



T.C.
EGE ÜNİVERSİTESİ
BİLİMSEL ARAŞTIRMA PROJELERİ KOORDİNASYON BİRİMİ

**KAPALI DEVRE SİSTEMLERDE
SÜRDÜRÜLEBİLİR AKUAPONİK UYGULAMALARI
BALIK-BİTKİ ETKİLEŞİMLERİNİN İNCELENMESİ**

Proje No: FDK-2019-20396

Tez Projesi, Doktora

SONUÇ RAPORU

Proje Yürütücüsü:
Prof. Dr. Osman ÖZDEN
Su Ürünleri Fakültesi/ Yetiştiricilik Bölümü

Araştırmacının Adı Soyadı
Dr. Alize GÖKVARDAR
Fen Bilimleri Enstitüsü/ Su Ürünleri Fakültesi

Prof. Dr. Ramazan SEREZLİ
İKÇÜ Su Ürünleri Fakültesi/ Yetiştiricilik Bölümü

Eylül 2022

İZMİR

ÖNSÖZ

Karasal bölgelerde su kaynaklarının giderek azalması sonucunda, üreticiler aynı bölgede birden fazla üretim seçeneklerini bir arada değerlendirmek ve etkin olarak kullanmak zorunda kalmışlardır. Son yıllarda üretim açısından oldukça popüler hale gelen tekniklerden biri “Akuaponik Tekniği”dir. Balık yetiştiriciliği sonucunda oluşan besin zengini su akuaponik sistem işleyişinde bitkilerin yetişmesi için ihtiyaç duyulan besin kaynağını oluşturmaktadır.

Akuaponik sistemler balık yetiştiriciliği sonucu ortaya çıkan organik maddece zengin atık suyun ekonomik değeri yüksek olan bitkiler tarafından değerlendirilmesini sağlayan sürdürülebilir sistemler bütünüdür. Bu sistem içerisinde aynı alt yapı kullanılarak hem balık ve hem de bitki yetiştiriciliği yapılabilir. Akuaponik sistemlerde işlenmiş gübre kullanılmamaktadır. Bunun yerine bitkilerin gereksinimi olan doğal mikrobiyal süreçle oluşan akuakültür dışkıları kullanılmaktadır. Bu süreçte balık dışkıları bitkilerin ihtiyacı olan besini sağlamaktadır. Akuaponik sistemler, ticari amaçla balık ve bitki yetiştirmek, herhangi bir araştırmanın konusu olmak, eğitimde kullanmak, besin kaynağı oluşturmak, gıda üretimine kaynak olmak veya hobi olarak kullanılabilen çok amaçlı bir sürdürülebilir teknolojidir. Besinsel açıdan bakıldığında akuaponik, gıdayı hem protein (balıklardan) hem de sebze-meyve (bitki) olarak sağlamaktadır. Bitki yetiştirmek için toprağa gereksinim olmadığından, akuaponik sistemler yerel marketlere gıda sağlamak için toprak yapısı kötü olan verimsiz bölgelere kurulabilmektedir.

Çevre dostu yaklaşım gösteren akuaponik sistemler ile balık yetiştiriciliği neticesinde ortaya çıkan organik maddece zengin atık su probleminin çözümü sağlanacaktır. Bu yetiştiricilik tekniği ile atık su probleminin ortadan kaldırılması, bitki yetiştiriciliği için ihtiyaç duyulan gübrenin doğal yolla sağlanması ve bu yolla hem su ürünlerinde hem de bitki yetiştiriciliğinde tam sürdürülebilirliği hedeflenmiştir. Bu çalışma E.Ü. Hayvan Deneyleri Etik Kurulunun 28.02.2018 tarih 2018-028 sayılı izni ile yürütülmüş olup, FDK-2019-20396 nolu E.Ü. BAP projesi ile desteklenmiştir.

İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ	I
İÇİNDEKİLER	II
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	III
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	V
ÖZET	VI
ABSTRACT.....	VII
1. GİRİŞ	1
2. LİTERATÜR BİLDİRİŞLERİ	7
3. MATERYAL VE YÖNTEM	27
4. BULGULAR	49
5. TARTIŞMA VE SONUÇ.....	64
6. ÖNERİLER.....	71
7. KAYNAKLAR DİZİNİ.....	75

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1.1. Azteklerin kullandığı ilkel sisteme bir örnek (M.S. 1000) (Nelson, 2008).	4
Şekil 1.2. Akuakültür ve tarımın entegrasyonu (FAO, ICLARM & IIRR, 2001).	4
Şekil 2.1. Karabalık (<i>C. gariepinus</i>) türü görüntü.....	11
Şekil 2.2. Salkım domates (<i>Solanum lycopersicum</i>) bitki türü.	12
Şekil 2.3. Tipik hidroponik sistem ve bileşenleri (http://www.hydroponicsonline.com) (Anonim, 2013).	13
Şekil 2.4. Sal (RAFT) sisteminden bir görünüm (Nelson, 2008).....	15
Şekil 2.5. NFT (Besleyici Film Tekniği) sisteminin genel görüntüsü.	17
Şekil 2.6. Perlit içerikli yataklarda akuaponik çalışması.	19
Şekil 2.7. Genleşmiş perlit.	22
Şekil 3.2. Akuaponik sistemde Karabalık (<i>C. gariepinus</i>) türü.	29
Şekil 3.3. Domates fidesi.....	29
Şekil 3.4. Akuaponikte medya destekli yatak sistemi uygulamaları, İzmir Kâtip Çelebi Üniversitesi.....	30
Şekil 3.5. Akuaponik ünite içerisindeki balık tankları ve bitki yatakları.	31
Şekil 3.8. Perlitle dolu bigbag ve PVC bitki yatağı.	34
Şekil 3.10. Ege Üniversitesi Su Ürünleri Fakültesi Urla Akuakültür Tesisleri adaptasyon tankı.	35
Şekil 3.11. İzmir Kâtip Çelebi Üniversitesi Su Ürünleri Fakültesi Tesisleri'nde kurulumu gerçekleşen Akuaponik Sera (Greenhouse).	36
Şekil 3.12. Akuaponik sistemde farklı stok yoğunluğu denemeleri.....	37
Şekil 3.13. Karabalık büyüme parametreleri ölçümleri. a) En ve boy ölçümleri b) Ağırlık ölçümleri.....	38
Şekil 3.14. Multifotometre kullanılarak yapılan su kalitesi analizleri.	39

Şekil 3.15. Viyol içerisindeki domates fideleri.	40
Şekil 3.16. Perlit içerikli bigbaglere domates fidelerinin ekimi.	41
Şekil 3.18. Dolgu Materyalli Yatak Sisteminde damla sulama boruları.	42
Şekil 3.19. Domates büyüme parametreleri.	43
Şekil 3.20. Akuaponik serada Medya Dolgulu Yatak Sistemlerine ekimi yapılan domates fideleri.	44
Şekil 3.21. Akuaponik cam sera dışarıdan görünümü.	46
Şekil 3.22. Akuaponik döngüsünde yer alan biyolojik etmenler: balık, bitki ve faydalı bakteriler (Somerville et al., 2014).	47
Şekil 4.1. Akuaponik sera sırik domatesler.	57
Şekil 4.2. Domates bitkisinin gelişimi ve hasadı.	58
Şekil 4.3. Sırik domatesler görüntü.	58
Şekil 4.4. Akuaponik ünite de domates hasatları.	59
Şekil 4.5. Domates fidelerinin gelişimi (26 Nisan 2019).	59
Şekil 4.6. Domates bitkisinin gelişimi (15 Mayıs 2019).	60
Şekil 4.7. Domates bitkisinin gelişimi (17 Mayıs 2019).	60
Şekil 4.8. Domates bitkisinin gelişimi (25 Mayıs 2019).	61
Şekil 4.9. Domates bitkisinin gelişimi (26 Mayıs 2019).	61
Şekil 4.10. Domates bitkisinin gelişimi (31 Mayıs 2019).	62
Şekil 4.11. Domates bitkisinin gelişimi (7 Haziran 2019).	62
Şekil 4.12. Akuaponik serada domates hasadı görüntüsü (11 Haziran 2019).	63
Şekil 4.13. Domates bitkisinin gelişimi (12 Temmuz 2019).	63
Şekil 5.1. Bitki köklerinin sökümü ve ünite temizliği.	70

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 2.2. Perlitin kimyasal özellikleri.	25
Çizelge 4.1. Fizikokimyasal parametreler ($\text{Ort} \pm \text{STD}$) (n=15)	49
Çizelge 4.2. Deneme süresince Karabalık türünde gözlenen total ağırlık ve boy değişimleri (Grup 1).	50
Çizelge 4.3. Deneme süresince Karabalık türünde gözlenen total ağırlık ve boy değişimleri (Grup 2).	50
Çizelge 4.4. Deneme süresince Karabalık türünde gözlenen total ağırlık ve boy değişimleri (Grup 3).	51
Çizelge 4.5. Deneme sonunda Karabalıklarda büyüme parametreleri.	52
Çizelge 4.6. Karabalıklara ait büyüme parametreleri (90 gün)	53
Çizelge 4.7. Karabalıkların istatistiksel değerlendirmesi.....	54
Çizelge 4.8. Denemenin birinci ayı gruplar arası istatistiksel değerlendirme.....	55
Çizelge 4.9. Denemenin ikinci ayı gruplar arası istatistiksel değerlendirme.	55
Çizelge 4.10. Denemenin üçüncü ayı gruplar arası istatistiksel değerlendirme....	55
Çizelge 4.11. Deneme sonunda domates bitkisinde büyüme parametreleri.....	56
Çizelge 4.12. Domateslerin istatistiksel değerlendirmesi.	56

ÖZET

Bu çalışmada, su ürünleri yetiştiriciliği açısından ticari potansiyel taşıyan Karabalık/Afrika yayın balığı (*Clarias gariepinus*) türü ile domates (*Solanum lycopersicum*) bitkisinin akuaponik sistemde tek bir kapalı devre alt yapısında üretimi denenmiştir. Çalışmanın mevcut akuaponik sistemlerden farkı tamamen organik/doğal materyaller kullanılarak kapalı devre bir akuaponik sistem döngüsü sağlamaktır. Çevre dostu yaklaşım gösteren akuaponik sistemler ile balık yetiştiriciliği neticesinde ortaya çıkan organik maddece zengin atık su probleminin çözümü planlanmıştır. Bu yetiştiricilik tekniği ile atık su probleminin ortadan kaldırılması, bitki yetiştiriciliği için ihtiyaç duyulan gübrenin doğal yolla sağlanması neticesinde su ürünleri-bitki entegre yetiştiriciliğinde tam sürdürülebilirlik hedeflenmiştir. Model olarak akuaponik sistem tasarımlarından Medya Dolgulu Yatak Sistemleri kullanılmıştır. Bitki ekimlerinde dolgu maddesi olarak perlit substratı tercih edilmiştir. Türkiye perlit rezervleri açısından zengin bir ülkedir. Çalışmada farklı stok yoğunluğu denemesi (10-15-20 kg/m³) yapılarak hangi balık stok yoğunluğunda bitkilerin daha iyi gelişeceği denenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Akuakültür, Akuaponik, Hidroponik, Entegre Yetiştiricilik Sistemleri, Karabalık, *Clarias gariepinus*, Domates, *Solanum lycopersicum*.

ABSTRACT

In this study, from the aspect of sea food producing, having the potential commercial value of the African catfish (*Clarias gariepinus*) species with the tomato (*Solanum lycopersicum*) plant is tested in one recirculating aquaponics cycle system substructure production. The difference of the present aquaponics system provides in a recirculating system using the completely organic/natural materials. The appearance of waste water having rich organic substances solution is planned as a result of aquaponics systems indicating environmental friendly approach in aquaculture. With this production technique the perfect sustainable aim is planned to provide natural fertilizer in sea products-plant growth for the necessity of the fertilizer for the plant growth, by eliminating waste water. In aquaponics system conception media sealed seam systems are used. In planting perlite is preferred as a filling subtract. Turkey is rich with the perlite reserves. In this study different stock densities are being used (10-15-20 kg/m³), to find out which stock density is appropriate for plant growth.

Keywords: Aquaculture, Aquaponic, Hydroponic, Integrated Aquaculture Systems, *Clarias gariepinus*, Tomato, *Solanum lycopersicum*.

1.GİRİŞ

Dünya nüfusunun son 30 yıl içerisinde göstermiş olduğu artış ve bu artış akabinde karasal bölgelerin daha çok yerleşime yönelik kullanılması neticesinde üretime ayrılan alanlar giderek küçülmektedir. Bu sorunlar üretici ve araştırmacıları sınırlı alanlarda yüksek verim alınmasına yönelik inovatif üretim tekniklerinin arayışına sevk etmiştir. Karasal bölgelerin yerleşim alanı olarak kullanılmasıyla karasal alanların yetiştiricilik amacıyla değerlendirilebilmesine günden güne sınır getirmektedir. Karasal bölgelerde su kaynaklarının gittikçe azalması neticesinde, üreticiler tek bölgede çoklu üretim seçeneklerini birlikte değerlendirmek ve pratikte uygulamak zorunda kalmışlardır. Toplam nüfusun giderek artışıyla beraber besin tedariki ve beslenme problemini getirmektedir. Bunlara bağlı olarak besin kaynağı yaratmakta ve bu kaynaklara erişebilmekte sorunlar meydana gelmektedir.

Sürdürülebilirlik kavramı günümüzde fazlaca duyulan ve dikkat çekmeyi başaran bir terimdir. Giderek artan aşırı tüketim alışkanlıkları, ortaya çıkan ekolojik değişiklikler, dünya nüfusunun katlanarak artışı da bu kavramın yaygınlaşmasını sağlamıştır. Basit ve anlaşılabilir bir şekilde anlatmak gerekirse sürdürülebilirlik kendi ihtiyaçlarınızı karşılarken gelecek nesillerin ihtiyaçlarını karşılama yetilerini ellerinden almamaktır. Bireyler için sürdürülebilir yaşam aslında, iklim değişikliğine ve diğer olumsuz çevresel endişelere karşı olumlu değişiklikler yaparak kişisel ve toplumsal etkiyi azaltmayı amaçlayan pratik bir felsefedir. Çağımızda kaynaklardan en etkin şekilde yararlanabilmek temel hedeflerden biridir. Akuaponik kültür bu bağlamda rezerv arayışına uygun çözümler getirebilir. “Akuaponik Sistemler” son yıllarda bu bağlamda karasal ve sucul yetiştiricilik sistemlerinin entegre edildiği, üreticilerin dikkatini çeken ve rağbet gösterilen sürdürülebilir bir üretim tekniği olmuştur.

Akuaponik terimi topraksız bitki üretimi (hidroponik) ve su ürünleri yetiştiriciliği (akuakültür) terimlerinin bir entegrasyonudur. Hidroponik terimi, besin değerleri yüksek su ve solüsyonlarda, topraksız bitki yetiştiriciliği anlamında kullanılmaktadır (Nelson, 2008). Akuaponik kültürde su ürünleri yetiştiriciliği neticesinde ortaya çıkan besin maddesi açısından zengin su, bitki yetiştiriciliği için ihtiyaç duyulan besinlerin kaynağını oluşturmaktadır. Yararlı bakteriler balıkların metabolik atıklarında bulunan toksik bileşenleri bitkilerin filtrasyonu ile besinlere dönüştürmektedir. Bitkiler ihtiyaç duydukları

besinleri tüketerek balıkların yaşadıkları suyun temizlenmesini sağlamaktadır. Bu doğal mikrobiyal işleyiş bitkiler ve balıklar için refah ortamı yaratırken hem balık hem de bitkilerin gelişimlerinin sürdürebilmesine olanak sağlamaktadır. Akuaponik sistem uygulamalarında bir biyolojik döngünün çıktıları, diğer bir biyolojik döngüye besin içeriği yaratmaktadır (Nelson, 2008). Bu da tek bir su alt yapısında iki ürün (balık ve bitki) elde edilmesi sonucunu beraberinde getirmektedir. Akuaponik sistemlerde işlenmiş gübre ya da solüsyon ilavesine ihtiyaç duyulmamaktadır. Bunun sebebi bitkilerin ihtiyaç duyduğu gübreyi balık dışkılarından sağlayabilmeleridir. Akuaponikte toprak kullanımı olmadığından zararlı otların büyümesini engellemek için herbisit ve pestisit ilavesine gerek duyulmamaktadır. Günlük su tüketimi minimal seviyededir. Tarlada ürün yetiştiriciliğiyle kıyaslandığında çok daha az alan kullanarak birim alandan daha fazla mahsul elde edilmektedir. İklim şartları uygun ise veya sera olanaklarında üretim yapılabiliriyorsa akuaponik sistemlerde tüm yıl boyunca üretim söz konusudur.

Akuaponik sistemler sürdürülebilirdir. Organik, sınırlı alan kullanan, alandan maksimum verim almayı hedefleyen, metabolik atıkları değerlendiren, organik balık ve sebze yetiştiriciliği ile sonuçlanan alternatif bir gıda üretim uygulamasıdır (Nelson, 2008). Günümüzde giderek artan gıda maliyetleri ve gıda maddelerinin içeriğindeki katkı maddeleri birçok insanın akuaponik sistemleri taze-katkısız besin kaynağı olarak fark etmesini sağlamıştır. Yerel tarıma tekrar artan ilgi işletmeciler, çiftçiler, yatırımcılar ve iş dünyasının ortak olarak dikkatini çekmektedir. Akuaponik sistem yaklaşımları tarımı yeniden keşfi, sürdürülebilirliği, gıda güvenliği temini açısından global olarak bir öncelik arz etmektedir. Global olarak baktığımızda tahmin edilen 2050 yılında şundaki yetiştiricilik kapasitesinin iki katı üretim yapılmasına gereksiniminiz olacağı düşünülmektedir (Nelson, 2008).

