seviyeleri saptamışlardır. Bu çalışmada ise, Wojtaszek vd. (2002)'nin belirttiği maksimum düzey hariç, literatürdeki diğer çalışmalara kıyasla daha yüksek kortizol düzeyleri ölçülmüştür. Bu durum, akuaponik ve RAS sistemlerinin çevresel koşulları, su kalitesi değişimleri, stok yoğunluğu, sıcaklık dalgalanmaları ve yemleme farklılıkları gibi çok sayıda faktörün bir araya gelerek balıklarda stres yanıtını artırmasına bağlanabilir. Bu nedenle, söz konusu sistemlerde yönetimsel ve çevresel koşulların etkisiyle stresin daha belirgin hâle gelebileceği ve kortizol düzeylerinin yükselmesine neden olabileceği değerlendirilmektedir.

4.1.4. Bitki gelişimi

L. esculentum yetiştiriciliğinde çevresel faktörler, özellikle sıcaklık ve ışık, bitkinin gelişim performansını belirleyen temel parametreler arasında yer almaktadır (Çeçen ve Çakmakçı, 1996; Odabaş vd., 2007; Tüzel ve Gül, 2008; Tüzel vd., 2019). Optimal gelişim için önerilen sıcaklık aralığı 20–25 °C (Özkaplan ve Balkaya, 2021), ışık yoğunluğu ise 200–500 µmol/m²/s olarak bildirilmektedir (Linn, 2024). Özkaplan ve Balkaya (2021), ışık şiddetinin 96,10 µmol/m²/s'den 455,93 µmol/m²/s'ye çıkmasıyla meyve birim ağırlığında doğrusal bir artış yaşandığını rapor etmiştir. Öte yandan, ortam sıcaklığının yükselmesi ve ışığın yetersizliği, çiçek tutunması ve meyve verimini olumsuz etkileyebilmektedir (Odabaş vd., 2007).

Bu çalışmada güneşli ve yağışlı günlerde ölçülen ışık şiddetlerinin literatürde önerilen değerlerle kısmen uyumlu olduğu görülmüştür. Ancak, 60. ve 130. günler arasında sera içi sıcaklığının 27,4–33,6 °C aralığında ölçülmesi, önerilen sıcaklık limitlerinin üzerine çıktığını göstermiştir. Odabaş vd. (2007)'nin bildirimine paralel olarak, bu durum *L. esculentum* gelişimini olumsuz etkilemiş; çiçeklenme sürecinin tamamlanamadan çiçek dökülmesiyle sonuçlanarak meyve veriminin düşmesine neden olmuştur. Elde edilen meyve ağırlıklarının, Özkaplan ve Balkaya (2021)'nin verileriyle farklılık göstermesi, bu sıcaklık kaynaklı stresle açıklanabilir. Açık alanda yapılan topraklı yetiştiricilikte fide dikiminden sonraki ilk hasadın 80–100 gün

arasında gerçekleştiği, tohumdan itibaren ise 4,5–5 ay içinde ilk hasadın yapıldığı bildirilmektedir (Kaygısız ve Aybak, 2004; Kasap, 2010; URL-4, 2024). Mevcut çalışmada ise ilk hasat 90. günde başlamış ve 165. gune kadar srmuştur. Bu süre, literatürle genel olarak örtüşmektedir.

Lactuca sativa yetiştiriciliğinde önerilen sıcaklık aralığı 7–24 °C iken, optimum gelişim sıcaklığı 15–18 °C olarak belirtilmiştir (Eşiyok, 2012). Işık yoğunluğu açısından önerilen aralık 250–500 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ olup (Massa vd., 2008; akırer vd., 2017), uygun çevresel koşullarda 2–3 ay içinde hasat aşamasına ulaşabildiği ifade edilmektedir (Aybak, 2002). Ayrıca, en uygun sıcaklık değerinin 15,5–18,3 °C olduğu, bu değerin üzerine çıkıldığında vejetatif fazdan tohumlanma evresine geçişin hızlandığı vurgulanmıştır (Aybak, 2002; URL-4, 2024).

Bu çalışmada üç ayrı dönemde fide dikimi yapılmış ve her dönemde fideler 30–45 gün içinde hasat edilebilir büyüklüğe ulaşmıştır. Bu srelerin literatürde bildirilen gelişim aralıklarıyla uyumlu olduğu belirlenmiştir. Ayrıca, llen ışık şiddeti değerlerinin önerilen sınırlar içinde kaldığı tespit edilmiştir. *L. sativa* fidelerinin büyüme performansı, Aybak (2002) ve URL-4 (2024)'nin belirttiği gibi, sıcaklığın 18 °C'nin üzerine çıkmasıyla birlikte jeneratif gelişimin de başlamasıyla ilişkilendirilebilir. Bu durum, sıcaklığın bitki gelişimindeki belirleyici rolünü bir kez daha ortaya koymaktadır.

Akuaponik sistemler, balık ve bitki üretimini entegre eden, çevresel sürdürülebilirliği yüksek üretim modelleridir. Christopher vd., (2014), kapalı sistemlerde kullanılan tank suyunun, içerdiği zengin besin elementleri sayesinde bitki yetiştiriciliği için uygun bir ortam sunduğunu belirtmiştir. Mevcut çalışmada elde edilen bulgular da sazan balığı (*Cyprinus carpio*) yetiştiriciliğinde kullanılan sistem suyunun hem *L. esculentum* hem de *L. sativa* retimi için başarıyla kullanılabileceğini göstermiştir.

Çalışmada sera içi sıcaklık ortalaması $23,78 \pm 0,59$ °C olarak ölçülmüş olup, bu değer önerilen aralığın sınırlarında kalmakla birlikte kabul edilebilir düzeydedir. Bitki köklerinin içinde bulunduğu sistem suyu sıcaklığının maksimum 24,33 °C'ye ulaşması da bitki yaşamsal dayanıklılığı açısından destekleyici olmuştur. Ancak, sera ortamındaki yüksek sıcaklık özellikle *L. esculentum* zerinde olumsuz etki yapmış ve verim kaybına neden olmuştur. Bu nedenle, akuaponik sistemlerde sıcaklık kontrolü

yalnızca balık refahı değil, aynı zamanda bitki gelişimi açısından da kritik bir unsur olarak değerlendirilmelidir.

4.2. İkinci Deneme (İç Mekân Deneme Ortamı)

Bu çalışmada, iç mekâna (indoor) kurulan akuaponik sistemde, balık yetiştiriciliğinden kaynaklanan bitki besin elementi eksikliklerinin, sıvı vermikompostun yapraktan ve sudan uygulanması yoluyla giderilme olasılığı araştırılmıştır. 440 L hacmindeki sistemde, suya 1 ml/L oranında sıvı vermikompost eklenmiştir. Sistem bileşenleri olarak sazan, biber, marul ve fasulye kullanılmış; tüm bileşenlerin gelişimi 90 gün boyunca izlenmiştir.

4.2.1. Su Kalitesi Değişimi

Su sıcaklığı ve çözünmüş oksijen düzeyi, balık ve bitki gelişimi açısından hayati çevresel parametrelerdir. Çalışma süresince tüm gruplarda su sıcaklığı 21,5–25,2 °C aralığında değişmiş (Şekil 23), çözünmüş oksijen düzeyleri ise balık tankı çıkışında 6,95–8,27 mg/L aralığında ölçülmüştür (Şekil 25). Sazan yetiştiriciliğinde çözünmüş oksijenin 3 mg/L'nin altına düşmesi veya sıcaklığın 19 °C'nin altına inmesi, yem alımında azalma ve büyüme yavaşlamasının olacağı bildirilmiştir. Öte yandan, sıcaklığın 30 °C'yi aşması durumunda suyun gaz tutma kapasitesi azalmakta, mikroorganizma faaliyeti ve çürükçül süreçler artmakta, bu da balıkların metabolik oksijen ihtiyacını yükselterek strese yol açmaktadır (Mohale vd., 2020; Korkmaz, 2004; Çelikkale, 1988).

Kapalı devre sistemlerde suyun pH değeri, özellikle amonyum–amonyak dengesi açısından kritik bir parametredir. pH'nın nötr seviyenin üzerine çıkması, sudaki daha az toksik olan amonyum formunun daha toksik olan amonyağa dönüşmesine neden olabilir (Serezli, 2011; Küçükağtaş, 2012). Çalışmanın ilk periyotlarında, karbondioksit salınımı ve biyolojik filtrasyondaki biyokimyasal reaksiyonlar sonucu pH nötr seviyelerde seyretmiştir. Ancak ilerleyen dönemde pH değerlerinde belirgin düşüş gözlenmiş ve 5. gün itibarıyla 5,63 seviyelerine inmiştir (Şekil 24). Sazan için optimum pH aralığı 7,5–8,0; kabul edilebilir sınırlar ise 6,5–9,0 olarak bildirilmiştir (Mohale vd., 2020; Korkmaz, 2004; Çelikkale, 1988). Hidroponik sistemlerde ise bitki gelişimi için önerilen pH aralığı 5,5–6,8'dir (Tyson vd., 2004). Bu

nedenle pH'yı dengelemek amacıyla suya düzenli olarak sodyum hidroksit (NaOH) ilave edilmiş ve pH değeri 7 seviyesine yakın tutulmuştur.

Bitki gelişimi için önerilen maksimum elektriksel iletkenlik (EC) değeri 3.000 $\mu\text{S}/\text{cm}$ 'dir (Rakocy vd., 2010; Soliman, 2022). Suda sıvı vermikompost uygulanan grupta, 1 ml/L dozla EC değeri 504 $\mu\text{S}/\text{cm}$ 'ye yükselmiştir. Başlangıçta kontrol ve yapraktan uygulama yapılan gruplarda EC değeri 300–323 $\mu\text{S}/\text{cm}$ aralığında ölçülmüştür. Çalışma sonunda, kontrol grubunda EC değeri 1.004 $\mu\text{S}/\text{cm}$, yapraktan uygulama yapılan grupta 927 $\mu\text{S}/\text{cm}$, sudan uygulama yapılan grupta ise 1.095 $\mu\text{S}/\text{cm}$ olarak belirlenmiştir (Şekil 26). Her üç grupta da ölçülen EC değerleri önerilen sınırların altında kalmıştır ve istatistiksel analizler bu farklılıkların anlamlı olmadığını göstermiştir ($P>0,05$).

Akuaponik sistemlerde sindirim süreci sonucu oluşan toksik metabolitler, özellikle amonyak ve nitrit, balık gelişimini olumsuz etkileyebilir. Bu parametrelerin tolere edilebilir üst sınır değerleri sazan için sırasıyla $<0,6 \text{ mg/L}$ ve $<1-2 \text{ mg/L}$ olarak belirtilmiştir (Mohale vd., 2020; Korkmaz, 2004; Çelikkale, 1988).

Amonyak, akut koşullarda 2,33 mg/L ve kronik koşullarda 1,03–1,74 mg/L aralığında ölüme yol açabilmektedir (Hasan ve Machintosh, 1986; Guan vd., 2010; Das vd. 2004). Ayrıca, pH'nın 7'nin üzerine çıkması amonyumun amonyağa dönüşme oranını artırarak toksisiteyi yükseltmektedir (Korkmaz, 2004; Das vd., 2004; Hasan ve Machintosh, 1986). Çalışma başlangıcında tüm gruplarda amonyak düzeyleri düşük seviyelerde seyrederken, yemleme uygulamasının başlamasıyla birlikte ikinci periyottan itibaren artış gözlenmiş ve 60. günde maksimum değer olarak $6,5 \times 10^{-3} \text{ mg/L}$ 'ye ulaşmıştır. Bununla birlikte, gözlemlenen amonyak azotu konsantrasyonu toksik seviyelere erişmemiştir (Şekil 28).

Nitrit düzeyleri, çalışma süresi boyunca gruplar arasında genel olarak sabit kalmıştır (Şekil 30). Bu durum, biyofiltrasyon sisteminin biyolojik dönüşüm açısından etkin çalıştığını göstermektedir. Nitrit azotu başlangıçta tüm gruplarda 0,025 ppm seviyesindeyken, deney sonunda S grubunda diğer gruplara kıyasla daha yüksek gözlemlenmiştir. Bu artışın, suya eklenen sıvı vermikompostla ilişkili olduğu düşünülmektedir. Ancak istatistiksel analiz sonucunda gruplar arasındaki fark anlamlı bulunmamıştır ($P>0,05$). Nitrit seviyelerinin düşük kalması, sistemin biyolojik filtrasyon başarısının göstergesidir.

Nitrat seviyesi, 75. gün itibarıyla en yüksek değeri olan 66,04 mg/L'ye ulaşmış (Şekil 31), 90. günde ise 55–57 mg/L seviyelerine gerilemiştir. Bu değerler, balık gelişimi üzerinde olumsuz bir etki oluşturmazken, bitkiler tarafından kullanılabilir formda azot içeriği sağlamıştır (Sallenave, 2016). Ilıman su balıklarında 182 mg/L nitrat azotunun 24–96 saat içerisinde %50 ölüm oranına neden olabileceği bildirilmektedir (Lewis W.M. ve Morris, 1986).

Sistem suyundaki fosfat içeriği, çalışma başlangıcında 2,3 mg/L düzeyinde ölçülmüş; 75. gün itibarıyla 4,5–4,9 mg/L seviyelerine yükselmiştir. Bu düzeyler, Çelikkale (1988), Emre ve Kürüm (2007) ve Dragomir vd. (2021) tarafından bildirilen sınır değerlerin altında kalmış, balık ve bitki gelişimini olumsuz etkileyecek düzeyde bulunmamıştır (Şekil 32).

4.2.2. Balık Gelişimi

Sıvı vermikompostun sudan uygulanmasının balıklar üzerinde potansiyel toksik etkilere yol açıp açmadığını değerlendirmek amacıyla ön denemeler gerçekleştirilmiştir. Yüksek konsantrasyonlarda yapılan uygulamalarda balıklarda davranışsal değişiklikler, olağandışı hareketler ve stres belirtileri gözlemlenmiştir. Ancak, 2 ml/L konsantrasyon düzeyinde herhangi bir davranışsal anomali rapor edilmemiştir. Görsel bulanıklık açısından değerlendirildiğinde ise, 1 ml/L dozunun kabul edilebilir sınırlar içinde kaldığı belirlenmiş ve bu konsantrasyon, S grubunda uygulanacak ideal sıvı vermikompost miktarı olarak tercih edilmiştir. 90 gün süren uygulama boyunca, S grubu da dâhil olmak üzere tüm deney gruplarında herhangi bir davranış bozukluğu veya balık ölümü kaydedilmemiştir.

Deney düzeneği, her biri $57,5 \times 111 \times 40$ cm ebatlarında olan sump filtre, bitki yetiştirme yatağı ve balık yetiştirme tanklarından oluşmaktadır. Hava payları hariç sistemin toplam su kapasitesi 440 L'dir. Çalışma başlangıcında S, Y ve K gruplarına sırasıyla $22,70 \pm 9,26$ g/adet, $22,82 \pm 7,97$ g/adet ve $22,77 \pm 7,81$ g/adet ağırlığında toplam 25 adet sazan (*Cyprinus carpio*) yerleştirilmiştir. Bu değerler doğrultusunda, başlangıç stok yoğunlukları sırasıyla $2,62 \text{ kg/m}^3$, $2,63 \text{ kg/m}^3$ ve $2,62 \text{ kg/m}^3$ olarak hesaplanmıştır. Çalışma sonunda balıkların ortalama ağırlıkları sırasıyla $44,12 \pm 18,06$ g/adet (S), $44,01 \pm 15,54$ g/adet (Y) ve $44,16 \pm 15,46$ g/adet (K) olarak belirlenmiş,

stok yoğunlukları ise sırasıyla 5,08 kg/m³, 5,07 kg/m³ ve 5,09 kg/m³ seviyelerine ulaşmıştır.

Literatürde, farklı RAS sistemlerinde 18–30 kg/m³ (Enache vd., 2011), 32 kg/m³ (Mugwanya vd., 2022) ve 2–6 kg/m³ (Cordeli vd., 2021) stok yoğunluklarında başarılı balık gelişimleri bildirilmiştir. Bu bağlamda, çalışmada ulaşılan yaklaşık 5 kg/m³ düzeyindeki stok yoğunluğunun, literatürde önerilen sınırlar içinde kaldığı ve balık refahını olumsuz yönde etkilemeyecek seviyede olduğu değerlendirilmiştir.

Başlangıçta S, Y ve K gruplarındaki balıkların ortalama boy uzunlukları sırasıyla 11,40 ± 1,37 cm, 11,67 ± 1,07 cm ve 11,68 ± 1,18 cm olarak ölçülmüştür. Deneme sonunda bu değerler sırasıyla 14,0 ± 2,32 cm, 14,4 ± 1,65 cm ve 14,5 ± 1,54 cm'ye ulaşmıştır. Gruplar arasında hem boy hem de ağırlık açısından büyüme farklılıkları gözlemlenmiş olsa da bu farklılıklar istatistiksel olarak anlamlı bulunmamıştır (P>0,05) (Şekil 33 ve Şekil 34).