Bu çalışmada, ülkemiz akuakültür sektörü açısından yetiştiricilik potansiyeli yüksek bir tatlı su türü olan Karabalık/Afrika yayın balığının (*Clarias gariepinus*) akuaponik sistemler içerisinde yaygın olarak kullanılan Medyalı Yatak Sistemleri modellemesinde yetiştiriciliği yapılmıştır. Ticari potansiyeli bulunan bu yayın balığı çeşidinin Türkiye’de yetiştiriciliği henüz ticari boyutlara ulaşmamıştır, ancak kültüre alınma potansiyeli taşımaktadır. Bu tez çalışması ile kurulacak sistem, balık yetiştiricileri ile bitki yetiştiricilerini bir araya getirerek tek bir sistemde yetiştiricilik yapabilme imkânı oluşturmaktadır. *Clarias gariepinus* türünün ticari üretiminin yaygınlaştırılması, pazarda

tür çeşitliliğinin artırılması, sürdürülebilir yetiştiricilik uygulamalarından biri olan akuaponik sistem kullanılarak yetiştiriciliğin çevresel olumsuz etkilerinden uzaklaşmak, olumsuz etkileri bitkisel entegrasyon ile olumlu etkilere dönüştürmek tez çalışmasının önemini oluşturmaktadır. Mevcut akuaponik çalışmalarda mekanik ve doğal olmayan filtre tasarımları kullanılmaktadır. Çalışmanın mevcut akuaponik sistemlerden farkı tamamen organik/doğal materyaller kullanılarak kapalı devrede bir akuaponik sistem döngüsü sağlamaktır. Çalışmada akuaponik sistemler arasında yaygın kullanılan Medyalı Yatak Sistemi model olarak kullanılarak cam sera içerisine yerleştirilmiştir. Birçok araştırmacı tarafından da bildirildiği gibi bu sistemlerde torf, ince çakıl, hidroton ve perlit gibi ortamlar kurulmuştur. Perlit substratı su tutma kapasitesi yüksek bir madde olması ve ülkemizde ulaşılması kolay, ekonomik özelliklerinden dolayı tercih edilmiştir. Perlit ortamında günümüz gıda sektöründe önemli bir yere sahip olan, mutfak değeri nedeniyle dünyanın büyük bölümünde yetiştiriciliği yapılan domates (*Solanum lycopersicum*) bitkisi üretimi gerçekleştirilmiştir.

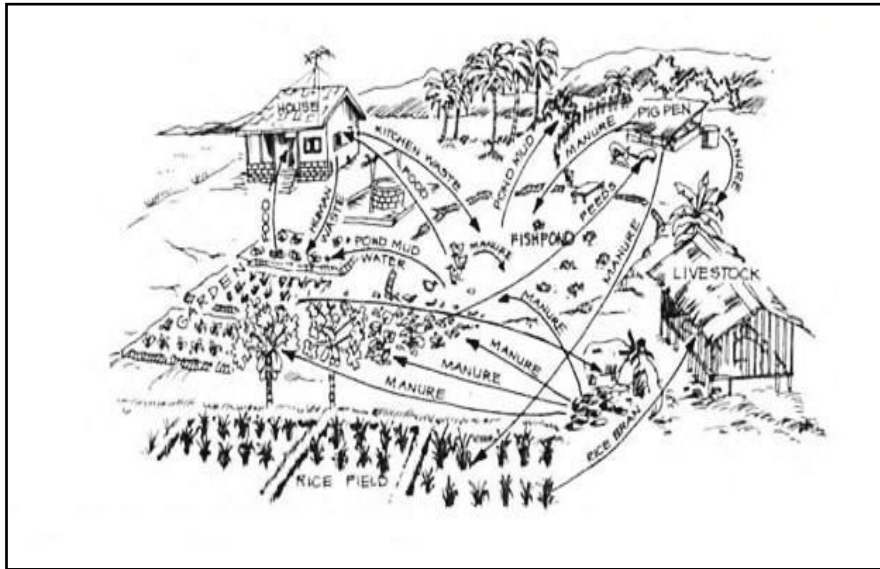
1.1 Geçmişten Günümüze Akuaponik Uygulamalar

“Akuaponik” kavramının meydana çıkışından daha öncelerinde (M.S. 1000) Aztek yerlilerinin bir göl yüzeyindeki sallarda bitki yetiştirdikleri bilinmektedir. Tenochtitlan adı verilen bir tatlı gölünün sulak alanlarında yerleşim göstermişlerdir. Aztekler bu gölün bataklık ve tepelerle çevrili olmasından dolayı gıda yetiştirecek alan sıkıntısı çekmişlerdir. Bu sorunu, akıllıca bir çözüm getirerek aşmışlar ve neticesinde büyük bir medeniyet haline gelmişlerdir. Aztek yerlileri gölün kıyısında buldukları kamışlar ve hasır otlarıyla dev sallar yapmışlardır. Ardından sallar göle salmışlardır. Salların üzerini göl dibindeki toprakla örtmüşlerdir. Bu alanda chinampa adını verdikleri yüzer adacıklar meydana gelmiştir ve sebze mahsullerini buraya ekmişlerdir (Şekil 1.1). Ürünler büyüdüğünde kökleri toprağı aşmış suya doğru ulaşmıştır. Halen orta Meksika’da bu yüzer adacıkların kalıntılarına rastlamak mümkündür (Nelson, 2008).



Şekil 1.1. Azteklerin kullandığı ilkel sisteme bir örnek (M.S. 1000) (Nelson, 2008).

Sanayi devrimiyle birlikte akuaponik sistem uygulamaları, akuakültür yetiştiricilerinin karaya, suya ve diğer kaynaklara ihtiyacını sınırlamaya yönelik yetiştiricilik yöntemleri arayışları sonucunda oluşmuştur.



Şekil 1.2. Akuakültür ve tarımın entegrasyonu (FAO, ICLARM & IIRR, 2001).

Akuakültür geleneksel uygulamalarında geniş hacimli havuzlarda/tanklarda yapılmaktadır. Son yıllarda Kapalı Devre Akuakültür Sistemlerine (RAS) yönelik birçok akademik araştırmalar yapılmaktadır. Nelson & Pade şirketinin verilerinde 3.78 L su ile 0.34 kg'a kadar balık üretimi yapılabildiği bildirilmiştir (Nelson, 2008). Sonuçta geleneksel metotla yapılan akuakültür uygulamalarına ayrılan alanlar ve suyun bir kısmıyla bile fazla miktarda balık üretimi gerçekleştirilebilir. Kapalı devre akuakültür uygulamaları ve bu konudaki araştırmaların başında Virgin Adaları Üniversitesi Tarımsal Deney İstasyonu (UVI) gelmektedir. UVI'nda balık üretimi sonucu oluşan organik madde içeriği açısından zengin atık sudaki besinlerin sucul bitkiler tarafından tüketilmesinde etkinliği üzerine araştırma çalışmaları yürütülmüştür. Deneme çalışmaları devam ederken, yerel bitki çeşitleri denenmiş ve akuakültür sonucu oluşan atık sular üzerinde etkili bir temizleyici olduğu bildirilmiştir (Rakocy ve ark., 2006).

Akuaponik sistemler üzerine çalışmalar yürüten kurum ve kuruluşlar arasında Virgin Adaları Üniversitesi Tarımsal Deney İstasyonu, Alberta (Kanada) Mahsul Çeşitlendirme Merkezi, Arizona Üniversitesi Çevre Araştırmaları Laboratuvarı, Oregon Üniversitesi, Güney Illinois Üniversitesi, Auburn Üniversitesi, Kuzey Carolina Üniversitesi, Washington Üniversitesi, Texas A&M Üniversitesi, NASA, Alchemy Enstitüsü, Rodale Enstitüsü, Queensland Üniversitesi ve RMIT Üniversitesi yer almaktadır.

Su ürünleri yetiştiriciliği ve topraksız tarımda bitki yetiştiriciliği uygulamaları antik çağlara kadar dayanmış olsa da bitki-balık entegrasyonu oldukça yeni bir uygulamadır. Akuaponik sistemler üzerine bilimsel araştırmalar 1970'li yıllara dayanmaktadır. Bilimsel araştırma merkezleri, üniversiteler gibi araştırma kurumları en son teknoloji uygulamalarını gözeterek akuaponik uygulamaları desteklemektedir. Virgin Adaları Üniversitesi Tarımsal Deney İstasyonu (UVI), Dr. James Rakocy yönetiminde 25 yıldan fazla süredir akuaponik sistemler üzerine bilimsel çalışmalar yürütmektedir. Geçen yıllarda, Dr. Nicolas Savidov yönetiminde Alberta Kanada'daki Mahsul Çeşitlendirme Merkezi, Virgin Adaları Üniversitesi'nin Tarımsal Deney İstasyonu'nun topladığı verileri geliştirmekte ve yeni akuaponik araştırmaları sürdürmektedir. Hidroponik- akuaponik mahsul denemelerinde, akuaponik bitkiler hidroponik olanlardan daha iyi performans sergilemiştir.

1990'lı yıllarda akuaponik kültürü Avustralya'nın kuraklık ve toprak problemlerine çözüm oluşturabilecek bir uygulama niteliği göstermekteydi. Avustralya kıtasında Geoff Wilson, akuaponik araştırmalar üzerine yayınlar, yazarak halkın ve hükümetin ilgisini ve dikkatini çekmeyi başarmış; toplantılar, seminerler düzenlenerek konuya önemli katkılarda bulunulmuştur. Malcolm J., Avustralya'da ev tipi hobi uygulayıcılarına yönelik taze gıdalar yetiştirmek üzere akuaponik sistemler uygulamaları tasarlamaya başlamıştır. "Arka Bahçe Akuaponiği" isimli yazılı ve görsel kaynaklar çıkararak Avustralya'da yeni bir akım oluşturmuştur. (Nelson, 2008).

Amerika'da aynı yıllarda Nelson ve Pade, kendi ticari hidroponik sistemlerine akuaponik sistemlere yönelik uygulamalara yönelmişlerdir. Akuaponik sistem tasarımlarından NFT (The Nutrient Film Technique) tasarımını içeren sistemlere geçiş sağlamışlardır. 1997'de Nelson & Pade "Aquaponics Journal" adlı çalışmalarını yayımlamışlardır. Bu sayede akuaponik teknolojisi ilk kez bu konuda çalışan araştırmacı ve girişimleri bir araya getirmiştir (Nelson, 2008). John Reid tarafından kurulan Bioshelters Amerika'da kurulan ilk ticari akuaponik serasıdır. Aynı yıllarda Brett Roe ve Wilson Lennard isimli akademisyenler, üniversitelerinde akuaponik alanında araştırma ve tez çalışmalarında bulunmuşlardır.

Akuaponik sistem uygulamalarında ticari potansiteli yüksek ürünlerin yetiştiriciliği ile ilgili birçok modern uygulamalar mevcuttur. Aynı zamanda modern insanın hayatında sürdürülebilir bir yaklaşım izleyen akuaponik sisteminin küçük ölçekli aile işletmeleri üzerine çalışmalarda bulunmuşlardır (Kurtoğlu ve ark., 2016).

2. LİTERATÜR BİLDİRİŞLERİ

1.2 Önceki Yapılan Çalışmalar

- 1977 Almanya, Naegel: Akuakültür atıklarındaki zararlı nitrojenleri azaltmaya çalıştı
- 1977 Güney Illinois Üniversitesi, William Lewis: Kedibaliğına entegre batıp çıkan bir sistem geliştirdiler
- 1981 Kanada, MacKay: Domates ve somon kültürünü birleştirdiler ancak deneyler kullanılabilir sonuçlar üretemedi.
- 1984 Virgin Adaları, Watter ve Busch: Domates ve tilapya geliştiren çakıllı kum hidroponik kültür kullanan bir sistem geliştirdi.
- 1993 Kuzey Carolina, McMurtry: Biofiltre boyutuyla ilgili araştırmalar yaptılar ve büyötmekle üretimin artacağını buldular
- 1993 Fransa, Quillere: Akuaponik en iyi şekilde çalışabilmesi için sistemin dönüşüm yapması gerektiğini buldular
- 1997 Seawright: Standart bir balık bitki oranı bulabilmek için balık bio kütlesi ile ilgili çalışmalar yaptılar. Tek bir standart olmadığını gördüler.
- 1980-günümüze UVI, Dr. James Rakocy: Tropik ortamlarda kullanılmak üzere ticari akuaponik sistem geliştirdiler.
- 2003-günümüze Burlington Araştırma Serası, New Jersey: Araştırmalar için akuaponik seralar kurdular.

- 2003-günümüze-Mahsül Çeşitlendirme Merkezi, Kanada: Yeni balık ve bitki türleri, soğuk iklim sistemleri üzerine çalışmalar yaptılar

Nelson and Pade (1990), akuaponik sistem modellerinin kendilerine ait olan ticari hidroponik seralarına entegre etmişlerdir. NFT (Besleyici Film Tekniği) tekniğini içeren birçok sistem modeli tasarlamışlardır. 1997 yılında bu bilgiler çalışma olarak basılmıştır. Nelson ve Pade'in "Akuaponik Dergisi" ilk kez akuaponik teknolojisini ve dünyada konuyla ilgilileri bir arada toplamıştır. 1999'da "Masaüstü Akuaponiği" kitabını ve 2003'de ilk videolarını yayınlamışlardır.

Avustralya'da akuaponik çalışmaları 1990'larda başlamasına rağmen konuya olan yoğun ilgiyle hemen popüler olmuştur. Zira, Avustralya'nın karşı karşıya kaldığı kurak ve fakir toprak problemini çözebilecek bir olguydu. Kıtanın dört bir yanından konuyla ilgili çalışmalar başlatılmıştır. Aynı zamanlarda kıtanın diğer ucunda, Joel Malcolm evsel üretimde taze gıdalara ihtiyaç olduğunu düşünerek akuaponik sistemler tasarlamışlardır. "Arka Bahçe Akuaponiği" isminde görsel ve yazılı yayın basılmıştır (Nelson, 2008).

MacKay and Vantoever, (1981), tarafından Kanada'da domates ve somon kültürü birleştirilmiş ancak deneyler yüksek mortalite ile sonuçlandığından kullanılabilir sonuçlar üretilenmemiştir.

Trang and Brix, (2012), Mekong Delta, Vietnam'da entegre akuakültür sistemlerine (akuaponik) yerleştirilen biofiltrenin sistem içerisindeki işlevini incelemişlerdir.

Kotzen and Appelbaum, (2010), Negev Çölü, İsrail'de acı su kaynaklarını kullanarak bir akuaponik sistem tasarlamışlardır. *Tilapia sp.* sebze ve bitki varyeteleri ile birlikte üç sistemde; acı su yüzen sal (RAFT) sistemi, acı su çakıl sistemi ve tatlı su yüzen sal (raft) sistemi yetiştirilmiştir.

Rakocy et al., (2006), Virgin Adaları Üniversitesi Tarımsal Deney İstasyonu (UVI)'nda balık türleri azalan ve tarım ürünlerini ithal etmek zorunda kalan tropik (sıcak ve sulak) ülkelerde kullanılmak üzere, ticari olarak uygulanabilir bir akuaponik sistem dizaynı (The UVI Aquaponic System) geliştirmişlerdir.

Savidov, (2005), Alberta, Kanada'daki Ürün Çeşitlendirme Merkezi'nde gerçekleştirdiği hidroponik- akuaponik mahsul denemelerinde, akuaponik bitkilerin hidroponik olanlardan daha iyi performans sergilediğini bildirmiştir.

Rakocy et al., (2004), UVI' nin ticari olarak uygulanabilir akuaponik sistem dizaynını kullanarak nil tilapia (*Oreochromis niloticus*) ve kırmızı tilapia balıklarını üretmişlerdir. Bu süre boyunca bitki türü olarak fesleğen ve bamya üretimi denenmiştir.

Seawright et al., (1998), standart bir balık bitki oranı bulabilmek için balık biyokütlesi ile ilgili çalışmalar yapmışlardır. Tek bir standart olmadığı bildirilmiştir.

Rakocy et al., (1992), su ürünleri üretimi sonucu oluşan organik besin içeriği açısından değerli, balık yetiştiriciliği sonucunda açığa çıkan atık suyun akuatik bitkiler tarafından tüketilmesinde faaliyeti üzerine araştırma çalışmaları yürütülmüştür.

Lennard, W. A. and Leonard, B. V., (2006), bir tatlı su akuaponik test sisteminde Murray Cod balığı ve marul çeşitlerini (*Lactuca sativa*, green oak) üç hidroponik sistem; Medyalı Yatak, Yüzer Sal (RAFT) ve Besin Film Teknikleri (NFT) arasındaki farklılıkları test etmek için kullanmışlardır. Murray cod balığı tüm sistemlerde FCR ve biomas açısından iyi sonuçlar vermiştir. Marul gelişimleri biyokütle kazanımı ve verim açısından iyi sonuç vermiştir. NFT, diğer dizaynlara göre nitrat içeriği ve bitki biyoması bakımından zayıf bulunmuştur.

Hu, Z. et al., (2015), akuaponik sistemde azot döngüsü farklı yenilebilir bitki türleri Pak Choi (*Brassica campestris L. subsp. chinensis*), domates türü (*Lycopersicon esculentum*) ile sistematik olarak incelemiş ve karşılaştırmışlardır. Domates kullanılan sistemde su kriterlerinin daha iyi olduğu görülmüştür.

Buzby and Lin (2014), sudaki besleyici elementlerin uzaklaştırılması için etkili bir üretim sistemi olan akuponik sistemlerin yeterince büyük olarak planlanması gerektiğini bildirmiştir. Bu çalışmada balıklardan ayrı (izole) bir yerde bulunan bitkilerin besleyici maddelerin uzaklaştırılmasında etkinliği ile ilgili metot geliştirilmiştir. Çalışmada marul (*Lactuca sativa*) ve latin çiçeği (*Tropaeolum majus*) bitkisi kullanılmıştır. Latin çiçeğinin

daha yüksek miktarda toplam amonyok azotu (TAN) ve nitrat uzaklaştırma kabiliyetine sahip olduğu görülmüştür.