4.2.3. Kondisyon Faktörü

Balıkların boy ve ağırlıkları arasındaki ilişkiyi ortaya koyan kondisyon faktörü, balık gelişimini değerlendirmede önemli bir göstergedir (Çelikkale, 1988; Yılmaz vd., 2012). Bu çalışmada deney sonunda hesaplanan kondisyon faktörü değerleri 1,50–1,64 aralığında değişim göstermiştir. Önceki bazı araştırmalarda 2,1 gibi daha yüksek kondisyon faktörleri bildirilmiştir. Örneğin Mohammed vd. (2019) ve Yılmaz vd. (2010), doğal ortamdaki sazanlarında kondisyon faktörünü 1,4–2,3 aralığında rapor etmiştir (Yılmaz vd., 2012). Mevcut çalışmada elde edilen görece olarak düşük değerlerin, söz konusu çalışmalarda değerlendirilen bireylerin daha büyük olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir. Deneme balıklarında kondisyon faktörü 1,51–1,64 arasında değişmiş; boy ve ağırlık artışları benzer şekilde gerçekleşmiştir (Şekil 35). Elde edilen değerler, sazan için daha önce bildirilen 1,97 gibi yüksek değerlerle karşılaştırıldığında daha düşük bulunmuştur. Bu farkın, farklı büyüklükteki balıkların değerlendirilmesinden kaynaklandığı değerlendirilmektedir.

4.2.4. FCR

Sazan, dünya genelinde en yaygın yetiştirilen tatlı su balıklarından biridir (FAO, 2024b). Yetiştiricilikte en yüksek maliyet kalemlerinden biri yem gideridir.

Sazan balığının yemden yararlanma oranı; yaş, çevresel koşullar ve sistem türüne göre değişmekte olup, açık sistemlerde genç bireylerde 1,2'nin üzerinde, yetişkin balıklarda 1,5–3,0; RAS sistemlerde ise 1,8–3,6 aralığında FCR değerleri bildirilmiştir (Cordeli vd., 2021).

Bu çalışmada, başlangıç periyotlarında FCR değerleri 3,0–3,8 gibi nispeten yüksek düzeylerde bulunmuş, üçüncü periyottan itibaren bu değerler 1,8–2,5 aralığına gerilemiştir (Şekil 36). Yapılan istatistiksel analizlerde periyotlar arasında ve genel ortalama gruplar arasında anlamlı bir fark bulunmamıştır ($P>0,05$). FCR değerlerinin benzer seyretmesinin temel nedeni olarak, tüm gruplarda başlangıçta 2,6 kg/m³ olan stok yoğunluğunun, deney sonunda maksimum 5,09 kg/m³ seviyesine ulaşması gösterilmektedir. Ayrıca, oksijen düzeyi, besin elementleri, sertlik, sıcaklık ve pH gibi su kalite parametrelerinin sazan için önerilen sınırlar içinde kalması, balık gelişiminin gruplar arasında farklılaşmamasında etkili olmuştur.

4.2.5. Kan Parametreleri

Sazan balığına ait kan parametreleri daha önce çeşitli doğal kaynaklardan örneklenen bireyler üzerinde araştırılmıştır (Tabakoğlu, 2016; Tabakoğlu vd., 2020; Sanoesi vd., 2020; Harikrishnan vd., 2003; Teixeira vd., 2000). Bu çalışmada elde edilen hematokrit (HCT) değerleri, Sanoesi vd. (2020) ve Harikrishnan vd. (2003) tarafından bildirilen değerlerle benzerlik göstermiştir. Lökosit (WBC) düzeyleri ise Sanoesi vd. (2020) ve Harikrishnan vd. (2003)'nin bildirdiği değerlerden daha yüksek bulunmuştur. Bu farklılık, sistemin indoor (kapalı alan) akuaponik koşullarından kaynaklanmış olabileceği şeklinde yorumlanmıştır. Eritrosit (RBC) düzeyleri bakımından, Sanoesi vd. (2020)'nin verilerinden yüksek, Harikrishnan vd. (2003)'nin verileriyle ise benzer seviyelere ulaşılmıştır. RBC'deki bu farklılığın balık boyutundan kaynaklandığı düşünülmektedir (Şekil 37). Ayrıca, Sanoesi vd. (2020), Harikrishnan vd. (2003) ve Teixeira vd. (2000) tarafından bildirilen değerlere göre bu çalışmada hemoglobin (HGB) düzeyleri daha yüksek bulunmuştur. Bu durumun, açık sistem ile kapalı sistem koşulları arasındaki farktan kaynaklanabileceği değerlendirilmektedir. %10'dan az günlük su değişimi sağlanmış olmasına rağmen, sistem suyunun EC, pH ve besin madde içeriğinde açık sistemlere kıyasla daha fazla dalgalanma göstermesi de bu farkta etkili olabilir.

Bununla birlikte, çalışmanın 90 gün süresince, kan örneklemeleri gibi müdahalelere rağmen hiçbir deneme grubunda balık ölümü gözlemlenmemiştir. Bu durum, sistemde balık refahının sağlandığını ve çevresel koşulların uygun şekilde yönetildiğini göstermektedir.

Sıvı vermikompost uygulamasının sazanda HCT, WBC, RBC ve HGB düzeylerine etkileri gruplar arasında karşılaştırılmıştır. Başlangıç ölçümlerinde S grubunda bu parametreler K ve Y gruplarına göre daha düşük bulunmuştur. Ancak ilerleyen dönemlerde bu değerlerin S grubunda arttığı gözlemlenmiştir. HGB ve HCT düzeylerindeki değişimlerin RBC ile benzer bir eğilim gösterdiği belirlenmiş, fakat bu değişimlerin istatistiksel olarak anlamlı olmadığı tespit edilmiştir ($P>0,05$).

4.3. Bitki Gelişimi

4.3.1. Biber Fideleri

Başlangıç ölçümlerine göre biber fidelerinin boy uzunlukları S, Y ve K gruplarında sırasıyla $24,20 \pm 4,81$ cm olarak belirlenmiştir. 90. gün sonunda bu değerler sırasıyla $28,60 \pm 6,08$ cm, $24,67 \pm 5,22$ cm ve $26,40 \pm 3,35$ cm'ye ulaşmıştır. Başlangıçta gövde çapı tüm gruplarda ortalama $4,07 \pm 0,80$ mm iken, deney sonunda sırasıyla $4,77 \pm 0,83$ mm (S), $4,59 \pm 0,65$ mm (Y) ve $4,72 \pm 0,75$ mm (K) olarak ölçülmüştür. Yaprak sayısı başlangıçta tüm gruplarda $18,20 \pm 3,77$ adet iken, 90. gün itibarıyla sırasıyla $29,13 \pm 10,55$ (S), $22,20 \pm 4,16$ (Y) ve $23,90 \pm 5,52$ (K) olmuştur (Şekil 39).

Aydın ve Demirsoy (2020), vermikompost ve mantar kompostunun biber yetiştiriciliğindeki etkilerini inceledikleri çalışmalarında her iki materyalin de tavsiye edilebilir olduğunu belirtmiştir. Ancak, katı vermikompost uygulamasında biberde 13 mm gövde kalınlığına ulaşıldığını ve bunun diğer zenginleştiricilere kıyasla daha düşük bir etki gösterdiğini ifade etmişlerdir. Bu çalışmada elde edilen 4,77 mm'lik gövde çapının daha düşük olmasının temel nedenlerinden biri, iç mekân koşullarındaki sınırlı ışık şiddeti olarak değerlendirilmektedir. Her ne kadar 16 saatlik aydınlatma uygulanmış olsa da sağlanan $171 \mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{sn}$ ışık şiddeti, doğal gün ışığının (yaklaşık $1900 \mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{sn}$; Ward, 2023) oldukça altında kalmaktadır.

4.3.2. Fasulye Fideleri

Fasulye yetiştiriciliği için önerilen ışık şiddeti 150–300 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{sn}$ aralığındadır (Massa vd., 2008; Çakırer vd., 2017). Bu çalışmada uygulanan 171 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{sn}$ ışık yoğunluğu bu aralığa uygun bulunmuştur. Ancak, S, Y ve K gruplarında boy gelişimi genel olarak sınırlı kalmıştır (Şekil 41A). Gövde çapı açısından periyodik ölçümlerde en başarılı gelişim S grubunda gözlenmiş, Y ve K gruplarında ise benzer seviyelerde gelişim gerçekleşmiştir (Şekil 41B). Özellikle Y grubunda ikinci periyottan itibaren gövde çapında belirgin bir gerileme kaydedilmiş; bu durum, yapraktan uygulanan sıvı vermikomposta karşı hassasiyet olarak değerlendirilmiştir. Yaprak sayısı gelişimi açısından da S grubunda daha belirgin bir artış gözlemlenmiştir (Şekil 41C). Elde edilen bulgular, fasulye bitkisi için akuaponik sistemlerde sudan sıvı vermikompost kullanımının gövde ve yaprak gelişimini destekleyebileceğini göstermektedir.

4.3.3. Marul Fideleri

Marul yetiştiriciliği için önerilen ışık şiddeti 250–500 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{sn}$ aralığında olup, bu çalışmada ulaşılan ortalama 171 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{sn}$ değeri bu aralığın altında kalmaktadır (Massa vd., 2008; Çakırer vd., 2017). Bu nedenle sistemde sağlanan ışık düzeyi marul için yetersiz olarak değerlendirilmiştir. Ancak, S grubunda yer alan fidelerde boy uzunluğu, yaprak sayısı ve kök ağırlığı açısından diğer gruplara kıyasla daha olumlu sonuçlar elde edilmiştir (Şekil 43A, 43C, 43D). Öte yandan, S grubundaki fidelerin gövde çapları, Y ve K gruplarına göre daha düşük bulunmuştur (Şekil 43B). Kök uzunluğu açısından ise en iyi gelişim K grubunda kaydedilmiştir. Y grubunda ise yapraktan sıvı vermikompost uygulamasının, marul fidelerinde stres kaynağı oluşturduğu gözlemlenmiştir. Bu bağlamda, ışık yetersizliğine rağmen, sudan uygulanan vermikompostun marul gelişimini desteklediği, buna karşın yapraktan uygulamanın olumsuz etkileyeceği sonucuna varılmıştır.

4.4. Sonuç ve Öneriler

4.4.1. Birinci Deneme (Sera Ortamı Denemeleri) Sonuçları

Bu çalışmada, akuaponik sistemlerin bitki gelişimine olan etkilerinin yanı sıra, balık refahı yönünden de çok yönlü değerlendirmeler yapılmıştır. Akuaponik sistemler; su kalitesi, sıcaklık, filtrasyon ve besin dengesi gibi pek çok değişkenin eş zamanlı yönetimini gerektiren kompleks yapılardır. Sistemlerin sürdürülebilir şekilde işletilebilmesi için yalnızca bitki gelişimi değil, balıkların sağlığı ve yaşam koşulları da dikkate alınmalıdır. Çalışmanın bulguları, balık sağlığı ve refahının akuaponik sistem başarısında temel belirleyicilerden biri olduğunu ortaya koymuştur.

Bu bağlamda; suyun pH değeri, çözülmüş oksijen düzeyi ve amonyak gibi kimyasal parametrelerin balıkların büyüme ve refahı üzerinde doğrudan etkili olduğu görülmüştür. Özellikle amonyak ve nitrit düzeylerinin düzenli olarak izlenmesi ve biyolojik filtrasyon sisteminin etkin şekilde çalışması, balıkların sağlıklı ortamda yetişmesini sağlamaktadır. Ayrıca, su sıcaklığı da balık metabolizması üzerinde belirleyici bir etkidir. Optimal sıcaklık aralıklarının dışına çıkılması, bağışıklık sisteminin zayıflamasına ve hastalıklara karşı duyarlılığın artmasına neden olabilmektedir. Bu çalışmada, su sıcaklığının balık sağlığı ve sistem verimliliği üzerindeki etkileri değerlendirilmiş ve doğru sıcaklık aralıklarının balık gelişimi için kritik olduğu tespit edilmiştir. Ancak sıcaklığın aynı zamanda bitki gelişimini de doğrudan etkilediği göz önüne alındığında, her iki canlı grubunun ihtiyaçlarını eş zamanlı karşılamak sistem yönetimini daha da karmaşık hale getirmektedir.

Sistem tasarımı da balık refahını etkileyen önemli bir başka faktördür. Özellikle büyük ölçekli uygulamalarda, filtrasyon ve su sirkülasyonunun yetersiz olması durumunda balıkların kirli suya maruz kalması sağlık problemlerine yol açabilir. Bu nedenle filtrasyon sistemlerinin hem balıkların sağlığına hem de bitkilerin besin gereksinimlerine uygun şekilde tasarlanması, sistemin genel başarısını artıracaktır. Ayrıca, balıkların büyüme hızlarının bitki gelişimini ve dolayısıyla döngüsel besin sağlanmasını etkilediği dikkate alınmalıdır. Balık atıkları bitkiler için ana besin kaynağını oluştururken, bu döngünün sağlıklı işlemesi, balıkların yeterli ve dengeli beslenmesine bağlıdır. Bitkilerin yeterince gelişmemesi durumunda, bu dengenin bozulabileceği ve balık sağlığının olumsuz etkilenebileceği değerlendirilmektedir.

Sonuç olarak, akuaponik sistemlerin sürdürülebilir şekilde işletilmesi için balık refahı, bitki gelişimiyle birlikte ele alınmalı; su kalitesi, sıcaklık, filtrasyon verimliliği ve besin dengesi gibi tüm parametreler dikkatle izlenmelidir. Bu çalışma, bitki ve balık etkileşimlerini ortaya koyarak, sistem verimliliği için her iki bileşenin eşit öneme sahip olduğunu göstermektedir. Ayrıca, akuaponik sistem verimliliğinin doğrudan balık sağlığına bağlı olduğu dikkate alınarak, ilerleyen araştırmaların balık refahını artırmaya yönelik yeni teknolojiler ve yöntemler geliştirmeye odaklanması önerilmektedir. Böylelikle hem çevresel hem de ekonomik sürdürülebilirlik açısından daha etkin akuaponik sistemlerin kurulması mümkün olabilecektir.

4.4.2. İkinci Deneme (İç Mekân Deneme Ortamı) Sonuçları

Bu denemede, sıvı vermikompostun uygun oranda seyreltilerek doğrudan sistem suyuna eklenmesinin, balık gelişimi ve yaşamı üzerinde belirgin bir olumsuzluğa neden olmadığı sonucuna ulaşılmıştır. Akuaponik sistemlerde sıvı vermikompostun yüksek besin içeriği nedeniyle bitki gelişimini destekleyici bir unsur olarak kullanılabileceği gözlemlenmiştir. Sisteme 1 ml/L oranında sıvı vermikompost ilavesi, suyun fizikokimyasal özelliklerinde sazan için belirlenen sınırların aşılmasına yol açmamış; balıkların fizyolojik göstergelerinde de anlamlı bir değişime neden olmamıştır. Bununla birlikte, 1,5 ml/L seviyesindeki uygulamanın balık sağlığı üzerinde olumsuz bir etkisi olmamakla birlikte, sistem suyunun bulanıklığını artırdığı ve görsel olarak sistemin estetiğini düşürdüğü belirlenmiştir.

Yapraklı bitkilerin temsilcisi olarak değerlendirilen marul, meyve veren biber bitkisine kıyasla daha olumlu gelişim göstermiştir. Biber bitkisinin meyve oluşturma için yüksek ışık şiddetine gereksinim duyduğu göz önüne alındığında, indoor sistemlerde bu gereksinimin karşılanamaması verimliliği sınırlandırmıştır. Çalışma sonuçları, iç mekân koşullarında doğal ışık yetersizliğinin bitki gelişimini olumsuz etkilediğini ve endüstriyel düzeyde üretim için uygun ortam koşullarının sağlanmasının zor olduğunu göstermiştir. Bu nedenle, doğrudan güneş ışığı alan seralarda yapılacak uygulamalarda bitki gelişiminin daha başarılı olabileceği düşünülmektedir.

Sonuç olarak, sıvı vermikompost uygulaması bitki gelişimini destekleyici bir etki göstermiştir. Ancak, iç mekân koşullarında ışık şiddeti ve diğer çevresel faktörler,

bitki performansını sınırlayıcı unsurlar arasında yer almaktadır. Sıvı vermikompost uygulamasından daha yüksek verim elde edilebilmesi için, doğal ışık kullanımına imkân sağlayan ortamların oluşturulması veya daha etkili yapay aydınlatma sistemlerinin geliştirilmesi önerilmektedir. Ayrıca, ileriye dönük çalışmalarda farklı balık ve bitki türlerinin akuaponik ve yetiştiricilik sistemlerindeki fizyolojik, büyüme ve stres tepkilerinin karşılaştırmalı olarak incelenmesi önem arz etmektedir. Özellikle endüstriyel ölçekli yüksek stok yoğunluklarının balık refahı, su kalitesi ve bitki gelişimi üzerindeki etkilerinin değerlendirilmesi, sistemlerin sürdürülebilirliğine yönelik önemli veriler sağlayacaktır. Bunun yanı sıra, sıvı vermikompost gibi organik besin kaynaklarının farklı konsantrasyonlarda uygulanmasının tür bazında etkilerinin araştırılması, besin dengesi ve gübreleme stratejilerinin geliştirilmesine katkı sağlayabilecek bir diğer önemli araştırma alanı olarak öne çıkmaktadır.