1.3 Karabalık (*Clarias gariepinus*) Balığının Biyolojisi

Karabalık (*C. gariepinus*) Siluriformes ordosunda yer alan, *Clariidae* familyasındaki *Clarias* genusuna aittir. Ülkemizde bu türün Antalya'dan Antakya'ya kadar uzanan sahil kuşağındaki durgun ve akarsularda yaşayan tek tür olduğu görülmektedir (Turan vd., 2004).

C. gariepinus'un Güney Afrika Orange Nehri'nden tüm Afrika'ya, Afrika'dan Türkiye'ye kadar yayılım gösterdiği, doğal göller, balık havuzları, akan sular, derin ve sığ sularda yaşayabildikleri bildirilmiştir (Turan vd., 2004). Karabalık/Afrika yayın balığı Türkiye'de Silifke'den Antakya'ya kadar uzanan sahil kuşağı akarsuları ile tatlı su kaynaklarında doğal olarak yayılış göstermektedir. Bölgede geniş bir alanda çeltik ekimi yapılması ve DSI tarafından fazla sayıda drenaj kanallarının açılması ile bu türün üremesi, gelişebilmesi için müsait bir ortam sağlamaktadır.

Clarias gariepinus ile birlikte diğer clarias türlerinin (*C. batrachus*, *C. macrophalus*, *C. fuscus*) yıllık üretiminin 38 730 ton olduğu bildirilmektedir (FAO,1993).



Şekil 2.1. Karabalık (*C. gariepinus*) türü görüntü.

1.4 Domates (*Solanum lycopersicum*) Bitkisi ile İlgili Literatür Bildirişleri

Domates (*S. lycopersicum*) 2 metre kadar uzayabilen sarılgıcı bir bitkidir. Bitki havlı olup, kısa tüylerle kaplıdır. Tüyler duruma bağlı olarak yeni kökler oluşturabilmektedir. Doğal olarak Amerika kıtasında yayılış göstermektedir ancak mutfak değeri nedeniyle dünyanın büyük bir bölümünde yetiştirilmektedir. Böcek kovucu etkisi nedeniyle diğer bitkilerin yanına dikilmektedir. Yaprakları böcek öldürücü özellik taşımaktadır (Anonim, 2022).

Domates ılıman iklim sebzesidir. İdeal sıcaklık ortalaması 18°C ve 27°C arasındadır. Bu nedenle kuzey ve güney yarım kürenin 30. ve 40. paralelleri arasında kalan ılıman bölgelerde dış koşullarda yetiştiriciliği kolaylıkla yapılabilir. 10°C nin altındaki sıcaklıklar çiçek oluşumu üzerine olumsuz etki etmekte ve gece donlarında ürün ciddi zararlar almaktadır (Azul, 2002). Ilık ve sıcak iklimler domates yetiştiriciliği için uygundur. Bu bitki soğuğa karşı dayanıklı değildir. Vejetasyon döneminde -2 ve -3 °C sıcaklıklar bitkinin ölümüne neden olmaktadır. Vejetasyon dönemindeki uygun iklim koşullarının 4 aydan kısa süreli olması verimi olumsuz etkilemektedir. Domates bitkisi

optimum gelişme için en az 16-19 °C sıcaklığa ihtiyaç duymaktadır. Meyve bağlama 32 °C'nin üzerindeki ve 15 °C'nin altındaki sıcaklıklarda azalmaktadır (Anonim, 2008; Bayram ve Gülser, 2018).

Domatesin su tutma kapasitesi yüksek, organik madde ve besin maddeleri bakımında zengin, pH 5'ten yüksek topraklarda optimum gelişme gösterdiği görülmüştür (Anonim, 2008).

Domates su isteği fazla olan bir bitkidir. Çimlenme, çıkış, çiçeklenme ve meyve olma dönemleri bitkinin nem eksikliğine en duyarlı olduğu dönemlerdir (Anonim, 2008). Uygun iklim koşulları nedeniyle Türkiye domates üretiminde önemli ülkelerden biridir. Yetiştiriciliği yapılan bölgelerde, ülke ekonomisinde önemli bir yeri olan domates çiftçimizin önemli gelir kaynaklarından birini oluşturmaktadır. Özellikle Marmara, Akdeniz ve Ege'de önemli ölçüde domates yetiştirilmektedir. Diğer bölgelerde de domates yetiştiriciliği yapılmakta ise de bu üç bölge domates ihtiyacının büyük bir bölümünü karşılamaktadır (Bayram ve Gülser, 2018).

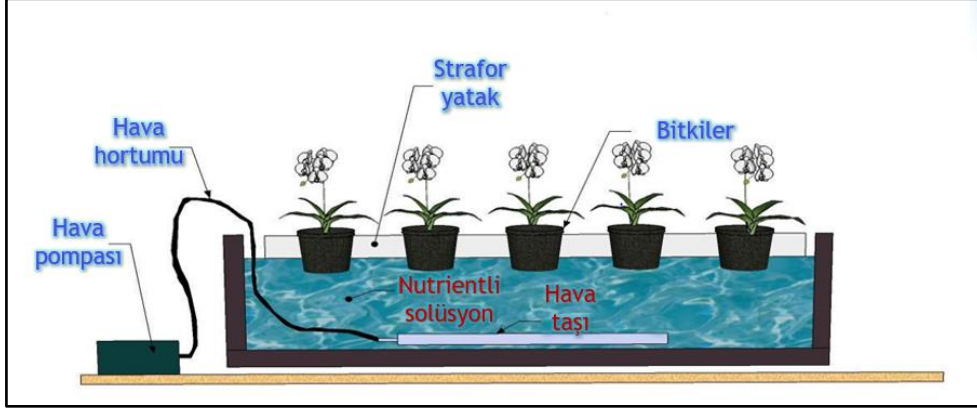


Şekil 2.2. Salkım domates (*Solanum lycopersicum*) bitki türü.

1.5 Hidroponik Sistemlerden Akuaponik Sistemlere Geçiş

“Hidroponik” kelime açısından “çalışan su” manasına gelmektedir. Besin içeriği açısından zengin solüsyonlarda ya da su içerisinde topraksız bitki yetiştiriciliği pratik olarak hidroponik sistemlerde yapılmaktadır. Hidroponik sistemler üreticinin çok daha az iş kabiliyeti, besin solüsyonu (gübre) ve su kullanarak daha verimli ve üretken bir şekilde bitki yetiştirmesine imkan sağlamaktadır. Bu kültürde bitkilerin büyüme ve gelişmeleri için ihtiyaç duyulan uygun su ve besin içerikleri optimum koşullar altında sağlanmaktadır.

Hidroponikte bitki yetiştirmek için toprağa gerek duyulmamaktadır. Toprağın içerdiği element, mineral ve besinleri besin içerikli solüsyonlar sağlamaktadır. Toprak bitki köklerinin yaşamını sağladığı ve bitkinin gelişimine destek olan besinlerin olduğu bir yerdir. Geleneksel hidroponik kültürün dezavantajları organik olmamaları ve gübrenin mutlaka işlenmesine ihtiyaç duyulmasıdır. Tipik bir hidroponik sistemi strafor yataklar, strafor yatakların içerisinde yüzen bitkiler, hava pompası, hava hortumu, hava taşı ve bitkilerin büyümesi için gerekli nutrientli solüsyon oluşturmaktadır.



Şekil 2.3. Tipik hidroponik sistem ve bileşenleri (<http://www.hydroponicsonline.com>) (Anonim, 2013).

Organik hidroponik kültürde potansiyel daha yüksektir. Pestisit ve herbisit, işlenmiş gübre kullanımı olmadan üretilen besinler yerel olarak yetiştirilerek halka sağlıklı bir en sağlıklı bir şekilde ulaştırılır. Söz konusu sebeplerle hidroponik bilimi ile uğraşan yetiştiriciler bitkilerin tüm besin gereksinimlerini sağlayacak bir hidroponik gübre solüsyonu elde etmek için arayışa girmişlerdir. Bunun eldesinin oldukça zor ve organik

hidroponik gübrelerin pahalı olmaları ayrıca bitki kültürü için de yeterli elementleri içermemesi yapılan birçok çalışma sonucunda açığa çıkmıştır. Sonuç olarak organik yetiştiricilik için istenilenlerin akuaponik sistemler ile karşılanabileceği kanaatine varılmıştır (Nelson, 2008).

1.6 Akuaponik Sistem Modelleri

Akuaponik kültürü için RAFT (Sal sistemleri), NFT ve Medya Dolgulu Yatak olmak üzere geliştirilen temel 3 farklı tasarım bulunmaktadır (Nelson, 2008). Bu tasarımlar modifiye edilerek çeşitli konfigürasyonlar denenebilir.

RAFT sisteminin yüzen sistem, sal sistemi, derin kanal sistemi, derin akış sistemi olarak adlandırılan diğer isimleri de mevcuttur. Sal sisteminde (RAFT) bitkiler, su üzerinde yüzen strafor köpükler üzerine yetiştirilmektedir. Genel olarak bitki tankının balık tankından ayrı olması tercih edilmektedir. Sal sistemleri, sistemdeki suyun önce balık tanklarından filtrelerle, ardından da yüzey alanı geniş olan suyla dolu tanklara sürekli olarak devir daim yaptığı bir tasarımıdır (Nelson, 2008).

Tanklarda bitkilerin kökleri suyun dibine uzanacak şekilde sala benzeyen straforlar üzerinde yer almaktadır.

Tank ortamında biriken katı atıklar sistemden bir ayrıştırıcı ya da katı giderme aygıtı kullanılarak yok edilmektedir. Virgin Adaları Üniversitesi Tarımsal Deney İstasyonu'ndaki (UVI) bilim insanları üretim yapan pek çok insanın kullandığı ticari potansiyeli olan sal sistemi geliştirmişlerdir. Akuaponikte sal sisteminin oldukça uygun olması ve geniş kullanım alanlarıyla fazla sayıda veri ve araştırma tabanını oluşturduğunu bildirmişlerdir (Rakocy et al., 2006).



Şekil 2.4. Sal (RAFT) sisteminden bir görünüm (Nelson, 2008).

Yüzer sistem akuaponik modelinde su, tank içerisinde 24 saate bir sürekli olarak devir daim yapmaktadır. Pompa yardımıyla suyun çökeltme tanklarından balık tankına aktarımı sağlanmaktadır. Top valfler balık tanklarına akışı düzenlemektedir. Su, balık tanklarından geçerek sistemin geri kalan bölümüne akmakta, ardından yerçekimi vasıtasıyla toplama tankına geri dönmektedir. Sistem kurulduktan sonra buharlaşma ve transpirasyon sebebiyle bir miktar su kaybolmakta ve kaybolan suyun yerine temiz su ilave edilerek tamamlanmaktadır. Eklenicek olan temiz suyun gereksinimini, çökeltme tankında yer alan ve yüzen bir valf ayarlamaktadır. Sal sisteminde filtreleme tankında bulunan bir elek, akuaponik sistemdeki balıkların strafora ekimi gerçekleştiren bitki tanklarına girmesini önlemektedir. Tilapia bitki tankına girer ise bitki köklerinin yiyeceği için ve bunun sonucu bitki büyümesini yavaşlatacağından problem yaratabileceği bildirilmiştir (Rakocy et al., 2004)

UVI sistem bileşenleri aşağıdakilerden oluşmaktadır:

- yetiştiricilik tankları
- feçes ve tüketilmeyen yemlerin uzaklaştırılması amacıyla kullanılan ayrıştırıcılar
- çökeltme tankları

- gazdan uzaklaştırma tankı
- pH düzenleyici tanklar
- su pompaları
- havalandırma ekipmanları
- yüzer bitki yatakları

UVI sistemde yer olan bileşenler için spesifik olan matematiksel hacim oranları hesaplamaktadır. Oranlar sabit tutularak sistemin büyüklüğüne karar verilebilmektedir (Rakocy et al., 2004).

Dünya genelinde kullanılan hidroponik metotlardan biri besleyici film tekniği (NFT) dir. NFT sisteminde bitkiler, besince zengin solüsyonun devridaim yaptığı kanallarda yetiştirilmektedir. Bitki kökleri besleyici solüsyon filmi geçişi esnasında nemli kalmaktadır. Bu sistemin mantığı bitki köklerinin gelişme ortamları içerisinde solüsyon uygulanarak tepe kısımlarının su ile temas ettirilmeden nemlendirilmesidir. NFT olukları sürekli olarak dakikada yaklaşık bir litrelik su akışıyla beslenmektedir. Bitki köklerinin bir gelişim ortamı içerisinde ekimi söz konusu olmadığından dolayı, sürekli olarak nemli tutulmalarına ihtiyaç duyulmaktadır. NFT sistemi, kısa sürede yetiştiriciliği yapılabilen ve gelişim gösteren marul, yapraklı bitkiler ve yeşil otlar için çok uygundur (Rakocy et al., 2006). Genellikle NFT kanalları, besince zengin suyun kanalın diğer ucuna çıkış sağlanacak düzeyde eğim verilerek yaklaşık 1 metre yükseklikteki platform yerleştirilmektedir.



Şekil 2.5. NFT (Besleyici Film Tekniği) sisteminin genel görüntüsü.

Hidroponik sistemden akuaponik kültüre geçmeyi düşünen yetiştiricilere uygun bir seçenektir. Hidroponik işleyişe sahip bir besleyici film tekniği (NFT) sistem tasarımı besin solüsyonu olarak öncelikle bir rezervuarda karıştırılmaktadır. Kanallar boyunca dolaşmakta ardından tekrar rezervuara geri dönmektedir. Akuaponik işleyişe sahip bir NFT sisteminde ise, balık tanklarından gelen besince zengin su, katı atığın ortamdan uzaklaştırılmasını gerçekleştiren başka bir düzenek ile akmaktadır. Biyofiltre kullanımıyla NFT tasarımlarında faydalı bakterilerin kolonileşmesini sağlayan geniş bir alan olmadığından dolayı oldukça önemlidir.

Akuaponik NFT sistemleri ile RAFT (sal) akuaponik tasarımları arasında gözle görülen birkaç değişiklik vardır. Bunlar içerisinde en önemlisini sistemdeki su hacmi oluşturmaktadır. NFT sistem tasarımı sadece kanallardan bitki yataklarına ince bir film şeklinde su akışı vardır. Sal görünümlü sistemde bitkiler, 3 m derinliği bulunan suyla dolu tanklardaki strafor köpükten yapılmış salları üzerlerinde yüzmektedir (Nelson, 2008). NFT ve RAFT sistemleri arasındaki temel ayrım su hacimleri arasındaki farktır. Direkt olarak balık-bitki yetiştiricilik miktarlarına etki etmektedir. Bir NFT sistem tasarımı balık ve bitkilerle benzer besin girişi, yüzer sistem tasarımına göre 4 kat daha fazla besin yoğunluğu ortaya çıkarmaktadır. NFT tasarımı dezavantaj olarak görülen hacim düşüklüğünün tek avantajı budur. Yani teorik olarak NFT sistemlerinde dört kat daha fazla sayıda bitki veya $\frac{1}{4}$ oranında balık yetiştiriciliği yapılabilmektedir (Nelson, 2008).

Medyalı yatak sistemi, balık tankından gelen atık suyun medya destekli (substrat dolgulu) bir bitki büyüme yatağında biriktiği akuaponik sistem tasarımlarından biridir. Medya dolgulu yatak tasarımında bitki yatağı çakıl, kaya, perlit, vermikülit vb. substratlarla doldurulan tank ya da yataklarla desteklenmektedir. Periyodik olarak bu bitki yataklarına balık tankından su akışı sağlanmakta ardından su geri dönerek balık tankına akmaktadır.

Balık tanklarından gelerek sistemde dolaşan besin içerikli suyun, PVC malzemelerden oluşan, tarımda kullanılan damla sulama sistemlerine benzeyen bir dağıtım metodu kullanılarak bitki kültürü yapılan yataklara homojen olarak dağılması sağlanmaktadır. Su ile birlikte gelen atıklar PVC damla sulama borularından geçerek çakıl, vermikülit, kokopit ya da perlit dolgulu bitki yataklarına gelmektedir. Bitki yetiştirme yatağı bu su ile tamamen doldurulmakta ve eş zamanlı olarak drenaj yapılmaktadır (Şekil 2.4). Drenaj bitki yatağını taze oksijen ile beslerken, su pompalama işlemi bitki yataklarına hem temiz su hem de besin iletimi gerçekleştirmektedir. Bu sistem doğası gereği organik maddelerin çözünmesiyle beraber tıkanmaya uygundur. Ortamda oluşabilecek tıkanıklıklar düzenli besin akışını engelleyeceği için bitkilerin büyümesini yavaşlatabilmekte ve hatta bitki köklerini öldürebilen anaerobik bakterilerin üremesine uygun ortam yaratabileceğinden kaynaklı yatağın periyodik şekilde boşaltılarak temizlenmesi gerekmektedir.



Şekil 2.6. Perlit içerikli yataklarda akuaponik çalışması.

1.7 Topraksız Tarımda Kullanılan Sistemler ve Literatür Bildirileri

Topraksız tarım iki bölümde ele alınmaktadır (Diver, 2006). Besin çözeltileri içerisinde bitki yetiştiriciliği yapılmasına “su kültürü (hidroponik)” adı verilmektedir. Bitkilerin katı ortamlarda gerçekleşen yetiştiriciliğine ise “ortam (substrat) kültürü” denilmektedir.

Substrat (Ortam) kültürü: Ticari olarak dünyada ve ülkemizde ortam kültürü en fazla kullanılan tekniktir. Ortam kültüründe organik (torf, kokopit, vb.) ve inorganik substratlar (vermikülit, kil, perlit, kaya yünü, vb.) tercih edilmektedir (Diver, 2006).

Su (solüsyon) kültürü: Ortamda kültüründe yalnızca besin solüsyonu kullanılıyor ise bu sisteme solüsyon kültürü denilmektedir (Diver, 2006).

Gelgit tekniği: Daha çok hobi amaçlı, evsel üretimlerde tercih edilen bu teknikte bitkiler besin solüsyonları ile dolu kaplara konularak üzerlerinde bitki yetiştiriciliği yapılmaktadır. Bitki köklerine oksijen taşınması için günde 3–4 kez kaplar boşaltılarak yeniden besin içeriği ile doldurulmaktadır (Diver, 2006).

Durgun su tekniği: Yapraklı bitkilerin yetiştiriciliğine uygun olan bir tekniktir. Bu teknikte bitkiler dikdörtgen polyesterden yapılan straforlar üzerinde sabit olarak durmaktadırlar. Besin solüsyonları çeşitli kaplara konmaktadır. Motor kullanımı ile besin maddeleri pompalanır ve bu sayede besin solüsyonlarının çökmesi önlenerek bitki kökleri için ihtiyaç duyulan oksijen ortama kazandırılmaktadır (Diver, 2006).

Akan su tekniği: Besin solüsyonunun pompa kullanılarak tanklardan bitki köklerine verildiği ve ardından tekrar bitki tankında geri toplandığı tekniktir. Sistem devridaim ederek bitki köklerine oksijen taşınmaktadır (Diver, 2006).

İtalya’da yapılan bir çalışmada yapraklı sebzelerin yetiştiriciliğinde kolay ve ekonomik bir yöntem olan akan su kültürünün (NFT) uygulanmasının avantaj oluşturabileceği bildirilmiştir (Miceli et al., 2003).

Aerasyon (pulverizasyon) tekniği: Bu teknikte besin solüsyonu sprey şeklinde uygulanarak verilmektedir. İnce zerrecikler şeklinde besleme yapılması ile köklere optimum düzeyde oksijen kazandırılmaktadır (Diver, 2006).

Multitrofik akuakültür yetiştiriciliği: Trofik seviyeleri farklı olan akuatik canlıların entegrasyonu ile yeni bir akuakültür tekniği geliştirilmiştir. Balık-bitki entegrasyonunu model olan ve faydaları üzerine çalışılan birçok yayın vardır (Serezli vd., 2016; McMurty, 1990).

Hermnandez et al., (2002) Su kültürü içerisinde bitkilerin çözünmemiş azot ve fosfor filtrasyon kapasiteleri oldukça fazla olduğundan balık-bitki entegrasyonunun ortak kullanım için uygun olduğunu bildirmiştir.

Balık-bitki entegrasyonunun sağlanmasıyla su rezervlerinin korunması ve aynı anda tek bir alt yapıda balık-bitki yetiştiriciliğinin yapılması sağlanmaktadır (Rakocy et al., 1993).

Kullanılan teknikte sistem içerisindeki besin solüsyonunun devir daimi sağlanıyor ise bu sistemlere “Kapalı Sistem” denmektedir. Eğer sistem içerisindeki besin solüsyonu tek seferde kullanıldıktan sonra atılıyorsa bu tip sistemlere “Açık Sistem” adı verilmektedir. Kapalı sistemlerin dezavantajlarından biri sistem içerisindeki besin solüsyonunun kompozisyonun değişmesiyle hastalıkların hızlı bir şekilde yayılabilecek potansiyelde olmasıdır (Marhaba, 1998).

1.8 Perlit Madeni

Perlit, yüksek ısıda genleşme özelliği bulunan, genleştirildiği takdirde çok hafif ve gözenekli bir yapıya geçen inci parlaklığında, gri-beyaz, gri-siyah renğinde bir kayadır. Perlit, içerisinde %70’den fazla silis içeren Maden Kanunu’nda 4.Grupta yer alan maden cevheridir (Orhun, 1969). Perlit bir mineral değildir, kayaç olarak bilinmektedir. Bir kısım perlit türleri kırıldığında inci parlaklığında kürecikler oluştuğu için perlit ismi verilmiştir. Perlit sözcüğü inci anlamına gelen “*perle*” kelimesinden türetilerek isimlendirilmiştir (Orhun, 1969).



Şekil 2.7. Genleşmiş perlit.

Ham perlit, çeşidine göre, 750 ile 950 °C arasında ısıtılınca, içindeki bünye suyunun buhar halinde çıkmasıyla mısır gibi patlayarak, ham tane büyüklüğüne göre hacmi 9 ile 20 kat artarak geriye çok gözenekli yapıda ve camsı görünümünde genleşmiş perlit haline gelmektedir. Perlitin en önemli özelliği %2-6 oranında değişim gösteren içeriğindeki bünye suyudur. Bünye suyu perlitin genleşmesini sağlamaktadır. Genellikle 750-900°C aralığında genleşen perlitlere “aktif perlit”, 900-1100°C aralığında genleşen perlitlere ise “pasif perlit” denilmektedir (Doğusan A.Ş., 2022). Genleşme kabiliyeti, perlitin kimyasal bileşimine ve bünye suyu miktarına bağlıdır.

Perlit madeni açık ocak maden işletmeciliği yöntemi ile çıkarılmaktadır. Kırma-öğütme-kurutma-sınıflandırma işlem basamaklarının ardından genleştirilmiş perlit üretilmektedir.

Dünya perlit rezervleri volkanik kuşak içerisindeki alanlarda yer almaktadır. Amerika Birleşik Devletleri., Bağımsız Devletler Topluluğu, Türkiye ve Yunanistan perlit rezervleri açısından zengin ülkeler sınıfındadır (Doğusan A.Ş., 2022).

Yapılan araştırmalar neticesinde Türkiye’nin toplam perlit rezervi 4,5 milyar ton olarak bildirilmiştir. 1980 sonlarında Türkiye modernizasyon kavramının hayata geçmesiyle birlikte büyüme programlarını uygulamış ve bu sebeple pazarlarda hızlı bir büyüme sağlamıştır (Doğusan A.Ş., 2022).

Hali hazırda işlenmiş perlit ürünlerini en fazla üreten ve tüketen ülke Amerika Birleşik Devletleri'dir. Perlit madenleri ve ocakları A.B.D.'nin batı eyaletlerinde yayılım göstermektedir. Bu bölgeler New Meksiko, Arizona, Kaliforniya, Kolerado ve Nevada'dır (Doğusan A.Ş., 2022).

A.B.D. 'nin doğu bölgesindeki çoğu perlit genişletme tesisi kırılmış-elenmiş perliti özellikle Yunanistan'dan ithal etmektedirler. Bunun esas sebebi okyanus navlununun demiryolu navlununa göre ucuz olmasıdır.

Batı Avrupa'daki en büyük perlit üretici ülke Yunanistan'dır. İtalya, Macaristan, Çekoslovakya, Fransa ve Türkiye sırası ile takip etmektedir. (Doğusan A.Ş., 2022).

Perlitin ülkemizde en geniş rezervi Erzincan Mollatepe'de ve Ankara civarı ile Nevşehir Bölgesi ve İzmir-Bergama'da bulunmaktadır. Ülkemizde yeterli perlit kapasitesi olmasına rağmen yurtiçi talep çok sınırlı kalmıştır. Bunun esas sebebi perlit madeni konusunda yeterli tanıtımın ve Ar-GE'nin yapılmamış olması gösterilebilir. Perlit ve ürünlerinin kısmen bilinmesi sonucunda da başka hammaddelere göre teknik özellikleri bilinmemektedir. Bu bilgisizlik uygulamalarda kullanımında engel teşkil etmektedir. 1970'lerde seralarda topraksız tarımın ticari olarak yaygın kullanımına başlanmıştır. Bunun sebebini bu yıllarda ortaya çıkan enerji krizi sonucu buhar ile toprak dezenfeksiyonunun çok pahalı bir uygulama haline gelmesi oluşturmaktadır. Bu şekilde kullanılmaya başlanılan topraksız tarım günümüze kadar artan bir hızla yaygınlaşmıştır. Bazı ülkelerde sera üretimi tamamen topraksız tarım ile gerçekleştirilmektedir.

1.8.1 Perlitin Fiziksel ve Kimyasal Özellikleri

Ham perlitin rengi şeffaf açık gri renginden parlak siyah rengine kadar değişmektedir. Genleştikten sonra renk tamamen beyaz olur. Perlitlerin renk ve yapıları birbirinden farklı olabileceğinden gözle teşhisi zordur. Perlitlerin kırılma indisi 1,488-1,506 arasındadır; ortalama değeri 1,497'dir. Polarize ışıktaki perlit camı izotropiktir, ancak bazen hafif bir çift kırma gösterir (Orhun, 1969). Perlitin yapısı konsantrik çatlaklar ihtiva

eden, ufak parçalara ayrılmış ve inci parlaklığında bir cam şeklindedir. Piyasa talebine ve kullanım alanına göre çeşitli boyutlarda üretimi yapılmaktadır.

Fiziksel Özellikler

Renk : Beyaz, gri ve tonları

Yumuşama noktası : 870-1100°C

Ergime noktası : 1260-1343°C

OH : 7.5-8.0

Özgül ısı : 0.2 Cal/g°C (837 J/Kg.k)

Özgül ağırlık : 2.2-2.4 g/cc (2200-2400 Kg/m³)

Refraktif İndeks : 1.5

Serbest nem (%) : Maksimum 0.5

Bünye suyu (%): 2,50-6,00

Ağırlık kaybı : İstenildiği kadar

İşlenmiş yoğunluk: 1200-1300 kg/m³

Gevşek yoğunluk : 35-120 kg/m³ (Genleştirilmiş)

Isı iletkenliği : 0.04 W/m.k (Genleştirilmiş)

Kimyasal Özellikler

Çizelge 2.1. Perlitin kimyasal özellikleri.

SiO ₂	71.0 - 75.0
AlO ₃	12.5 - 18.0
Na ₂ O ₃	2.9 - 4.0
K ₂ O	0.5 - 5.0
CaO	0.5 - 0.2
Fe ₂ O ₃	0.1 - 1.5
MgO	0.02 - 0.5
TiO ₂	0.03 - 0.2
MnO ₂	0.0 - 0.1
SO ₃	0.0 - 0.2
FeO	0.0 - 0.1
Cr	0.0 - 0.1
Ba	0.0 - 0.05
PbO	0.0 - 0.03 / 0.3
NiO	Eser
Cu	Eser
B	Eser
Be	Eser
Serbest silis	0.0 - 0.2
Toplam klorürler	Eser - 0.2
Toplam sülfatlar	Hiç Yok

Perlit kimyasal olarak inert yapıda olup pH değeri yaklaşık 7'dir. Bu değerleri ile perlit geniş bir kullanıma sahiptir (Yıldız, 2020).

1.8.2 Topraksız Tarımda Perlit Kullanımı

Perliten en önemli özelliği bünyesine aldığı suyu uzun süre tutabilme kabiliyetidir. Perlit, tarım toprağının fiziksel özelliklerini artırıcı “substrat” maddesi olarak kullanıldığında topraktaki su kaybını azaltarak ortamın nemini korumakta, gözenekliliği ile toprağın havalanmasını sağlamakta, böylece bitkiler için en uygun üreme ve büyüme ortamı oluşturmaktadır. Bu özellikleriyle perlit bahçelerde, seracılıkta, fide yetiştirmede, organik ve kültür tarımında yaygın olarak kullanılmaktadır.

Topraksız tarım; her türlü tarımsal üretimin durgun veya akan besin eriyiklerinde veya besin eriyikleriyle beslenmiş katı ortamlarda gerçekleştirilmesidir. Üretimin doğrudan

besin eriyiklerinde gerçekleştirilmesi su kültürü (hidroponik), sulamanın besin eriyikleriyle yapılması koşuluyla perlit, kum, çakıl, kayayünü, talaş gibi ortamlarda gerçekleştirilmesi katı ortam (substrat) kültürü olarak adlandırılmaktadır (Sevgican, 2003).

Topraksız kültürün amacı; bitkilerin gelişmesini besin solüsyonu yardımıyla sağlamak, bitkilerin besin madde ve su gereksinimlerini stres meydana getirmeden karşılamak ve bunu ekonomik olarak gerçekleştirebilmektir.

Genleştirilmiş perlit bazı minerallerin desteğiyle tarım ürünlerinin büyüüp ürün verebilmeleri için tüm gereksinimlerini karşılayabilecek bir ortam hazırlamaktadır.

Ahududu, böğürtlen, sofralık üzüm, domates, biber, patlıcan, kabak, salatalık, fesleğen vb. çok değişik meyve ve sebze üretiminde verimliliği ve sağlıklı ürün üretimini sağlamaktadır.

Topraksız Tarımda Perlit Kullanımının Avantajları (Shiffler, 2022):

- ✓ Steril yapısı tohumculuk için son derece müsaittir. Bitkilerin köklerinin çürümesi ya da sönmesi çok zordur.
- ✓ Bitki gelişim için gereksinim olan mineralleri doğal mikrobiyal süreçle karşılamaktadır.
- ✓ Düşük maliyetli bir absorbanttır. Ülkemizde perlit madenleri mevcuttur. Kolayca temin edilebilir ve üretimi kolaydır.
- ✓ pH ayarlanması gerekmemektedir. Genel pH'ı ayarlamaz, nötrdür.
- ✓ Diğer bazı yetiştirme ortamlarının kullanımdan önce yaptığı gibi yıkama gerektirmeyen toksik olmayan bir maddedir.
- ✓ Seralarda bitkilerin ekimi yapılacağı dönemde perlit parçacıkları bitkilerin kök kısımlarına zararı dokunmadan perlitten çıkarılmasına müsaade ettiğinden dolayı fide çimlenmesi ve bitki yayılımı için çok uygundur.
- ✓ Parçalanmadığı için her yıl yeniden kullanılabilir.

Topraksız Tarımda Perlit Kullanımının Dezavantajları (Shiffler, 2022):

- ✓ Çok hafif olduğu için perlit havaya uçabilir ve fazla suda yüzmeye eğilimlidir.
- ✓ Su hızla boşalabilir. Perlit, büyük yüzey alanında suyu adsorbe etmektedir ama yapısı amorf volkanik cam olduğu için suyu sıkı bir biçimde tutamaz.
- ✓ Yenilemez yani yiyecek tüketimine uygun bir kaynak değildir. Kolay bulunabilmesine rağmen, hindistan cevizi (kokopit) gibi yenilebilir/tüketime uygun değildir.
- ✓ Perlit tozu, nefes problemlerine ve göz irritasyonuna neden olabilmektedir. Perlit ile çalışanların toza yönelik maruziyeti azaltmak/önlemek için gözlük ve maske takarak iş güvenliği ve sağlığına yönelik önlemler alınmalıdır.

3.MATERYAL VE YÖNTEM

1.9 Materyal

Çalışma Aralık 2018- Ağustos 2019 tarihleri arasında Ege Üniversitesi Su Ürünleri Fakültesi Urla Akuakültür Tesisleri, Deney Hayvanları Laboratuvarı ve ikinci danışman hoca yönetiminde İzmir Kâtip Çelebi Üniversitesi Su Ürünleri Fakültesi Tesisleri'nde yürütülmüştür.

1.9.1 Çalışmada Kullanılacak Balık Materyali

Bu çalışmada kullanılan Karabalık (*Clarias gariepinus*) türü balık materyali İzmir ilinde faaliyet gösteren Ortadoğu Akvaryum Tropikal Balık Deposu isimli özel bir işletmeden temin edilmiştir. Bu yayın balığı türünün ülkemizde yetiştiriciliği yapılmaktadır

ancak üretimi ticari boyutlara ulaşamamıştır. Mutfak karakteristiklerine ve damak tadına uygun olması nedeniyle ticari yetiştiricilik potansiyeli olduğu düşünülmektedir. Türkiye'nin Güney Ege, Akdeniz gibi sıcak bölgelerinde kültüre alınabilir. Karabalık türünün biyolojisine yönelik yapılan akademik çalışmalar oldukça az olduğundan bu türün yetiştiriciliğinin yapılması bilimsel araştırmalarda önem teşkil etmektedir. Tez çalışmasının yürütüldüğü İzmir ili *C. gariepinus*'un yetiştiricilik koşulları için çok uygundur.

Çalışmada kullanılan balıklar ilk olarak E.Ü. Su Ürünleri Fakültesi Deney Hayvanları Laboratuvarı'nda besi ortamına alınmıştır. Uygun sıklıkta canlı ağırlık tartımları yapılmış, günde 2 kez ad-libitum besleme yapılarak canlıların davranışları izlenmiş ve günlük yem alımı takip edilmiştir. Karabalıkların (*C. gariepinus*) yetiştiricilik koşullarına adaptasyon sağlaması ile birlikte İzmir Kâtip Çelebi Üniversitesi Su Ürünleri Fakültesi Tesisleri'nde kurulumu yapılan Akuaponik Sera ortamına transferi sağlanmıştır.



Şekil 3.1. Akuaponik sistemde Karabalık (*C. gariepinus*) türü.

1.9.2 Çalışmada Kullanılan Bitki Materyali

Bu çalışmada İzmir-Bergama ilçesinde yer alan Agrobay Seracılık İthalat İhracat San. ve T.A.Ş. kuruluşundan temin edilen domates (*Solanum lycopersicum*) bitkisi kullanılmıştır. Akuaponik deneme düzeneğine ekim için 14 günlük domates fideleri tercih edilmiştir (Şekil 3.3)



Şekil 3.2. Domates fidesi.

1.9.3 Çalışmada Kullanılan Akuaponik Sistem Düzeneği

Çalışmada akuaponik sistem tasarımlarından Medya Destekli Yatak Sistemleri (MDYS) kullanılmıştır.