KAYNAKÇA

- Abacıoğlu, E., Yatgın, S., Tokel, E., & Yücesoy, P. (2020). Vermikompostun (Solucan Gübresi) üretimi ve bitki beslemesindeki önemi. *Bartın University International Journal of Natural and Applied Sciences*, 3(1), 1-10.
- Abd-Elmoniem, A. F., Abou-Hadid, M. Z., El-Shinawy, A. S., & El-Beltagy, M. E. (1996). Effect of nitrogen form on lettuce plant grown in hydroponic system. *Acta Horticulturae*, 434, 47-52. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.1996.434.4>
- Adekiya, A. O., Agbede, T. M., & Ojomo, A. O. (2009). Effects of tillage methods on soil properties, nutrient content, growth and yield of tomato on an Alfisol of Southwestern Nigeria. *American-Eurasian Journal of Sustainable Agriculture*, 3(3), 348-353.
- Agrawal, A., Maganti, P., & Maiti, R. R. (2023). *Cyber Physical Aquaponic System (CyPhA): A CPS testbed* [Preprint]. arXiv. <https://doi.org/10.48550/arXiv.2304.05132>
- Aires, L. M. I., Ispolnov, K., Luz, T. R., Pala, H., & Vieira, J. S. (2023). Optimization of an indoor DWC hydroponic lettuce production system to generate a low N and P content wastewater. *Processes*, 11(2), 365. <https://doi.org/10.3390/pr11020365>
- Anaç, D., & Esetlili Çolak, B. (2015). Bitki beslemede yeni yaklaşımlar ve gübre-çevre ilişkisi. Ziraat Mühendisliği VIII. Teknik Kongresi, 280-294, 12-16 Ocak, Ankara.
- Aybak, H. Ç. (2002). Salata ve Marul Yetiştiriciliği, Hasad Yayıncılık Ltd.Şti.
- Aydın, M., & Demirsoy, M. (2020). Topraksız biber (*Capsicum annuum* L.) yetiştiriciliğinde farklı yetiştirme ortamlarının verim ve kalite üzerine etkileri. *Manas Journal of Agriculture Veterinary and Life Sciences*, 10(1), 66-72.
- 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., & Bildirici, E. (2021). Sağlıklı bir gelecek için akuaponik sistemler. *Iksad Publications*, ISBN: 978-605-74646-9-9.
- Bingöl, B. (2019). Alternatif tarım yöntemleri; aeroponik, akuaponik, hidroponik. *Harman Time Dergisi*, 7(82), 34-42. ISSN: 2147-6004.
- Both, A., Bugbee, B., Kubota, C., Lopez, R. G., Mitchell, C., Runkle, E. S., & Wallace, C. (2017). Proposed Product Label for Electric Lamps Used in the Plant

- Sciences. *HortTechnology*, 27(4), 544-549.
<https://www.doi.org/10.21273/HORTTECH03648-16>
- Boyd, C. E. (2015). *Water quality: An introduction* (2nd ed.). Springer Cham.
<https://doi.org/10.1007/978-3-319-17446-4>
- Bregnballe, J. (2022). A guide to recirculation aquaculture – An introduction to the new environmentally friendly and highly productive closed fish farming systems. FAO and Eurofish International Organisation. Rome.
<https://doi.org/10.4060/cc2390en>
- Cerozi, B. S. & 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>
- Chhetri, S., Dulal, S., Subba, S., & Gurung, K. (2022). Effect of different growing media on growth and yield of leafy vegetables in nutrient film technique hydroponics system. *Archives of Agriculture and Environmental Science*, 7(1), 12–19. <https://doi.org/10.26832/24566632.2022.070103>
- Christopher, C., Cohen, M., Pantanella, E., Stankus, A., & Lovatelli, A. (2014). Small-scale aquaponic food production (Integrated fish and plant farming). (FAO Fisheries and Aquaculture Technical Paper 589, ISSN 2070-7010). Rome: FAO.
- Chowdhury, M., Samarakoon, U. C., & Altland, J. E. (2024). Evaluation of hydroponic systems for organic lettuce production in controlled environment. *Frontiers in Plant Science*, 15, 1401089. <https://doi.org/10.3389/fpls.2024.1401089>
- 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. & 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). Karadeniz Teknik Üniversitesi, Sürmene Deniz Bilimleri ve Teknolojisi Yüksek Okulu. Trabzon: Karadeniz Teknik Üniversitesi Matbaası.
- 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>
- Delaide, B., Delhay, G., Dermience, M., Gott, J., Soyeurt, H. & Jijakli, M. H. (2017). Plant and fish production performance, nutrient mass balances, energy and water use of the PAFF Box, a small-scale aquaponic system. *Aquacultural Engineering*, 78, 130–139. <https://doi.org/10.1016/j.aquaeng.2017.06.002>
- Delong, D. P., & Losordo, T. M. (2012). *How to start a biofilter* (SRAC Publication No. 4502, pp. 1–4). Southern Regional Aquaculture Center.
- 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>
- Dorais, M., Papadopoulos, A. P., & Gosselin, A. (2001). Influence of electric conductivity management on greenhouse tomato yield and fruit quality. *Agronomie*, 21(4), 367–383. <https://doi.org/10.1051/agro:2001130>
- Dragomir, E. C., Doltu, M., Tănasă, V., Patriche, N., Dima, F. M., & Crivineanu, M. (2021). Effect of paraprox and the mixture of grape marc, cinnamon and clove on the carp (*Cyprinus carpio*) grown in a 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
- Eck, M., Körner, O., & Jijakli, M. H. (2019). Nutrient cycling in aquaponics systems. In S. Goddek, A. Joyce, B. Kotzen, & G. M. Burnell (Eds.), *Aquaponics food*

- production systems: Combined aquaculture and hydroponic production technologies for the future* (pp. 231–246). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-030-15943-6_9
- Eck, M., Szekely, I., Massart, S., & Jijakli, M. H. (2021). Ecological study of aquaponics bacterial microbiota over the course of a lettuce growth cycle. *Water (Switzerland)*, 13(15), Article 2089. <https://doi.org/10.3390/w13152089>
- Emre, Y., & Kürüm, V. (2007). Havuz ve kafeslerde alabalık yetiştiriciliği. *Ofset Hazırlık Pak Ajans*.
- 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
- Fange, R. (1992). Fish blood cells. In W. S. Hoar, D. J. Randall, & A. P. Farrell (Eds.), *Fish physiology* (Vol. 12B, pp. 1–54). Academic Press Inc.
- FAO. (2023). *Small-scale aquaponic food production: Integrated fish and plant farming* (FAO Fisheries and Aquaculture Technical Paper No. 589). <https://doi.org/10.4060/cc2390en>
- FAO. (2024a). *The state of world fisheries and aquaculture 2024: Blue transformation in action*. Food and Agriculture Organization of the United Nations. <https://www.fao.org/publications/fao-flagship-publications/the-state-of-world-fisheries-and-aquaculture/en>
- FAO. (2024b). *Common carp (Cyprinus carpio) species profile* [Data tables]. Food and Agriculture Organization of the United Nations. <https://www.fao.org/fishery/affris/species-profiles/common-carp/tables/en/>
- 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
- Ferhanoğlu, B. (2004). *PDQ hematoloji*. İstanbul Medikal Yayıncılık. ISBN 978-975-639-523-0
- Geldiay, R., & Balık, S. (1999). *Türkiye tatlısu balıkları*. Ege Üniversitesi Basımevi.
- Gillani, S., Abbasi, R., Martinez, P., & Ahmad, R. (2022). Review on energy efficient artificial illumination in aquaponics. *Cleaner and Circular Bioeconomy*, 2, 100015.
- Goddek, S., Delaide, B., Mankasingh, U., Ragnarsdottir, K. V., Jijakli, M. H., & Thorarinsdottir, R. (2015). Challenges of sustainable and commercial