Medya dolgulu yatak sistemi modeli balık tankından gelen tüm atık suyun substrat dolgulu bir bitki yetiştirme ortamında (yatak) toplandığı, küçük ölçekli akuaponik sistem tasarımlarından biridir

Medya dolgulu yatak tasarımımda bitki yatağına çakıl, kaya, perlit, kokopit vermikülit ya da bir başka substrat ile doldurulan tank ya da yatak kullanılmaktadır. Periyodik olarak bu bitki yataklarına balık tankından su akışı sağlanmakta ardından su balık tankına geri dönmektedir.

Balık tanklarından sisteme dağılan besin içerikli suyun, PVC malzemelerden oluşan, tarımda kullanılan damla sulama sistemlerine benzer bir dağıtım yöntemiyle bitki yetiştirme yatağına eşit olarak dağılması sağlanmaktadır. Su ile birlikte gelen atıklar PVC damla sulama borularından geçerek çakıl, vermikülit, kokopit (hindistan cevizi torfu) ya da perlit dolgulu bitki yataklarına gelmektedir. Bitki yetiştirme yatağı bu su ile tamamen doldurulmakta ve eş zamanlı olarak drenaj yapılmaktadır (Şekil 3.4).



Şekil 3.3. Akuaponikte medya destekli yatak sistemi uygulamaları, İzmir Kâtip Çelebi Üniversitesi.

Drenaj bitki yatağını taze oksijen ile beslerken, su pompalama işlemi bitki yataklarına hem temiz su hem de besin iletimi gerçekleştirmektedir. Bu sistem doğası

gereği organik maddelerin çözünmesiyle beraber tıkanmaya uygundur. Ortamda oluşabilecek tıkanıklıklar düzenli besin akışını engelleyeceği için bitkilerin büyümesini yavaşlatabilmekte ve hatta bitki köklerini öldürebilen anaerobik bakterilerin üremesine uygun ortam yaratabileceğinden kaynaklı yatağın periyodik olarak boşaltılması ve temizlenmesine gereksinim vardır.

Çalışmada akuaponik sistem olarak Medya Destekli Yatak Sistemi tasarımında balıkların ortamı için 3 adet 500 litre hacminde kare balık tankı ve bitkilerin ortamı için 9 adet dikdörtgen şekilli 64 x 100 x 53 cm (boy x en x yükseklik) ölçülerinde PE yataklar kullanılmıştır (Şekil 3.5).



Şekil 3.4. Akuaponik ünite içerisindeki balık tankları ve bitki yatakları.

Çalışmada kullanılan balık tankları 100 cm x 100 cm x 50 cm ebatlarında ve PVC malzemeden yapılmıştır. Bu tanklara deneme esnasında 250 litre su (yaklaşık yarısına kadar) doldurulmuştur. Deneme kullanılan balık sayısı ve ağırlıklarının yanında Karabalıkların tank ortamından atlama davranışını önlemek için tank hacminin yarısı kullanılmıştır. Böylece denemede planlanan stok yoğunlukları 10-15-20 kg/m³ değerlerine ulaşılmıştır.

Balık tankları bitki yataklarından daha yüksek bir konuma yerleştirilmek suretiyle, suyun kendi cazibesi ile akması sağlanmıştır. Balık tankından gelen besince zengin su kendi cazibesi ile bitki yatağına akmakta ve bitki tarafından filtre edildikten sonra kalan su, bir çökeltme tankında dinlendirilerek dalgıç pompa aracılığı ile balık tankına geri basılmaktadır. Bitki yatağı olarak PVC malzemeden kasalar içerisinde perlit substratı ile dolu bigbag adı verilen torbalar kullanılmıştır.

Domates fidelerinin perlit substratı ile doldurulan Dolgu Materyali Yatak Sistemlerine ekimi sağlanacaktır. Ortam kültüründe bitkilerin gereksinim duyduğu, gelişimleri için ihtiyacı olan tüm nutrientleri içeren su ve besin çözeltileri damla sulama sistemlerine benzer bir yolla verilerek karşılanmaktadır. Domates fidelerine balık tankından gelen suyun iletiminde damla sulama sistemlerine benzer bir iletim sistemi kullanılmıştır (Şekil 3.7). Damla sulama sistemini oluşturan boru, vana gibi ekipmanlar temin edilerek akuaponik sistem içerisine eklenmiştir.

1.9.4 Çalışmada Kullanılan Perlit Substratı ve Bitki Yatakları

Bu çalışmada kullanılacak perlit hammaddesi İzmir-Bergama yöresinde faaliyet gösteren Cevahirler Madencilik Konut San. Ve Tic. A.Ş. isimli bir perlit madeni işletmesinden temin edilmiştir. Perlit cevheri açık işletmecilik metodu ile üretilmekte ve kırma-öğütme-sınıflandırma işlemlerini takiben çeşitli boyutlarda genişletilmiş perlit elde edilmektedir. Perlit öğütmede esneklik önem taşımaktadır. Perlit ile ilgili farklı uygulama alanları mevcut olduğundan, değişik boyutlara yönelimler vardır. Bu nedenle çalışma içerisinde bitki yataklarında kullanılmak üzere perlit hammaddesinin üç farklı boyuttan (0,1-0,5 mm; 1,0-2,0 mm; 5,0-10,0 mm) hangisinin kullanımının uygun olacağına yönelik deneysel çalışmalar da yürütülmüştür. Böylece perlitin su tutma kapasitesi test edilmiş ve

bu maddenin su tutma kapasitesinin yüksek olduğu sonucuna varılmıştır. Yapılan denemeler sonucunda zirai ekimlerde 1-6 mm boyutunda perlitin tercih edildiği tespit edilmiştir.

Tarımsal üretimde en büyük sorunlardan birini bitki yetiştiriciliği ortamını oluşturan substratların geri dönüşümünün mümkün olmaması ya da sağlanamamasıdır. Kullanılan materyaller organik veya doğada çözülebilir bir yapıya sahip ise geri dönüşümün sağlanması mümkündür. Çalışmada akuaponik sistem tasarımlarından “Dolgu Materyalli Yatak Sistemleri (DMYS)” tercih edilmiştir. Medya dolgulu yataklardaki bitkilerin ortamı çakıl, perlit, vermikülit, kokopit vb. gibi bir materyal ile doldurulan bir tank kullanılarak desteklenmektedir. Yataklara düzenli şekilde su ürünleri stok tankından su akışı sağlanmaktadır. Türkiye’de gerçekleştirilen çalışmalarda ortam (substrat) kültürünün sera koşullarımıza uygun olduğu sonucuna varılmıştır (Sevgican, 2000). Substrat kültüründe torf, talaş, ağaç kabuğu, çeltik kavuzu gibi organik maddeler kullanılırken; kum, çakıl, kaya, perlit, vermikülit, volkan tüfü, kaya yünü ve plastik köpükler gibi inorganik maddeler kullanılmaktadır. Bu materyaller içerisinde özellikle perlit ve volkan tüfleri rezerv açısından Türkiye’de oldukça fazla bulunmaktadır.

Bu çalışmada dolgu maddesi olarak, bitki yataklarında kullanılmak üzere tedarik edilmesi kolay, ülkemizde bol bulunan ve ekonomik bir seçenek oluşturabilecek farklı bir dolgu maddesi (substrat) arayışına gidilmiştir. Bu noktada, ısıyla genleşme kabiliyeti olan, genleştirildiğinde çok hafif ve gözenekli bir yapı alan, su tutma kapasitesi yüksek, bakteriyel yük taşımayan bir kayaç türü olan perlit hammaddesinin kullanılmasına karar verilmiştir. Perlit hammaddesi, zeolitin kimyasal özelliklerine benzetmekle beraber, su tutma kapasitesinin yüksek, ulaşılabilir ve ekonomik olmasından dolayı tercih edilmiştir.

Çalışmada akuaponik sisteminin içerisinde bulunduğu sera ortamına Dolgu Materyalli Yatak Sistem Tasarımı uygulanmış olup, PVC bitki yataklarına bigbag adı verilen içi zirai perlit malzemesi ile dolu torbalar yerleştirilmiştir (Şekil 3.8). Özel bir sera işletmesinden temin edilen domates fideleri için ekim ortamı oluşturan bigbagler bitkilerin ekimi için uygun aralıklarla delinmiştir. Ardından bigbagler PVC bitki yataklarının üzerine yerleştirilerek tasarım tamamlanmıştır.



Şekil 3.5. Perlite dolu bigbag ve PVC bitki yatağı.

1.10 Metot

Uygulamalar balık ve bitki olmak üzere iki kısımda ele alınmıştır. Denemeler paralel 3 tekrarlı olarak kurulmuştur. Deneme akışı Karabalık/Afrika yayın balığı (*C. gariepinus*) juvenillerinin akuaponik sisteme adaptasyonu ve domates (*S. lycopersicum*) fidelerinin akuaponik ortama ekimine yönelik uygulamaları içermektedir.

1.10.1 Karabalık (*C. gariepinus*) Juvenillerinin Akuaponik Sisteme Adaptasyonu

Çalışmada kullanılan Karabalık (*C. gariepinus*) juvenilleri özel bir işletmeden temin edildikten sonra Ege Üniversitesi Su Ürünleri Fakültesi Urla Akuakültür Tesisleri'nde besi ortamına alınmıştır. Karabalıkların 2 ay süresinde yetiştiricilik koşullarına tamamen adaptasyonu sağlanmıştır. Bu süre boyunca uygun sıklıkta canlı ağırlık tartımları yapılmış, günde 2 kez ad-libitum besleme yapılarak canlıların davranışları izlenmiş ve günlük yem alımı takip edilmiştir. Balıkların stoklanması için 1000 litre kapasiteli adaptasyon tankı kullanılmıştır. Isıtıcı kullanılarak tankın su sıcaklığı ortalama 20°C olacak şekilde

ayarlanmıştır. Saatte 1000 litre/saat (%100) debi uygulanmıştır. Su sürekli hava taşından gelen oksijen kaynağı ile satüre edilmiştir. Aydınlatma 300 lüks güce sahip floresan lambalarla sağlanmıştır. nite 18 saat aydınlık ve 6 saat karanlık fotoperiyot uygulaması yapılmıştır. Düzenli olarak boy, en ve ağırlık ölçümleri yapılarak spesifik büyüme oranları (SBO) hesaplanmıştır.



şekil 3.6. Ege Üniversitesi Su rnleri Fakültesi Urla Akuakültür Tesisleri adaptasyon tankı.

2 ay sonunda yetiştiricilik koşullarına adaptasyonu tamamlanan Karabalıkların alışma ortamında kurulumu sağlanan Akuaponik Sera (Greenhouse) ortamına transferi gerçekleştirilmiştir.



Şekil 3.7. İzmir Kâtip Çelebi Üniversitesi Su Ürünleri Fakültesi Tesisleri'nde kurulumu gerçekleştirilen Akuaponik Sera (Greenhouse).

C. gariepinus bireylerinin sera içerisindeki akuaponik ünitesine transfer edilmesiyle birlikte sulu ortamda balıkların metabolik atıkları sonucunda oluşan doğal mikrobiyal süreç başlamıştır. Bu dönem boyunca tank ortamında feses ve organik madde içeren tatlı su ortamının oluşması ve sistemde dönmesi hedeflenmiştir. Metreküpte 20 kg balık tanklara yerleştirilerek tatlı su ortamında besiyne alınmıştır. Balık tanklarında 20-30 günden sonra nitrifikasyon döngüsü stabil hale gelmiştir. 30.günün ardından denemeler paralel 3 tekrarlı olacak şekilde tasarlanarak seraya yerleştirilmiştir.

Stok yoğunluğu denemesi yapılarak hangi balık stok yoğunluğunda bitkilerin daha iyi gelişeceği denenmiştir. Özel bir işletmeden temin edilen *C. gariepinus* yavruları 10-15-20 kg/m³ kapasiteli 3 farklı stok yoğunluklarında besiyne alınarak büyüme parametrelerinin düzenli olarak takibi yapılmıştır. Başlangıçta stok yoğunluklarına göre (10-15-20 kg/m³) balıkların tanklardaki toplam kütleleri belirlenmiştir (Şekil 3.12).



Şekil 3.8. Akuaponik sistemde farklı stok yoğunluğu denemeleri.

Balıklar ayda bir periyodik olarak 2-Phenoxyethanol ile sedasyonun ardından toplam boy, en ve ağırlık ölçümleri yapılmış olup her bir tanka ait spesifik büyüme oranları (SBO) saptanmıştır (Şekil 3.13).



A



B

Şekil 3.9. Karabalık büyüme parametreleri ölçümleri. a) En ve boy ölçümleri b) Ağırlık ölçümleri

Çalışma süresince *C. gariepinus* balıklarına ait büyüme parametreleri ve yaşama oranı değerleri izlenmiştir. Her gün düzenli olarak balık tankındaki suyun sıcaklık, pH ve YDO (Yem Değerlendirme Oranı) hesaplamak için verilen yem miktarı ölçülmektedir. Her hafta balık ve bitki tanklarındaki suyun nitrit, nitrat ve amonyak miktarlarının takibi multifotometre kullanılarak yapılmıştır (Şekil 3.14). Ayrıca perlit içerikli PVC bitki yataklarının çıkışındaki filtrelenmiş suyun düzenli takibi yapılarak pH, sıcaklık, nitrit, nitrat ve amonyak değerleri izlenmiştir. Periyodik olarak balık tankının giriş ve çıkışından alınan su örneklerinin pH, Sıcaklık, Çözünmüş Oksijen (O_2), Amonyum Azotu (NH_4-N), Nitrat Azotu (NO_3-N), Nitrit Azotu (NO_2-N) analizleri takip edilmiştir. Nitrifikasyon sürecinin stabilizasyonunun ardından akuaponik ortama bitki ekimlerine başlanmıştır.



Şekil 3.10. Multifotometre kullanılarak yapılan su kalitesi analizleri.

Yem olarak 3 mm boyutunda alabalık için üretilmiş Skreting A.Ş. ye ait pelet yem (%44 HP; %21 HY kullanılmıştır. Yem miktarı hesaplanarak günde 2 kez canlı ağırlığının %2-2,5 oranında ad-libitum besleme yapılmıştır (Rad et al., 2004). Denemede %0,2 tuzluluğa sahip yer altı suyu kullanılmıştır. Su sıcaklığı ısıtıcı kullanılarak 20°C olacak şekilde ayarlanmıştır. Oksijenlendirme hava taşı kullanılarak blowerdan yapılmıştır.

Çalışmanın istatistiksel değerlendirmesinde SPSS programı, ONEWAY ANOVA ve Duncan metodu kullanılmıştır. Testin güven aralığı %95 ($p < 0.05$) tir.

1.10.2 Domates (*S. lycopersicum*) Fidelerinin Hazırlanması

Çalışmada kullanılacak domates fideleri sera işletmesinden viyoller içerisinde temin edilmiştir. Bitki yataklarına ekim için 14 günlük fideleri kullanılmıştır (Şekil 3.15).



Şekil 3.11. Viyol içerisindeki domates fideleri.

Karabalıkların sera içerisindeki akuaponik ünitesine transfer edilmesiyle sulu ortamda balıkların metabolik atıkları sonucunda oluşan doğal mikrobiyal süreç başlamıştır. Metreküpte 10-15-20 kg balık tanklara yerleştirilerek tatlı su ortamında besiyeye alınmıştır. Balık tanklarında 20-30 günden sonra nitrifikasyon döngüsü stabil hale getirilmiştir. Stabilizasyon akabinde özel bir işletmeden temin edilen domates bitkisi fidelerinin 29 Mart 2019 tarihinde akuaponik ünitesine ekimi gerçekleştirilmiştir (Şekil 3.16).



Şekil 3.12. Perlit içerikli bigbaglere domates fidelerinin ekimi.

Çalışmada model alınan akuaponik sistem tasarımlarından “Dolgu Materyalli Yatak Sistemleri (DMYS)” kullanılmıştır. Medya dolgulu yatak tasarımında bitki yatakları çakıl, kaya, kum, perlit, vermikülit, kokopit (hindistan cevizi) veya bir başka substrat ile doldurulan tank ya da yataklarla desteklenmektedir. Periyodik olarak bu bitki yataklarına balık tankından su akışı sağlanmakta ardından su balık tankına geri dönmektedir. Akuaponik sisteminin içerisinde bulunduğu sera ortamına dolgu materyalli yatak sistem tasarımı uygulanmış olup, PVC bitki yataklarına bigbag adı verilen içi zirai perlit malzemesi ile dolu torbalar yerleştirilmiştir Domates fideleri için ekim ortamı oluşturan bigbagler bitkilerin ekimi için uygun aralıklarla delinmiştir. Ayrıca bigbag torbalarının altında ve yanlarında delikler açılarak damla sulama sistemlerinden gelen suyun, perlitin

toz yapısından kaynaklanan torba içerisindeki hacimsel şişmenin önüne geçilmesi öngörülmüştür.

Ortam kültüründe bitkilerin ihtiyaç duyduğu, gelişimleri için olması gereken tüm nutrientleri içeren su ve besin çözeltileri damla sulama sistemleriyle verilerek karşılanmaktadır. Domates fidelerine balık tankından gelen suyun iletiminde damla sulama sistemlerine benzer bir iletim sistemi kullanılmıştır. Damla sulama sistemini oluşturan boru, vana gibi ekipmanlar temin edilerek akuaponik sistem içerisine eklenmiştir. Kapalı devre akuponik sistemde besince zengin suyun debisi takip edilerek, optimal debi ayarlaması yapılmaya başlanmıştır (Şekil 3.18).



Şekil 3.13. Dolgu Materyalli Yatak Sisteminde damla sulama boruları.

Her bir deneme grubu için 6 adet perlit içerikli bigbag torbası kullanılmıştır. Toplam 3 grup için 18 adet bigbag kullanılmıştır. Her bir bigbag e 3 adet domates fidesi ekilmiştir. Sonuç olarak her bir balık tankının 3 grup aynı sayıda bitki yatağı ve domates fidesi ile

bağlantısı sağlanmıştır. Toplamda 54 adet bitki fidesinin ekimi gerçekleştirilmiştir. Ekimi gerçekleştirilen domates fidelerinin büyümelerini takiben salkımlarından seranın yüksek noktalarına ip aracılığıyla bağlanarak asılmıştır. Domates fideleri sıırık şeklinde uzayarak gelişim göstereceğinden yerçekimine karşı düşmemeleri ve sağlıklı gelişim gösterebilmeleri için seralarda uygulanan bu yöntem kullanılmıştır. Ekimi gerçekleşen domates bitkisinin ekimi itibariyle fenolojik gözlemlerine başlanmıştır. Bitkilerin gelişimi düzenli olarak fotoğraf çekilerek gözlemlenmektedir. Tez çalışmasında perlit substratında bitki gelişimini gözlemlemek ve akuaponik sistem ile karşılaştırma yapabilmek için ünite içerisinde perlit içerikli bigbaglere de domates fideleri ekilerek kontrol grubu çalışması da yapılmıştır. Domates meyvesinin çevresi ve ağırlığı parametre olarak kaydedilmiştir (Şekil 3.19).



Şekil 3.14. Domates büyüme parametreleri.



Şekil 3.15. Akuaponik serada Medya Dolgulu Yatak Sistemlerine ekimi yapılan domates fideleri.

1.10.3 Akuaponik Sera (Greenhouse) Kurulumu

Seralar (Greenhouse), iklim şartlarının açık alanda bitki yetiştirmeye olanak tanımadığı zamanlarda, kültür bitkilerinin ekonomik olarak yetiştiriciliğinin yapılabilmesini sağlayan, bitkisel üretim için ihtiyaç duyulan gelişim kriterlerine olanak sağlayan, içinde hareket kabiliyeti tanıyan yapılardır. Tez çalışması kış aylarını ve ilkbahar mevsimini içerdiğinden kış dönemi ve bahar başlangıcının olumsuz hava ve ortam şartları göz önünde bulundurularak projede akuaponik sistem için 50-60 metrekarelik bağımsız bir sera ortamı inşa edilmiştir. Seranın uzun vadede kullanımına yönelik düşünüldüğünden materyal olarak cam tercih edilmiştir. Dünyada seracılık yapan ülkeler 1970’lerde yaşanan enerji krizinin ardından iki kuşağa ayrılmışlardır. Kuzey iklim kuşağında bulunan ülkeler klima kontrollü seralarda üretim sağlarken, ülkemizin de içerisinde yer aldığı güney iklim kuşağında bulunan ülkelere ise üretimin tamamı ekolojik koşullara bağımlı olarak gerçekleştirilebilmektedir. Ülkemizde yer alan seralara örtü malzemesini gözeterek baktığımızda; %77,5’i plastik örtülü (PE veya sert plastik), geriye kalan %23,1’i ise cam ile kaplı seralar olduğu bildirilmiştir.

Sebze üreticileri, ısıtma masraflarını düşürerek ekonomik tasarruf yapabilmek amacıyla tek ürün yetiştiriciliği (Eylül – Haziran) yerine çift ürün yetiştiriciliğini (sonbahar: Temmuz – Ocak; ilkbahar: Aralık – Temmuz) tercih etmektedir. Tek ürün yetiştiriciliğinde ısıtma sadece donun vereceği zarardan korunmak amacıyla yapılmaktadır. Meyve tutumu özellikle domates ve patlıcan gibi sebze çeşitlerinde bitki gelişim maddelerinin uygulamalarda kullanımı ile sağlanmaktadır. Kısa dönem yetiştiriciliklerinde ise pazarda ürün fiyatlarının yüksek olduğu dönemde ürün boşluğu oluşmaktadır. Üretimde planlamanın yapılamaması neticesinde üreticinin maruz kaldığı fiyat dalgalanmaları, düşük verim ve meyve kalitesinde sorunlar yetiştiricilikte karşılaşılan en önemli handikaplardandır (Boyacı vd., 2017). Serada deneme süresi boyunca günlük olarak iç ortamda hava sıcaklığı ve nem takip edilmekte, dış ortam verileri ile iç ortam verilerinin karşılaştırılması yapılmaktadır. Seraya ek olarak kapalı ortamdan kaynaklı bitkide meydana gelebilecek hastalıklara, ortamda oluşabilecek küf mantarlarının üremesini engellemek için havalandırma pencereleri açılmıştır.

Sera bitkilerde hastalık ve zararlılar için sıcaklık ve rutubet açısından çok uygundur. Kapalı ortamdan kaynaklı bitkide meydana gelebilecek hastalıklara, ortamda oluşabilecek küf mantarlarının üremesini engellemek için açılan havalandırma pencerelerine dışarıdan bir organizma ya da canlı girişi olmaması için tel takılmıştır. Havalandırma pencereleri havalandırma fanı ile desteklenerek içeride temiz hava sirkülasyonu sağlanmıştır. Kış ayları ve ilkbahar başlangıcında deneme balıklarının iklim koşullarından etkilenmemesi için balık tanklarına su ısıtıcısı ilave edilerek su sıcaklığının 20-25°C aralığında stabilizasyonu sağlanmıştır.



Şekil 3.16. Akuaponik cam sera dışarıdan görünümü.

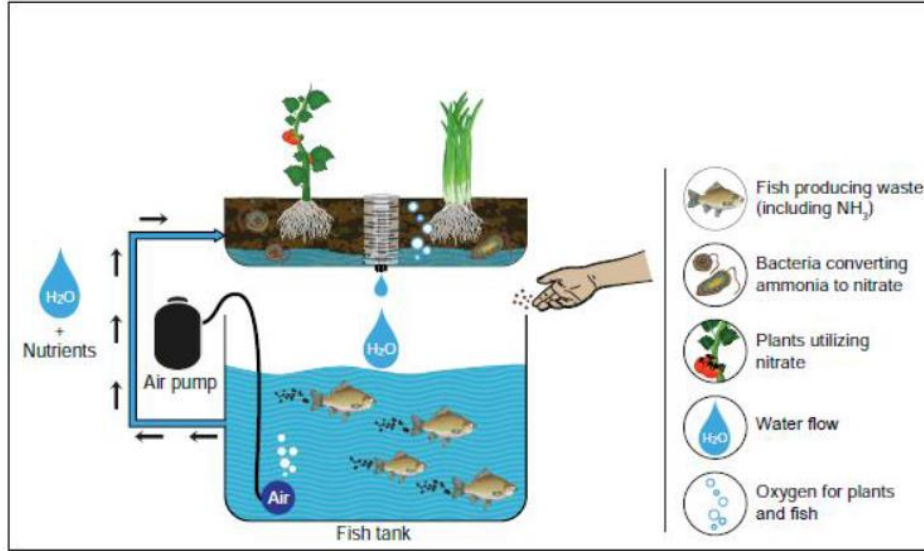
Serada deneme süresi boyunca günlük olarak iç ortamda hava sıcaklığı ve nem takip edilmekte, dış ortam verileri ile iç ortam verilerinin karşılaştırılması yapılmaktadır. Tez projesini kapsayan yaz aylarında deneme balıklarının ve bitkilerin iklim koşullarından etkilenmemesi için serada gölgeme filtresi kullanımına geçilmiştir. Çalışmanın yaz dönemi aylarına denk geldiği dönemlerde cam seranın tavan kısmı gölgeleme filesi ile örtülerek sera içi sıcaklık kontrol altına alınmış ve domates bitkisi için gölge bir ortam oluşturulmuştur.

1.10.4 Akuaponik Sistem İşleyişi

Akuaponik kültürde ilk veriyi balık yemi oluşturmaktadır. Balıklar yemi tükettikten sonra dışkı olarak bulunduğu ortama bırakmaktadır. Bu metabolik atıklar bitkilerin kullandığı besin maddeleri oluştururlar.

Akuaponik sistem su ürünleri, bitki ve faydalı bakteriler olarak 3 ana üründen oluşmaktadır. Su ürünleri dışkılarının toksik formlarının bitkilerin faydalanabileceği besin maddesi formlarına faydalı bakteriler dönüştürmektedir. Akuaponik sistemlerde faydalı bakteriler olmaz ise işleyiş başarısızlıkla sonuçlanır. Akuaponik döngüde farklı çeşitlerde

bakteriler bulunmaktadır. Her biri bakteri spesifik özelliklere sahiptir. Doğru çevresel koşulları sağlayabildiğimiz sürece, yararlı bakteriler akuaponik sistem içerisinde gelişim gösterecektir.



Şekil 3.17. Akuaponik döngüsünde yer alan biyolojik etmenler: balık, bitki ve faydalı bakteriler (Somerville et al., 2014).

Nitrifikasyon döngüsü iki adımlı süreçten oluşmaktadır. Öncelikle ototrof bakteriler toksik amonyağı nitrite, ardından nitriti nitrate çevirmektedir. Nitrosomus bakterisi amonyağı nitrite ve nitrobakter bakterisi de nitrate dönüştürmektedir. (Nelson, 2008). Yetiştiricilik koşullarında amonyak ve nitritin düşük seviyelerde bile balıklar için toksik maddeler olduğu bilinmektedir. Nitrat bir nevi gübre olarak kullanım özelliğinden dolayı toksisitesi düşük olup ancak çok yüksek dozlarda bazı balık türleri tarafından tolere edilememektedir. Akuaponik sistemlerinde nitrat miktarı bitkilerce yapılmaktadır. Faydalı bakteriler mikrobiyolojik işleyiş süreci içerisinde meydana gelerek, akuaponik kültürde su içerisine, bitkilerin kök kısımlarına, tank ve borulara yerleşmektedirler. Bu süreçler ısı, pH, tuzluluk, yüzey ve akış hızına bağlı olarak değişim göstermektedir. Bu sistemlerde oluşan bakteriler gözle görülemediği için, ölçülüp sayılamamakta ve sağlık durumları takip edilememektedir. Akuaponik sistemde oluşan bakteriler ve sistemde refah düzeyinin nasıl olduğunu tespit etmenin yolu sudaki azotlu madde (amonyak, nitrit, nitrat) miktarlarını ölçmektir (Serezli, 2011).

Farklı bir balık türünü ilk kez kültüre alınacak ortama adaptasyonu takiben ilk on gün içerisinde sudaki amonyak değerindeki yükseliş yaşanmaktadır. Akabinde nitrit değerinde artışla beraber amonyak değerindeki azalış gözlenmektedir. Bu olayda nitrosomonas bakterileri devreye girmektedir. Bir on gün sonraki periyotta nitrat düzeyinin arttığı, nitrit düzeyinin ise azaldığı gözlemlenmiştir. Bu süreçte nitrobakterler döngüye girerek işleyişi sağlamaktadır. Balıkların ortama alınmasını takip eden 20-30 günün ardından sistem stabil hale gelmekte ve nitrifikasyon reaksiyonları aylık periyotlarda devam etmektedir. (Nelson, 2008).

Akuaponik yetiştiriciliğinde birçok sistem tasarımı mevcuttur. Eğer fazla miktarlarda balık ve bitki yetiştiriciliği hedeflenmekte ise tercih edilen kültür modelinin çeşitli filtrasyon adımları olması gerekmektedir. Bu dizaynlarda sistem içerisindeki su kapalı devrede 24 saate bir sirküle edilmektedir. Daha az miktarlarda balık ve bitki üretimi hedefleniyorsa ilave filtrasyon aşamalarına gerek duyulmamaktadır. Bu basit sistem modelinde bitki yatağı daima su altında bırakılmaktadır. Tüm sistem tasarımlarında besince zengin suyun balık tanklarından bitki yataklarına periyodik olarak taşınmaktadır. Suyun daha sonra tank ortamına geri dönmesiyle su sirkülasyonu sağlanmaktadır (Somerville ve ark., 2014).

Çalışmada kullanılan akuaponik sistem konfigürasyonunda perlit, torf ve perlit-torf karışımları ile doldurulmuş medialı yataklara, balık tankından periyodik olarak su boşaltılmaktadır. Balık yetiştiriciliğinden gelen feçes ve yem atıkları içeren su bu sistemde hedeflenen bitki türü olan marul tarafından kullanıldıktan sonra kalan su geri dönüş ve toplama tankında biriktirilmektedir. Geri dönüş ve toplama tankında biriken su pompa yardımıyla balık tankına geri dönmektedir. Bu dönem boyunca tank ortamında ve geri dönüşüm toplama tankında feçes ve organik madde içeren tatlı suyun oluşması ve sistemde dönmesi hedeflenmektedir. Bu şekilde suyun kapalı devre içerisinde devir daimi sağlanmaktadır. Su kaybı minimaldir ve azalan suyun yerine aynı miktarda tatlı su (%0,2) ilave edilecek şekilde tasarlanmıştır (Şekil 3.23). Bu dizayn suyu 24 saatte bir sirküle etmektedir.

Çalışmada balık tankları destek ile yükseltilerek bitki yataklarından daha yüksek bir konuma yerleştirilmek suretiyle, suyun kendi cazibesi ile akması sağlanmıştır. Balık tankından gelen besince zengin su kendi cazibesi ile bitki yatağına akmakta, bitki

tarafından filtre edildikten sonra kalan su bir çökeltme tankında dinlendirilerek dalgıç pompa aracılığı ile balık tankına geri basılarak bu şekilde su sirkülasyonu sağlanmıştır. Balık tankındaki su sıcaklığı ısıtıcı kullanılarak ortalama 20°C’ de tutulmuştur. Su sürekli olarak hava taşıdandan gelen oksijen kaynağı ile satüre edilmektedir. Saatte 500 litre/saat (%100) debi uygulanmıştır.

4.BULGULAR

Bu çalışma sonucunda elde edilen bulgular deneme ortamının fiziko-kimyasal parametreleri, karabalıkların gelişim parametreleri ve domateslerin gelişim parametreleri başlıkları altında toplanmıştır.

1.11 Çalışmada İzlenen Fizikokimyasal Parametreler

Çalışma boyunca her gün düzenli olarak karabalıkların bulunduğu tankta suyun sıcaklık, pH, oksijen, iletkenlik, nitrit, nitrat ve amonyak gibi fizikokimyasal parametreleri ölçülmüştür. Fizikokimyasal parametrelere ait minimum, maksimum ve ortalama değerler aşağıdaki çizelgede verilmiştir.

Çizelge 4.1. Fizikokimyasal parametreler (Ort±STD) (n=15)

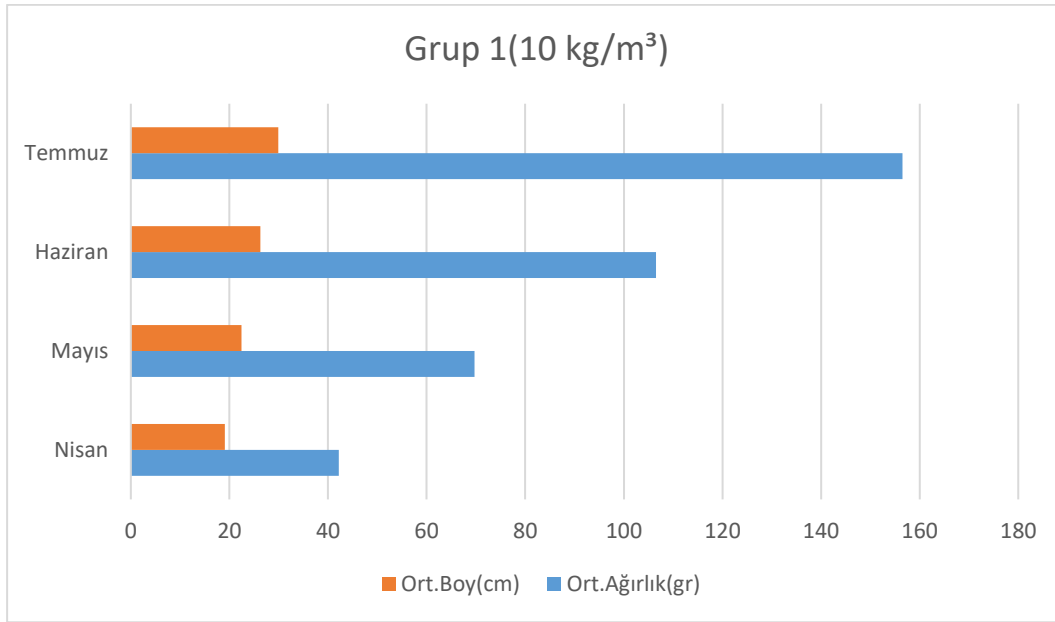
	TANK1 (10kg/m ³)			TANK2 (15 kg/m ³)			TANK3 (20 kg/m ³)		
	Max	min	Ort±STD	max	min	Ort±STD	max	min	Ort±STD
Sıcaklık (°C)	30	18,4	24.97±2.62	29,3	19,6	24.98±2.57	29,3	12,6	25.02±3.16
pH	8,48	7,73	8.11±0.19	8,30	7,60	7.99±0.19	8,42	7,40	7.86±0.23
Oksijen (mg/l)	9,15	5,05	7.11±1.47	8,19	4,74	6.08±1.13	7,71	5,4	6.22±0.69
İletkenlik (µs/cm)	1350	1062	1201±101.97	1213	991	1100±71.48	1455	1074	1236±124.29

Nitrit (NO₂⁻)	4,00	0,00	1.43±1.28	6,00	0,00	1.36±1.74	5,00	0,00	1.29±1.68
Nitrat (NO₃⁻-N)	19,10	0,20	9.02±5.52	21,30	0,00	8.23±5.83	20,80	0,80	10.35±7.28
Amonyak (NH₃-N)	1,27	0,00	0.34±0.31	2,23	0,07	0.46±0.54	2,55	0,31	0.64±0.59

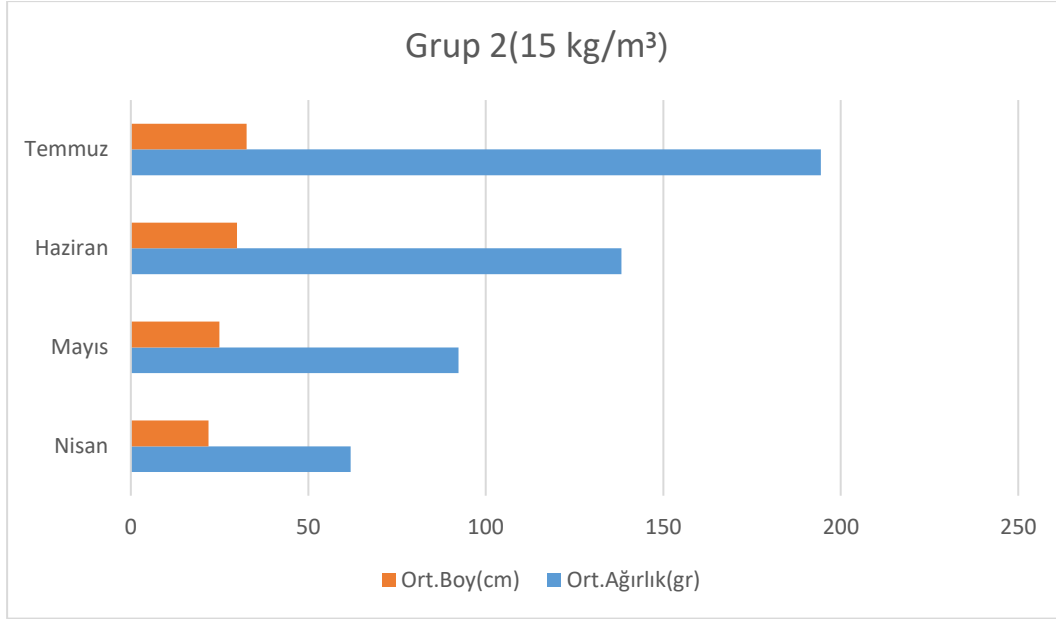
1.12 Karabalıklarda (*C. gariepinus*) Büyüme Parametreleri

Karabalıklarda deneme boyunca tüm gruplarda gözlenen total ağırlık gelişimi Çizelge 4.2, Çizelge 4.3 ve Çizelge 4.4'te gösterilmiştir.