- aquaponics. *Sustainability*, 7(4), 4199–4224.
<https://doi.org/10.3390/su7044199>
- Goodman, E. R. (2011). *Aquaponics: Community and economic development* (Master's thesis, University of Massachusetts, Boston, USA).
- Gökvardar, A. (2022). *Kapalı devre sistemlerde sürdürülebilir akuaponik uygulamaları: Balık-bitki etkileşimlerinin incelenmesi* (Doktora tezi, Ege Üniversitesi). <https://acikerisim.ege.edu.tr/items/73ff6d9d-c4bf-43e9-96c4-ea33f24cd028>
- 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 hemogloblin düzeylerine etkileri. *Kafkas Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 3(1), 1-8.
- Graber, A., & Junge, R. (2009). Aquaponic systems: Nutrient recycling from fish wastewater by vegetable production. *Desalination*, 246(1-3), 147-156.
- 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 (*Cyprinus carpio*). *Aquaculture*, 54, 97-107. [https://doi.org/10.1016/0044-8486\(86\)90261-9](https://doi.org/10.1016/0044-8486(86)90261-9)
- Hossain, M. B., & Ryu, K. S. (2017). Effects of organic and inorganic fertilizers on lettuce (*Lactuca sativa* L.) and soil properties. *SAARC Journal of Agriculture*, 15(2), 93–102. <https://doi.org/10.3329/sja.v15i2.35158>
- Hosseini, H., Mozafari, V., Roosta, H. R., Shirani, H., van de Vlasakker, P. C. H., & Farhangi, M. (2021). Nutrient use in vertical farming: optimal electrical conductivity of nutrient solution for growth of lettuce and basil in hydroponic cultivation. *Horticulturae*, 7(9), 283. <https://doi.org/10.3390/horticulturae7090283>

- Hrubec, T. C., & Smith, S. A. (2010). Hematology of fishes. In D. J. Weiss & K. J. Wardrop (Eds.), *Schalm's veterinary hematology* (6th ed., pp. 994–1003). Blackwell Publishing Ltd.
- 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)
- Kappel, N., Boros, I. F., Ravelombola, F. S., & Sipos, L. (2021). EC sensitivity of hydroponically-grown lettuce (*Lactuca sativa* L.) types in terms of nitrate accumulation. *Agriculture*, 11(4), 315. <https://doi.org/10.3390/agriculture11040315>
- Karaçal, İ., & Tüfenkçi, Ş. (2010). Bitki beslemede yeni yaklaşımlar ve gübre-çevre ilişkisi. *Ziraat Mühendisliği VII. Teknik Kongresi*, 257-268.
- Kargın, H., & Bilgüven, M. (2018). Akuakültürde akuaponik sistemler ve önemi. *Bursa Uludağ Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 32(2), 159-173.
- Kasap, H. (2010). Sebzeçilik, Samsun İl Tarım Müdürlüğü Çiftçi Eğitimi ve Yayın Şubesi Yayını, Samsun, Türkiye, 60p.
- Kaygısız, H., & Aybak, H.Ç. (2004). *Domates Yetiştiriciliği*, Hasat Yayıncılık. Başer Ofset. ISBN: 975-8377-24-8.
- Kempen, E. (2012). *Greenhouse production techniques – Agronomy*. Stellenbosch.
- Kerim, M., & Ustaoglu Tırıl, S. (2009, July 1–4). Su ürünleri yetiştiriciliğinde akuaponik uygulamalar. *XV. Ulusal Su Ürünleri Sempozyumu*, 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.
- Khan, M. H., Meghvansi, M. K., Gupta, R., Veer, V., Singh, L., & Kalita, M. C. (2014). Foliar spray with vermiwash modifies the arbuscular mycorrhizal dependency and nutrient stoichiometry of Bhut Jolokia (*Capsicum assamicum*). *PLoS ONE*, 9(3), e92318. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0092318>
- Khater, E., & Ali, S. (2015). Effect of flow rate and length of gully on lettuce plants in aquaponic and hydroponic systems. *Aquaponics Journal*, 8(2), 145-159.

- Kılıç, C. C., & Saraçoğlu, Ö. A. (2022). Effect of liquid vermicompost on quality properties of different lettuce varieties. *Turkish Journal of Agriculture-Food Science and Technology*, 10(9), 1716-1723.
- Kim, H., Lee, S., & Park, J. (2024). Automated IoT solutions for efficient hydroponic farming: Nutrients, pH and lighting management. *Journal of Electrical Engineering and Technology*, 57(5), 503-512. <https://doi.org/10.18280/jesa.570503>
- Korkmaz, Ş. (2004). *Sazan yetiştiriciliği* (Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi Su Ürünleri Bölümü Ders Kitabı, ss. 26–32). Ankara.
- 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 Environmental Bulletin*, 31, 4459–4471.
- Kotzen, B., & Appelbaum, S. (2010). An investigation of aquaponics using brackish water resources in the Negev Desert. *Journal of Applied Aquaculture*, 22(4), 297–320.
- 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 imkânlarının araştırılması* (Doktora tezi, İstanbul Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü).
- 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).
- Lennard, W., & Leonard, B. (2006). A comparison of three different hydroponic sub-systems (gravel bed, floating and nutrient film technique) in an aquaponic test system. *Aquaculture International*, 14, 539-550.
- Lennard, W., & Ward, J. (2019). A comparison of plant growth rates between an NFT hydroponic system and an NFT aquaponic system. *Horticulturae*, 5(2), 27. <https://doi.org/10.3390/horticulturae5020027>
- 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)

- Liang, J., & Chien, Y. (2013). Effects of feeding frequency and photoperiod on water quality and crop production in a tilapia–water spinach raft aquaponics system. *International Biodeterioration & Biodegradation*, 85, 693-700.
- Licamele, J. D. (2009). *Biomass production and nutrient dynamics in an aquaponics system* (Graduate dissertation, The University of Arizona).
- Linn, R. (2024). *Experimental processes for optimized lighting techniques: Enhancing vertical farming crop growth and yield efficiency* (Doctoral thesis, Kansas State University). ABD.
- Liu, M., Zhu, C., & Wang, C. (2020). Vermicompost assisted arbuscular mycorrhizal fungi to transfer ^{15}N from crop residues to lettuce. *Plant and Soil*, 456, 175–187. <https://doi.org/10.1007/s11104-020-04711-0>
- Losordo, T. M., Masser, M. P., & Rakocy, J. (1998). Recirculating aquaculture tank production systems: An overview of critical considerations. *Southern Regional Aquaculture Center*, 451, 18–31.
- Maji, D., Misra, P., Singh, S., & Kalra, A. (2017) Humic acid rich vermicompost promotes plant growth by improving microbial community structure of soil as well as root nodulation and mycorrhizal colonization in the roots of *Pisum sativum*. *Applied Soil Ecology*, 110, 97–108. <https://doi.org/10.1016/J.APSSOIL.2016.10.008>
- Makhdom, S., Shekarabi, S., & Shamsaie Mehrg, M. (2017). Biological nutrient recovery from culturing of pearl gourami (*Trichogaster leerii*) by cherry tomato (*Solanum lycopersicum*) in aquaponic system. *Environmental Science and Pollution Research*, 24, 20634-20640.
- 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 ed.). 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.
- McMurtry, M. R., Sanders, D. C., Cure, J. D., Hodson, R. G., Haning, B. C., & Amand, E. S. (2007). Efficiency of water use of an integrated fish/vegetable co-culture

- system. *Journal of the world aquaculture society*, 28(4), 420-428. <https://doi.org/10.1111/j.1749-7345.1997.tb00290.x>
- 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, Delhi, India. ISBN: 978-93-90002-17-7, 103 p.
- Mohammed, A. I., Fadhil, M., & Aytekin, İ. (2019). Some phenotypic parameters of marketable common carp (*Cyprinus carpio* L., 1758) reared in the carp farm pools in Kirkuk province of Iraq. *Selcuk Journal of Agriculture and Food Sciences*, 33(3), 190–193. <https://doi.org/10.15316/SJAIFS.2019.174>
- Mohammadi, G., Rashidian, G., Hoseinifar, S. H., Naserabad, S. S., & 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 and Shellfish Immunology*, 99, 267-273. <https://doi.org/10.1016/j.fsi.2020.01.032>
- Mol, O. (2019). *Dünya’da ve Türkiye’de yenilikçi tarım yöntemi olan akuaponik uygulamasında alternatif bir balık türü Clarias gariepinus’un (Burchell, 1822) (Kara Yayın) denenmesi*. (Yüksek Lisans Tezi, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü).
- Monsees, H., Suhl, J., Paul, M., Kloas, W., Dannehl, D., & Würtz, S. (2019). Lettuce (*Lactuca sativa*, variety Salanova) production in decoupled aquaponic systems: Same yield and similar quality as in conventional hydroponic systems but drastically reduced greenhouse gas emissions by saving inorganic fertilizer. *PLoS ONE* 14(6): e0218368. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0218368>
- Morgan, J. D., & Iwama, G. K. (1997). Measurements of stressed states in the field. In G. K. Iwama, A. D. Pickering, J. P. Sumpter, & C. B. Schreck (Eds.), *Fish stress and health in aquaculture* (pp. 247–270). Cambridge University Press.
- Mugwanya, M., Dawood, M., Kimera, F., & Sewilam, H. (2022). A review on recirculating aquaculture system: Influence of stocking density on fish and crustacean behavior, growth performance, and immunity. *Annals of Animal Science*, 22(3), 873-884. <https://doi.org/10.2478/aoas-2022-0014>
- Nelson, R. L., & Pade, J. S. (2008). *Aquaponic food production: Growing fish and vegetables for food and profit*. Nelson and Pade, Inc.
- 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>
- OECD/FAO (2022). *OECD-FAO Agricultural Outlook 2022-2031*, OECD Publishing. <https://doi.org/10.1787/flb0b29c-en>
- Okudur, E. (2018). Durgun su kültüründe yetiştirilen marulda üç farklı şekilde verilen gübrelemenin verim ve kaliteye etkisi. *Süleyman Demirel Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 1. Uluslararası Tarımsal Yapılar ve Sulama Kongresi Özel Sayısı, 394-399.
- Ödün, U. C. (2016). *Güneş enerjisi destekli akuaponik sistemlerde koi (Cyprinus carpio) ve hıyar (Cucumis sativus) yetiştiriciliği üzerine bir araştırma*. (Yüksek Lisans Tezi, Yüzüncü Yıl Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü).
- 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>
- Palazekin, D. (2019). *Balık yetiştiriciliği atıksularının akuaponik tekniği ile arıtılabilirliğinin incelenmesi*. (Yüksek Lisans Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü).
- Palm, H. W., Knaus, U., Appelbaum, S., Strauch, S. M., & Kotzen, B. (2019). Coupled aquaponics systems. In S. Goddek, A. Joyce, B. Kotzen, & G. M. Burnell (Eds.), *Aquaponics food production systems: Combined aquaculture and hydroponic production technologies for the future* (pp. 163-199). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-030-15943-6_7
- Pantanella, E., Cardarelli, M., Colla, G., & Rea, E. (2010). Aquaponics vs. hydroponics: Production and quality of lettuce crop. In *XXVIII International Horticultural Congress on Science and Horticulture for People (IHC2010): International Symposium on 927* (pp. 887-893).
- Pantanella, E., Cardarelli, M., Colla, G., Rea, E., & Marcucci, A. (2012). Aquaponics vs. hydroponics: Production and quality of lettuce crop. *Acta Horticulturae*, 927(2). <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2012.927.109>
- Pinho, S. M., Flores, R. M. V., David, L. H., Emerenciano, M. G., Quagrainie, K. K., & Portella, M. C. (2022). Economic comparison between conventional aquaponics and FLOCponics systems. *Aquaculture*, 552, 737987. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2022.737987>
- Rakocy, J. E. (1989). Vegetable hydroponics and fish culture, a productive interface. *World Aquaculture*, 20(3), 42-47.
- Rakocy, J. E., & Hargreaves, J. A. (1993). Integration of vegetable hydroponics with fish culture: A review. In J. K. Wang (Ed.), *Techniques of modern aquaculture*

- (pp. 112-136). American Society of Agricultural Engineers, St. Joseph, Missouri, USA.
- Rakocy, J. E., Bailey, D. S., Shultz, R. C., & Thoman, E. S. (2004). Update on tilapia and vegetable production in the UVI aquaponic system. In R. Bolivar, G. Mair, & K. Fitzsimmons (Eds.), *New Dimensions in Farmed Tilapia: Proceedings of the 6th International Symposium on Tilapia in Aquaculture*, September 12–16, Manila, Philippines (pp. 676–690).
- 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, Publication No. 454, 1–16.
- Rakocy, J. E. (2007). An integrated fish and field crop system for arid areas. In B. A. Costa-Pierce (Ed.), *Ecological aquaculture: The evolution of the blue revolution* (pp. 263–285). Blackwell Science Ltd, Oxford, UK.
- Rakocy, J., Bailey, D., Shultz, C., & Danaher, J. (2010). The status of aquaponics. University of the Virgin Islands Agricultural Experiment Station.
- Resh, H.M. (2022). *Hydroponic food production: A definitive guide for the advanced home gardener and commercial hydroponic grower* (8th ed.), CRC Press. ISBN: 9781003133254. <https://doi.org/10.1201/9781003133254>
- Roosta, H. R., & Hamidpour, M. (2011). Effects of foliar application of some macro- and micro-nutrients on tomato plants in aquaponic and hydroponic systems. *Scientia Horticulturae*, 129(3), 396-402. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2011.04.006>
- Roosta, H. R., & Afsharipoor, S. (2012). Effects of different cultivation media on vegetative growth, ecophysiological traits and nutrients concentration in strawberry under hydroponic and aquaponic cultivation systems. *Advances in Environmental Biology*, 6(2), 543-555.
- Roosta, H. R., & Mohsenian, Y. (2012). Effects of foliar spray of different Fe sources on pepper (*Capsicum annum* L.) plants in aquaponic system. *Scientia Horticulturae*, 146, 182-191. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2012.08.018>
- Sakamoto, M., & Suzuki, T. (2020). Effect of nutrient solution concentration on the growth of hydroponic sweetpotato. *Agronomy*, 10(11), 1708. <https://doi.org/10.3390/agronomy10111708>
- Sallenave, R. (2016). Important water quality parameters in aquaponics systems. Circular No. 680, New Mexico State University, Las Cruces, New Mexico, USA.
- Samarakoon, U., Palmer, J., Ling, P., & Altland, J. (2020). Effects of electrical conductivity, pH, and foliar application of calcium chloride on yield and tipburn of *lactuca sativa* grown using the nutrient–film technique. *HortScience*, 55(8), 1265-1271. <https://www.doi.org/10.21273/HORTSCI15070-20>

- 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*, 493/1, 012011. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/493/1/012011>
- Schneider, O., Sereti, V., Eding, E. H., & Verreth, J. A. J. (2004). Analysis of nutrient flows in integrated intensive aquaculture systems. *Aquacultural Engineering* 32(3-4), 379–401. <https://doi.org/10.1016/j.aquaeng.2004.09.001>
- Serezli, R. (2011). Sularda amonyak ve sucul canlılarda toksik etkileri. *Yunus Araştırma Bülteni*, 2011(3), 5-7.
- Shete, A. P., Verma, A. K., Tandel, R. S., Prakash, C., Tiwari, V. K., & Hussain, T. (2013). Optimization of water circulation period for the culture of goldfish with spinach in aquaponic system. *Journal of Agricultural Science*, 5(4), 26–30. <https://doi.org/10.5539/jas.v5n4p26>
- 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 of Aquatic Biology and Fisheries*, 26(2), 119-131. <https://doi.org/10.21608/ejabf.2022.224930>
- Şahin, S., Geboloğlu, N., & Kartal, H. (2020). Effects of adding vermicompost to the tort-perlite mixture on the development of pepper seedlings. *Food Science and Technology*, 8(sp1), 192-196. <https://doi.org/10.24925/turjaf.v8isp1.192-196.4093>
- Tabakoğlu, R. (2016). *Dumlupınar Üniversitesi Göletinden yakalanan Carassius gibelio (Gümüşü havuz balığı) ve Cyprinus carpio (Aynalı sazan) türü balıkların hemogram değerlerinin incelenmesi* (Yüksek lisans tezi, Dumlupınar Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü).
- Tabakoğlu, R., Uysal, K., & Kavasoglu, 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.
- Taparuskienė, L., & Miseckaitė, O. (2014). Effect of mulch on soil moisture depletion and strawberry yield in sub-humid area. *Polish Journal of Environmental Studies*, 23(2), 475–482.
- Teixeira, M. A., Chaguri, L. D., Carissimi, A. S., Souza, N. L., Mori, C. M., Gomes, V. M., & Merusse, J. L. (2020). Hematological and biochemical profiles of rats (*Rattus norvegicus*) kept under microenvironmental ventilation system. *Brazilian Journal of Veterinary Research and Animal Science*, 37, 341-347.

- Teo, E. P., Chan, K. Y., Mokhtar, S. M., & Lee, C. L. (2024). Effect of LED wavelength and power on the hydroponic indoor vegetable farming. *Universal Journal of Agricultural Research*, 12(1), 41-50. <https://doi.org/10.13189/ujar.2024.120105>
- TÜİK. (2024). *Su Ürünleri Üretim İstatistikleri 2023*. Türkiye İstatistik Kurumu. <http://www.tuik.gov.tr>
- Turhan, Ş. (2005). Tarımda sürdürülebilirlik ve organik tarım. *Tarım Ekonomisi Dergisi*, 11(1), 13-24.
- Tüzel, Y., Gül, A., Tüzel, İ. 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? In *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), 1-6. <https://doi.org/10.24925/turjaf.v6i1.01-06.1651>
- Ustaoglu, S., & Dalkiran, G. (2005). Akuakültürde kapalı devre sistemlerin kullanımı. In *Ulusal Su Günleri 2005* (pp. 28-30). Karadeniz Teknik Üniversitesi, Trabzon.
- URL-1. (2025). <https://data.tuik.gov.tr/Bulten/Index?p=Su-Urunleri-2024-54193>, Erişim Tarihi: 21 Temmuz 2025.
- URL-2. (2025). *United Nation's Common Agenda, Our Common Agenda and the SDGs. Our Common Agenda and the SDGs | United Nations*, Erişim Tarihi: 11 Haziran 2025.
- URL-3. (2024). *pH Values for Vegetables in Hydroponics*. http://www.homehydrosystems.com/ph_tds_ppm/ph_vegetables_page.html, Erişim Tarihi: 13.03.2024
- URL-4. (2024). Tarım ve Orman Bakanlığı Adana İl Müdürlüğü, *Domates Yetiştiriciliği ve Mücadelesi*. https://adana.tarimorman.gov.tr/Belgeler/SUBELER/bitkisel_uretim_ve_bitki_sagligi_sube_mudurlugu/sebze_yetistirciligi_ve_mucadelesi/Domates.pdf, Erişim Tarihi: 11 Aralık 2024.