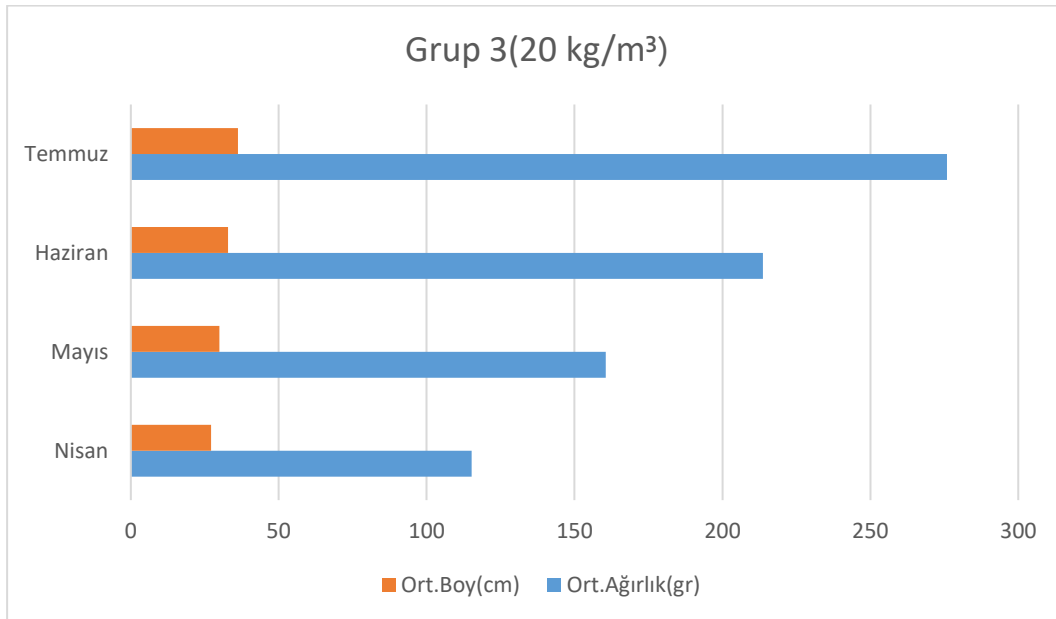
Çizelge 4.2. Deneme süresince Karabalık türünde gözlenen total ağırlık ve boy değişimleri (Grup 1).



Çizelge 4.3. Deneme süresince Karabalık türünde gözlenen total ağırlık ve boy değişimleri (Grup 2).



Çizelge 4.4. Deneme süresince Karabalık türünde gözlenen total ağırlık ve boy değişimleri (Grup 3).



Çalışmada kullanılan Karabalıkların büyüme parametreleri incelendiğinde; deneme başında 1. Grupta total boy ortalaması $19,05 \pm 1,53$ cm ve ağırlık ortalaması $42,17 \pm 11,13$ gr, 2. Grupta total boy ortalaması $21,90 \pm 1,70$ cm ve ağırlık ortalaması $61,95 \pm 14,55$ gr, 3. Grupta total boy ortalaması $27,08 \pm 0,95$ cm ve ağırlık ortalaması $115,24 \pm 11,03$ gr olarak saptanmıştır. Denemenin sona erdiği 90. günde 1. Grupta total boy ortalaması $29,89 \pm 2,19$ cm ve ağırlık ortalaması $156,55 \pm 30,43$ gr, 2. Grupta total boy ortalaması $32,66 \pm 2,02$ cm ve

ağırlık ortalaması $194,38 \pm 30,58$ gr, 3. Grupta total boy ortalaması $36,17 \pm 1,59$ cm ve ağırlık $275,88 \pm 30,02$ olarak saptanmıştır.

Spesifik Büyüme Oranı (SBO) 1. Grupta $1,37 \pm 0,19$, 2. Grupta $1,15 \pm 0,15$, 3. Grupta $1,00 \pm 0,12$; Yem Dönüşüm Oranı (YDO) 1. Grupta $0,80 \pm 0,07$, 2. Grupta $1,00 \pm 0,12$, 3. Grupta $1,20 \pm 0,15$ olarak tespit edilmiştir. Karabalıkların yaşama oranı da 1. Grupta %87, 2. Grupta %97, 3. Grupta olarak %99 bulunmuştur (Çizelge 4.5).

Çizelge 4.5. Deneme sonunda Karabalıklarda büyüme parametreleri.

	TANK 1 (10 kg/m ³)			TANK 2 (15 kg/m ³)			TANK 3 (20 kg/m ³)		
	max	min	Ort±STD	max	min	Ort±STD	max	min	Ort±STD
Total boy(cm)	35,6	26,5	29,89±2,19	37,1	29	32,66±2,02	38,5	32	32.26±4.09
Ağırlık(gr)	239	119	156,55±30,43	270	161	194,38±30,58	327	210	275,88±30,02
SBO(%gün)	1,40	1,32	1,37±0,19	1,20	1,13	1,15±0,15	1,10	0,88	1,00±0,12
YDO	0,85	0,78	0,80±0,07	1,02	0,99	1,00±0,12	1,22	1,17	1,20±0,15
Yaşama oranı (%)	–	–	87	–	–	97	–	–	99

Akuaponik sistemdeki Karabalıkların, her ay düzenli olarak 2-Phenoxyethanol ile sedasyonun ardından toplam boy ve ağırlık ölçümleri yapılmış ve spesifik büyüme oranları (SBO) saptanmıştır. Karabalıklara ait büyüme parametreleri ve yaşama oranı değerleri izlenmiştir. Spesifik büyüme oranı $SBO = 100 (\ln SVA - \ln İVA) / \Delta t$ formülü ile hesaplanmıştır. Her gün düzenli olarak balık tankındaki suyun sıcaklık, pH ve FCR hesaplamak için verilen yem miktarı ölçülmüştür. Yem Değerlendirme Dönüşüm Oranı $YDO = \text{Tüketilen yem miktarı(kg)} / \text{ağırlık kazancı(kg)}$ formülü ile hesaplanmıştır. Çalışma 90 gün sürdürülmüştür. Yem olarak 3 mm boyutunda alabalık için üretilmiş Skreting A.Ş. firmasına ait pelet yem (%44 HP; %21 HY) kullanılmıştır. Günde 2-3 kez canlı ağırlığın %2,0-2,5 oranında ad-libitum besleme yapılmıştır (Rad et al., 2004).

Çizelge 4.6. Karabalıklara ait büyüme parametreleri (90 gün)

90 gün	TANK 1 (10 kg/m ³)	TANK 2 (15 kg/m ³)	TANK 3 (20 kg/m ³)
Başlangıç biyomasi(gr)	2490,00	3700	4887
Başlangıç ortalama ağırlık(gr)	42,17	61,95	115,24
Sonuç biyomasi(gr)	8513	10374	12016
Sonuç ortalama ağırlık(gr)	156,55	194,37	275,88
Toplam ağırlık farkı(gr)	6023,00	6674,00	7129,00
Yem tüketimi(gr)	5100,00	6600,00	8850,00
Yem Tüketim Oranı (%)	1,2	1,1	1,2
Spesifik büyüme oranı (% gün)	1,37	1,15	1,0
Yem dönüşüm oranı	0,8	1,0	1,2
İlk ortalama total boy(cm)	19,05	21,90	27,08
Son ortalama total boy(cm)	29,89	32,66	36,17
Boy farkı (cm)	10,84	10,76	9,09
Deneme süresi (gün)	90	90	90
Survival (%)	87,00	97,00	99,00
Balık adedi	60	60	41

Karabalıklarda izlenen total boy gelişimi mayıs ayından itibaren hızlı bir artış eğilimine girmiştir. Bu hızlı artış grafiğinin, deneme sonuna kadar aynı hızda seyrettiği tespit edilmiştir.

Karabalıklar, total ağırlık açısından Nisan ayından itibaren, denemenin sona erdiği 90. güne kadar daha hızlı bir total ağırlık gelişimi izlenmiştir.

Çalışmada Farklı stok yoğunluğu denemesi yapılarak hangi balık stok yoğunluğunda bitkilerin daha iyi gelişeceği denenmiştir. Başlangıçta stok yoğunluklarına göre (10-15-20 kg/m³) balıkların tanklardaki toplam kütleleri sırasıyla 2490-3700-4887 gr olarak belirlenmiştir. 3 ay sonunda balık tanklarındaki toplam kütle stok yoğunluğuna göre (10-15-20 kg/m³) sırasıyla 8513-10374-12016 gr olarak ölçülmüştür. Stok yoğunluklarına göre

1. Gruptaki (10 kg/m³) balık tankında %66, 2. Gruptaki (15 kg/m³) balık tankında %48 ve
3. Gruptaki (20 kg/m³) balık tankında ise %39 oranında ağırlık artışı tespit edilmiştir.

Yem değerlendirme oranı (YDO) 3 ay sonunda 0.8-1.2 aralığında tespit edilmiştir. Bitki gelişimi açısından en uygun stok yoğunluğu 10-15-20 kg/m³ arasından 20 kg/m³ olarak gözlemlenmiştir. 20 kg/m³ stok yoğunluğuna sahip balık tankına bağlantılı domates fidelerinin gelişimi ve domates meyve sayısı, bitki yaprak yoğunluğu diğer düşük stok yoğunluklarına göre daha fazladır. Bunun sebebinin tank içerisindeki balık sayısının artmasıyla verilecek yem miktarının daha fazla olması sonucu metabolik atık miktarının yani bitkiler için gerekli besince zengin su içeriğinin yoğunlaşmasıdır.

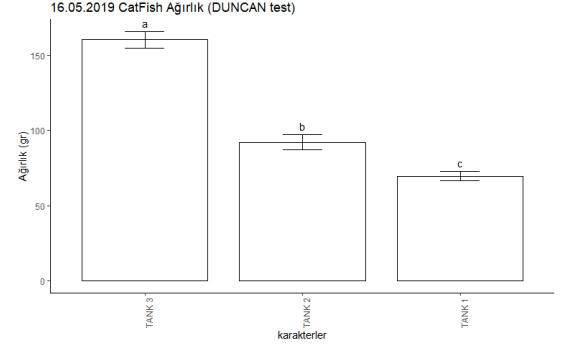
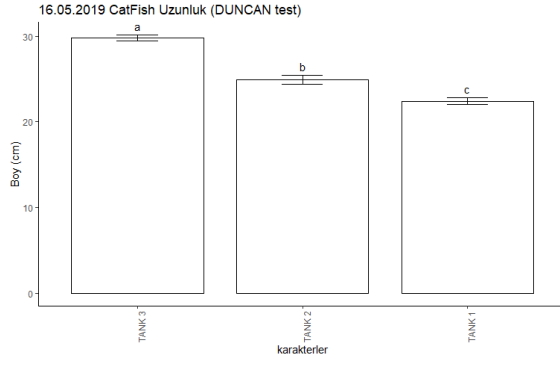
Çalışmanın istatistiksel değerlendirilmesinde SPSS programı, ONEWAY ANOVA ve Duncan metodu kullanılmıştır. Testin güven aralığı %95 ($p < 0.05$) tir. Karabalıkların (*C. gariepinus*) boy ve ağırlık parametreleri yüksek stok yoğunluğu 20 kg/m³ olan tankta düşük stok yoğunluğu olan diğer tanklara göre gelişimi istatistiksel olarak anlamlıdır ($p < 0.05$) (Çizelge 4.7).

Çizelge 4.7. Karabalıkların istatistiksel değerlendirmesi

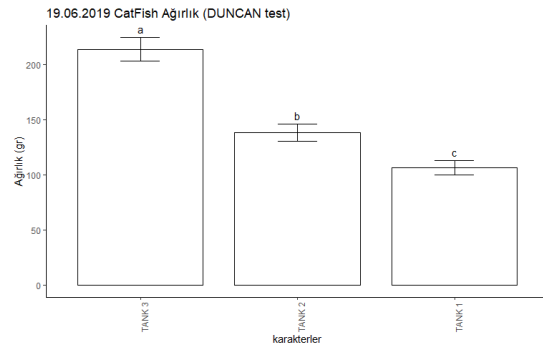
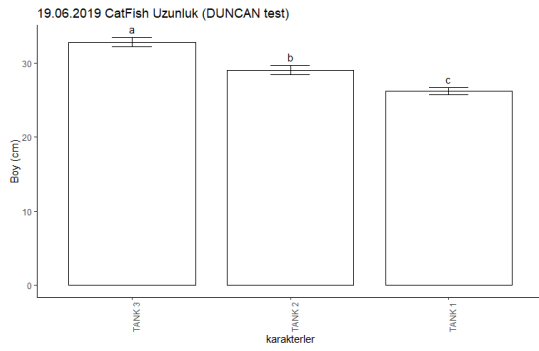
	Boy(cm)	Ağırlık(gr)	
T1	29,88±2,19 ^c	156,55±30,43 ^c	(T1 10 kg/m ³ stok
T2	32,65±2,02 ^b	194,37±30,58 ^b	yoğunluğ u balık
T3	36,17±1,59 ^a	275,88±30,02 ^a	tankı, T2 15 kg/m ³ stok
			yoğunluğ

u balık tankı, T3 20 kg/m³ stok yoğunluğu balık tankı)

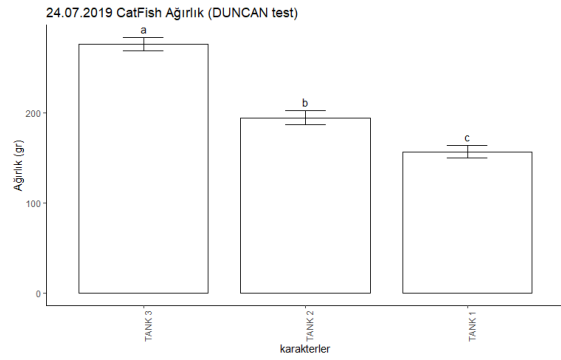
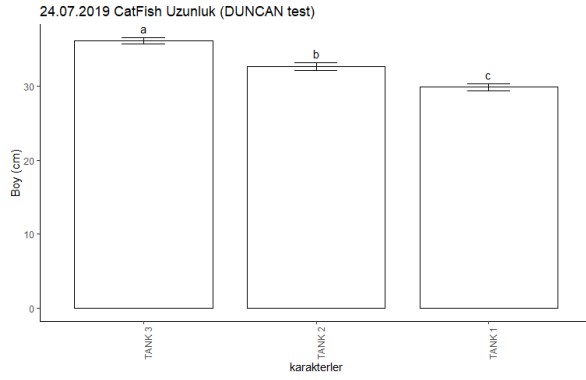
Deneme süresi boyunca aylık olarak Karabalıkların boy ve ağırlık parametrelerinin istatistiksel değerlendirmesi Çizelge 4.8, Çizelge 4.9 ve Çizelge 4.10 da grafik olarak ifade edilmiştir.



Çizelge 4.8. Denemenin birinci ayı gruplar arası istatistiksel değerlendirme.



Çizelge 4.9. Denemenin ikinci ayı gruplar arası istatistiksel değerlendirme.



Çizelge 4.10. Denemenin üçüncü ayı gruplar arası istatistiksel değerlendirme.