- Ürgeç, P. S. (1992). *Ağaç ve süs bitkileri fidanlık ve yetiştirme teknikleri*. İstanbul Üniversitesi Yayın No: 3676, Orman Fakültesi Yayın No: 418.
- Verep, B., Mutlu, T., Çakır, V., & Aydın, G. (2017). Determination of physico-chemical water quality of Derepazarı Stream (Rize-TURKEY) and evaluation according to some water quality standards. *Journal of Anatolian Environmental and Animal Sciences*, 2(1), 19-22. <https://doi.org/10.35229/jaes.297643>
- Vought, K., Bayabil, H. K., Pompeo, J., Crawford, D., Zhang, Y., Correll, M., & Martin Ryals, A. (2024). Dynamics of micro and macronutrients in a hydroponic nutrient film technique system under lettuce cultivation. *Heliyon*, 10(11), e32316. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e32316>
- Ward, A. (2023). *Lumens, lux, PAR, PPF and PPFD: What is the difference?* Mokolight. Retrieved March 13, 2024, from www.mokolight.com: <https://www.mokolight.com/blog/led-grow-light/lumens-lux-par-ppf-ppfd>
- Watabe, T., Nakano, Y., & Ahn, D.-H. (2022). The effect of electrical conductivity on fruit growth pattern in hydroponically grown tomatoes. *Crops*, 2(3), 323–335. <https://doi.org/10.3390/crops2030023>
- White, P. J. (2012). Ion uptake mechanisms of individual cells and roots: Short-distance transport. In P. Marschner (Ed.), *Marschner's mineral nutrition of higher plants* (pp. 7–47). Academic Press. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-384905-2.00002-9>
- Wu, M., Buck, J.S. & Kubota, C. (2004). Effects of nutrient solution EC, plant microclimate and cultivars on fruit quality and yield of hydroponic tomatoes (*Lycopersicon esculentum*). *Acta Horticulturae*, 659, 541-547. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2004.659.70>
- 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.

- Yaylacı, C., & Erdal, İ. (2021). Kimyasal gübrelerle birlikte uygulanan vermikompost kaynaklı hümik maddelerin biberin kısa dönem gelişimi ve mineral beslenmesine etkisi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 31, 809-814. <https://doi.org/10.31590/ejosat.1035475>
- 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 summmary. *Cumhuriyet University Faculty of Science Journal (CSJ)*, 36(2), 37-50.
- Yılmaz, S., Yazıcıoğlu, O., Yılmaz, M., & Polat, N. (2010). Hirfanlı Baraj Gölü'nde yaşayan *Cyprinus carpio* L., 1758 ve *Tinca tinca* (L., 1758)'ın boy-ağırlık ve boy-boy ilişkileri ile mevsimsel kondisyon faktörleri. *Süleyman Demirel University Faculty of Science Journal*, 3(2), 1-12.
- Yılmaz, S., Yazıcıoğlu, O., & Polat, N. (2012). Bafra balık göllerindeki sazan (*Cyprinus carpio* L., 1758)'ın yaş ve büyüme özellikleri. *Karadeniz Fen Bilimleri Dergisi*, 3(2), 1-12.
- Yiğit, B. B. (2019). *Akuaponik teknolojisinde su kalitesinin beyaz mersin (Acipenser transmontanus) balığı kullanarak fesleğen ve marul varyetelerinin büyümesine etkisi* (Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü).
- 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. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2015.12.079>

ETİK KURUL KARARI

T.C.
RECEP TAYYİP ERDOĞAN ÜNİVERSİTESİ
HAYVAN DENEYLERİ YEREL ETİK KURULU BAŞKANLIĞI ARAŞTIRMA BAŞVURUSU ONAYI
(Republic of Turkey Recep Tayyip Erdogan University Local Ethics Committee for Animal Experiments)

BAŞVURU BİLGİLERİ (Application Information)	ETİK KURUL DOSYA NO(REFERENCE):			
	ÇALIŞMANIN ADI	Akuaponik sistemlerde bitki-balık-su kalitesi etkileşiminin balık refahına etkilerinin belirlenmesi		
	Title	Investigation of the effects on fish welfare of fish- plant-water quality interaction in aquaponics systems		
	SORUMLU ARAŞTIRMACI (Director of Project)	Yrd.Doç.Dr. İlker Zeki KURTOĞLU		
	DİĞER GÖREVLİLER (Researchers)	Fikri BALTA,		
	BAŞVURULAN ETİK KURUL	Recep Tayyip Erdoğan Üniversitesi Hayvan Deneyleri Yerel Etik Kurulu		
	ARAŞTIRMAYA KATILAN MERKEZLER	☒ Tek Merkez Ulusal	☐ Çok Merkezli Ulusal	☐ Çok Merkezli Uluslararası

KARAR BİLGİLERİ	Karar No(Decision No):2015/12	Tarih (Date):20.02.2015
	R.T.E. Üniversitesi Su Ürünleri Fakültesi'nden Yrd.Doç.Dr. İlker Zeki KURTOĞLU 'nun sorumluluğunda yürütülen ve yukarıda başvuru bilgileri verilen Hayvan Deneyleri Araştırma başvuru dosyası ve ilgili belgeler, araştırmanın gerekçe, amaç, yaklaşım ve yöntemleri dikkate alınarak incelenmiş, gerçekleştirilmesinde etik sakınca bulunmadığına katılan üyelerin oy birliğiyle karar verilmiştir.	
Decision Information	The study above has been approved by the Local Ethics Committee of R.T.E. University.	
	☒ Accepted	☐ Rejected

ÜYELER (Members)						
Ünvanı/ Adı/ Soyadı Ek Üyeligi	Uzmanlık Dalı	Kurumu	Cinsiyeti	İlişki (*)	Katılım (**)	İmza
Doç.Dr. Fikri BALTA (BAŞKAN)	Su Ürünleri	R.T.E. Üniversitesi Su Ürünleri Fak.	E	☒ E ☐ H	☐ E ☒ H	-----
Doç.Dr. Adnan YILMAZ (Başkan Vekili)	Tıbbi Biyokimya	R.T.E. Üniversitesi Tıp Fak.	E	☐ E ☒ H	☒ E ☐ H	-----
Doç.Dr. Nurhayat ÖZDEMİR (Üye)	Biyoloji	R.T.E. Üniversitesi Fen Edebiyat Fak.	K	☐ E ☒ H	☒ E ☐ H	-----
Yrd. Doç.Dr. Levent TÜMKAYA (Üye)	Histoloji Embriyoloji	R.T.E. Üniversitesi Tıp Fak.	E	☐ E ☒ H	☒ E ☐ H	-----
Yrd. Doç. Dr. Saliha EKŞİ (Üye)	Tıbbi Mikrobiyoloji	R.T.E. Üniversitesi Tıp Fak.	K	☐ E ☒ H	☒ E ☐ H	-----
Yrd. Doç. Dr. Hatice SEVİM(Üye)	Tıbbi Biyoloji	R.T.E. Üniversitesi Tıp Fak.	K	☐ E ☒ H	☒ E ☐ H	-----
Yrd. Doç.Dr. Nihal ÇETİN (Üye)	Tıbbi Farmakoloji	R.T.E. Üniversitesi Tıp Fak.	K	☐ E ☒ H	☐ E ☒ H	-----
Baş KARA (Üye)	Sağlık Çalışanı	Sağlık Sen	E	☐ E ☒ H	☒ E ☐ H	-----
Eylem RAKICI EKŞİOĞLU (Üye)	Serbest Çalışan	Sivil Üye	K	☐ E ☒ H	☒ E ☐ H	-----

*Araştırma ile ilişki(Relation to the project, E: Yes, H: No)

**Toplantıda Bulunma(Attendance, E: Yes, H: No)