1.13 Domates (*S. lycopersicum*) Bitkisinin Gelişimi

Çalışmanın sürdürüldüğü 90 gün süresince perlit içerikli medyalı yataklara ekimi yapılan domates (*S. lycopersicum*) türünün gelişimi izlenmiştir. Domates meyvesinin çevresi ve ağırlığı parametre olarak kaydedilmiştir. Deneme sonunda domates bitkisinde büyüme parametreleri Çizelge 4.7 de gösterilmiştir. Çalışmada perlit substratında bitki gelişimini gözlemlemek ve akuaponik sistem ile karşılaştırma yapabilmek için ünite içerisinde perlit içerikli bigbaglere de domates fideleri ekilerek kontrol grubu çalışması da yapılmıştır. Kontrol grubu nitrat ve bileşenlerine sahip olmayan su ile sulanmıştır. Netice olarak besince zengin nitrat içerikli su ile beslenen akuaponik sistem bitkileri kontrol grubuna göre 2 hafta önce meyve(hayat) vermiştir.

Çizelge 4.11. Deneme sonunda domates bitkisinde büyüme parametreleri.

	TANK 1(10 kg/m ³)			TANK 2(15 kg/m ³)			TANK 3(20 kg/m ³)			KONTROL		
Çap(cm)	14,7	12,7	14,06±0,64	15,8	14,4	15,256±0,33	17,4	15,3	16,48±0,53	15,3	13	13,83±0,60
Ağırlık(gr)	47,6	28	36,79±5,11	54,6	43	47,68±3,65	73,6	51,6	61,63±6,14	29,2	44,6	36,60±4,72

İstatistiksel değerlendirmede SPSS programı, ONEWAY ANOVA ve Duncan metodu kullanılmıştır. Testin güven aralığı %95 ($p < 0.05$) tir. Domates bitkisinin çap ve boy parametreleri yüksek stok yoğunluğu 20 kg/m³ olan tankta düşük stok yoğunluğu olan diğer tanklara göre gelişimi istatistiksel olarak anlamlıdır ($p < 0.05$) (Çizelge 4.8).

Çizelge 4.12. Domateslerin istatistiksel değerlendirmesi.

	<i>Domates çapı(cm)</i>	<i>Domates ağırlığı(gr)</i>
<i>T1</i>	14.06±0.14 ^c	36.79±1.08 ^c
<i>T2</i>	15.25±0.07 ^b	47.68±0.77 ^b
<i>T3</i>	16.47±0.11 ^a	61.62±1.31 ^a
<i>T0</i>	13.83±0.13 ^c	36.59±1.00 ^c

(*T1* 10 kg/m³ stok yoğunluğu balık tankı, *T2* 15 kg/m³ stok yoğunluğu balık tankı, *T3* 20 kg/m³ stok yoğunluğu balık tankı, *T0* kontrol grubu)

Bitkilerin gelişimi düzenli olarak fotoğraf çekilerek gözlemlenmektedir. Sırk şeklinde uzama gösteren domateslerin boyu 2,80 m uzunluğuna erişerek ağaç görünümünü almıştır (Şekil 4.1) ve (Şekil 4.2).



Şekil 4.1. Akuaponik sera sırk domatesler.



Şekil 4.2. Domates bitkisinin gelişimi ve hasadı.



Şekil 4.3. Sırk domatesler görüntü.



Şekil 4.4. Akuaponik ünite de domates hasatları.



Şekil 4.5. Domates fidelerinin gelişimi (26 Nisan 2019).



Şekil 4.6. Domates bitkisinin gelişimi (15 Mayıs 2019).



Şekil 4.7. Domates bitkisinin gelişimi (17 Mayıs 2019).



Şekil 4.8. Domates bitkisinin gelişimi (25 Mayıs 2019).



Şekil 4.9. Domates bitkisinin gelişimi (26 Mayıs 2019).



Şekil 4.10. Domates bitkisinin gelişimi (31 Mayıs 2019).



Şekil 4.11. Domates bitkisinin gelişimi (7 Haziran 2019).



Şekil 4.12. Akuaponik serada domates hasadı görüntüsü (11 Haziran 2019).



Şekil 4.13. Domates bitkisinin gelişimi (12 Temmuz 2019).

5. TARTIŞMA VE SONUÇ

Akuaponik sistemler en az su ile en az alan kullanan, tek bir alt yapıda organik balık ve sebze üretimi sağlayan, atıkları faydaya çeviren sürdürülebilir sistemlerdir. Çevre dostu yaklaşım gösteren akuaponik sistemler ile balık yetiştiriciliği neticesinde ortaya çıkan organik maddece zengin atık su probleminin çözümü sağlamaktadır. Bu yetiştiricilik tekniği ile atık su probleminin ortadan kaldırılması, bitki yetiştiriciliği için ihtiyaç duyulan gübrenin doğal yolla sağlanması ve bitki-balık üretiminde tam sürdürülebilirlik hedeflenmiştir.

Dünyada akuaponik uygulamalarında tatlı su balık türlerinde tilapia, yayın ve sazan olmak başta olmak üzere çalışmalar yürütülmüştür. Akuaponik sistemlerde yaygın olarak tercih edilen balık türü Tilapia (*Oreochromis sp.*)'dır (Nelson, 2008). Tilapianın tercih edilme sebepleri arasında olumsuz çevre koşullarına dayanıklılığı, hızlı büyüme ve ucuz balık yemlerini değerlendirmesi öne çıkmaktadır. Akuaponik sistemlerde Tilapia pek çok sebze ile de uyum sağlayabileceği 23,5°C de kültüre alınmaktadır. Hastalık ve patojenlere karşı direnci çok yüksektir. Bitki tankındaki su sıcaklığı 24°C deyi aştığında bitkilerde sağlıklı bir gelime gözlenememektedir. Akuaponik sistemlerde optimal sıcaklık değerleri 22-23°C arasındadır (Nelson, 2008). Bu çalışmada balık materyali olarak kullanılan Karabalık/Afrika yayın balığı (*Clarias gariepinus*) yetiştiricilik açısından ticari potansiyeli yüksek bir yayın balığı türüdür. Ülkemizde yetiştiriciliği henüz ticari boyutlara ulaşmamıştır. Fakat ticari yetiştiriciliğe alınma potansiyeli taşıdığı düşünülmektedir. *C. gariepinus* türünün ticari üretiminin yaygınlaştırılması ile pazarda tür çeşitliliğinin artırılması, sürdürülebilirliği sağlanabilen akuaponik kültürü kullanılarak yetiştiriciliğin çevresel olumsuz etkilerinden uzaklaşmak, olumsuz etkileri bitkisel entegrasyon ile olumlu etkilere dönüştürmek projenin önemini oluşturmaktadır.

Bu çalışmada ülkemizde kültürü ve üretimi ticari boyutta olmayan ancak potansiyel türler içerisinde yer alan bir balık türü olmasından dolayı Karabalık/Afrika yayın balığının (*Clarias gariepinus*), karasal alanlarda kısıtlı olanaklara sahip üreticiler başta olmak üzere karasal tarımın yanında sucul tarımı da hedefleyen üreticiler açısından yol gösterici olabileceği düşünülmektedir. Ticari potansiyel taşıyan bu yayın balığı türünün ülkemizde kültürü ve üretimi henüz ticari boyutta değildir, fakat ticari yetiştiriciliğe alınması potansiyel türlerdendir. Özellikle Güney Ege ve Akdeniz gibi sıcak bölgelerde

yetiştiriciliği yapılabilir. Türün biyolojisi üzerine az sayıda bilimsel çalışma mevcut olduğundan sürdürülebilir akuakültür sistemlerinden biri olan akuaponik sistem kullanılarak *C. gariepinus* türünün yetiştiricilik tekniklerinin geliştirilmesi, ticari üretiminin yaygınlaştırılması ve pazarda tür çeşitliliğinin artırılması hedeflenmiştir.

Ülkemizde *C. gariepinus* yavrularının doğadan toplanarak yetiştiriciliği yapılmaktadır. Karabalık dünyada Afrika yayın balığı olarak tanınmakta ve son yıllarda ticari potansiyeli ile dikkat çekmekte olan bir türdür. Çalışmanın Türkiye’de su ürünleri sektörüne tanıtılması ile akuaponik sistemlerin balık çiftliklerine entegre edilebilmesi sonucunda balık çiftliklerinin olumsuz çevre şartlarının bu sistemler kullanılarak olumlu koşullara çevrilebilmesi sağlanabilir

Akuaponik kültür koşullarında ideal yetiştiricilik için önerilen pH değeri 7.0 dır (Nelson, 2008). Hidroponik sistemlerde ise 7.0’ı aşan pH değerleri yüksek bulunmaktadır. Ancak akuaponik sistemler için oldukça uygun olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Hafif alkali pH değerleri nitrifikasyon döngüsünü ve akabinde besin içeriğini yükselten bir etken olduğu belirtilmiştir. Demir, mangan, çinko, bakır ve bor gibi iz elementlerin 7.0 ve üstü pH düzeylerinde daha yüksek miktarlarda olduğu bildirilmiştir (Rakocy et al., 2004). Medya destekli yatak sistemini kullanan örnek bir diğer araştırmada tilapia-marul bitkisi ile birlikte kültüre alınmıştır. Deneme süresince pH seviyeleri 6.4-7.3 aralığında değişim göstermiştir. pH düzeyleri arasındaki değişiminde bitki ya da balık gelişimi olumsuz yönden etkilememiştir (Trang and Brix, 2012).

Sal (RAFT) sistem modeli kullanan bir başka çalışmada acı su ortamında tilapia türü kullanılarak denemeler kurulmuştur. Sal sistem modelini kullanan bu çalışmada kontrol grubu olarak tatlı su kullanılmıştır. Deneme sonucunda acı su kültüründe yapılan uygulamada pH ortalaması 6.32, tatlı su kültür ortamında ise 7,92 sonucuna ulaşılmıştır. Deneme sürecince her iki tanktaki pH 9,0 seviyelerine kadar artış göstermiştir ancak bu seviyeler balık ya da bitki gelişimi üzerinde olumsuz bir durum oluşturmamıştır. Netice itibariyle pH düzeyinin 9.0 yükselmesinin akuaponik sistemlerde besin maddelerinin döngüsünü tetiklediği de bildirilmiştir (Kotzen and Applebaum, 2010). Bu çalışmada tatlı su kaynağı olarak yeraltından sağlanan artezyen suyu kullanılmış olup deneme süresince pH düzeyleri 1. Grup (10 kg/m³ stok yoğunluğu) 8.11±0.19, 2. Grup (15 kg/m³ stok yoğunluğu) 7.99±0.19 ve 3. Grup (20 kg/m³ stok yoğunluğu) 7.86±0,23 olarak

ölçülmüştür. Elde edilen bulgular, önceki akuaponik çalışmalarındaki sonuçlar ile benzerlik göstermektedir. 7-8 pH aralığının domates bitkisinin gelişimi için elverişli olduğu sonucuna varılmıştır.

Yapılan çalışmalarda, akuaponik sistemlerde su sıcaklığı da diğer bir önemli parametredir. Tilapia ve sazan türleri başta olmak üzere birçok tatlı su türü için ideal su sıcaklığı 24°C ve üzeri değerler olduğu bildirilmiştir (Nelson, 2008). Akuaponik sistemler ile yürütülen önceki çalışmalarda daha çok sazan, yayın ve tilapia gibi ılık su seven balıkların kültürü denediği için genellikle 24°C ve üzeri değerler önerilmiştir (Rakocy et al., 2004; Nelson, 2008; Kotzen ve Applebaum, 2010; Trang and Brix, 2012). Akuaponikte en çok kabul gören sıcaklık değerleri 25-30°C arasındadır (Rakocy et al., 2004; Nelson, 2008). Bu çalışmada özellikle yoğun kış koşullarının izlendiği Ocak-Mart ayları arasında yer altı suyunda ve deneme odasında yaşanan sıcaklık değişimleri özellikle levreklerin gelişimini olumsuz yönde etkilemiştir. Çalışmanın yürütüldüğü su sıcaklığı $24.97 \pm 2.59^\circ\text{C}$ dir. Birçok araştırmacı tarafından da belirtildiği gibi ideal gelişim sıcaklık aralığı 22-25°C olduğu bildirilmiştir. Bu çalışmada tercih edilen Karabalık türünün yetiştiricilik ortamında sıcaklığa karşı toleransı 10 ile 32°C aralığındadır. *C. gariepinus* en iyi gelişimini 24-29°C su sıcaklığında göstermektedir (Henken et al., 1986).

Amonyak (NH_3) sulu ortamda toksik bir madde olup, ortama bitkisel ve hayvansal atıklardan, organik parçalanmadan, gübreleme ve endüstriyel atıklardan geçebilmektedir. Yine sulu ortamda balıklar, metabolik faaliyetlerinin bir sonucu olarak ortaya çıkarttıkları amonyağı solungaçlarından suya bırakmaktadırlar. Sulu ortamda esas toksik olan madde amonyak olarak bilinse de vücut içinde toksik olan madde amonyumdur (NH_4^+). Vücutta birçok organ ve dokunun pH'ı 7.0-7,8 arasında değişir, bu pH değerinde amonyak %95 oranında iyonize amonyak halinde bulunmaktadır (Serezli, 2011). Vücut içine iyonize olmamış olarak giren amonyak bu pH değerinde iyonize hale dönüşerek akut veya kronik etkiler göstermektedir. Amonyanın balıklardaki toksik değerleri balık türüne ve büyüklüğüne göre farklılık gösterse de bu etki pH, suyun sertliği, sıcaklığı, tuzluluğu ve oksijen içeriği gibi özellikleri ile yakından ilgilidir. Bu yüzden yüksek pH'lı tanklarda amonyak, çok iyi bir biyolojik filtrasyon sistemiyle yok edilmelidir (Serezli, 2011). Çalışmada biyolojik filtrasyonu, akuaponik sistem içerisinde doğal yolla oluşan yararlı bakteriler sağlamaktadır. Balık atıklarının toksik bileşenleri faydalı bakteriler tarafından bitkilerin ihtiyacı olan azotlu besinlere dönüştürmektedirler. Bitkiler büyümeleri için

gereksinim duydukları azot miktarı açısından zengin besinleri tüketerek balıkların yaşadıkları suyun filtrasyonunda rol oynarlar.

Akuaponikte yetiştiriciliği yapılan su ürünlerinin metabolik atıklarının önemli bir kısmı amonyak ve üreden oluşmaktadır. Suda toplam azot (TAN) iyonize amonyum (NH_4^+) ve iyonize olmayan amonyak (NH_3) olarak bulunmaktadır. Toplam Amonyum Azotu (TAN) olarak ifade edilmektedir (Serezli, 2011). pH ve sıcaklık artışına paralel olarak toksik yapıdaki amonyak miktarı da artış göstermektedir. İyonize olmayan amonyağın güven aralığı NH_3 0,1 mg/L değerinden aşağıdadır. Toplam amonyum azotu (TAN) aralığı da 3,0 mg/L den daha düşüktür. Akuaponik sistemlerde ideal çözünmüş oksijen düzeyi yaklaşık 6-7 mg/L. 3 mg/L nin altındaki değerler sudaki yetiştiricilik ortamında stres oluşturmaktadır. 1,0 mg/L altındaki değerler letal etki yapabilir (Serezli, 2011.) Nitrit, *Nitrosomonas* bakterisinin amonyağı dönüştürmesi sonucu ortaya çıkmaktadır. Balıklarda oksijen metabolizmasını bozduğu için nitrit toksik özellik göstermektedir. 1,0 mg/l nin üzerindeki değerler birçok balık türü için zararlıdır. Nitriti nitrate *Nitrobacter* bakterileri dönüştürmektedir. Nitrat bitki tankında bulunan bitkiler için temel beslenme kaynağını oluşturmaktadır. Tez çalışmasında Akuaponik sisteme yeni adaptasyonu sağlanan balıkların bulunduğu balık tanklarında ilk 10 günlük periyot içerisinde amonyak seviyesinde artış görülmüştür. Daha sonra nitrit seviyesindeki artış ve amonyak seviyesindeki düşüş dikkat çekmiştir. Bunun sebebi *nitrosomonas* bakterilerinin çevrim yapıyor olmasıdır. Devam eden süreçte nitrat düzeyinin yükseldiği, nitrit düzeyinin düştüğü görülmüştür. Bu süreçte *nitrobakteriler* devreye girmiş, ilk periyodun (20-30 gün) ardından sabitleşmiş ve nitrifikasyon döngüsü doğal seyrinde devam etmiştir.

Akuaponik kültür koşullarında tatlı su balık türleri yetiştiriciliği yapılacaksa tank ortamının su değerleri 21-23°C aralığında olması gerekmektedir. Bu sıcaklık balık- bitki gereksinimleri doğrultusunda belirlenmiştir. Yalnızca tank ortamında tilapia yetiştirilecekse tankın su sıcaklığı 25-27°C aralığında tutulabilmektedir. Ancak bu sıcaklık bitkiler için fazla olabilmektedir. Bitki tankındaki suyun ve bitkilerin kök sıcaklığı 24°C den fazla olduğunda bitkilerin büyümesi yavaşlar, mantar ya da hastalığa maruz kalabilmektedirler. Akuaponik sistemlerde kararlaştırılan su sıcaklık aralığı 22-23°C 'dir (Nelson, 2008).

Akuaponik sistem tasarımlarında ideal çözünmüş oksijen düzeyleri yaklaşık 6-7 mg/L dir. 3 mg/L nin altındaki sayılar akuatik hayatta stres oluşturmaktadır ve 1,0 mg/L altındaki rakamlar ise letaldir. Akşamüstü çözünmüş oksijen seviyesi en yüksek seviyeye çıkmakta, gün doğumunda da en düşük seviyeye inmektedir (Nelson, 2008).

Karlsdottir et al. (2012) Norveç'te yürüttüğü akuaponik NFT sistem tasarımlı uygulamalarda en iyi sonucu balık türleri içerisinde Alp alabalığı (*Salvelinus alpinus*) ve Gökkuşluğu Alabalığı (*Oncorhynchus mykiss*) ve Dere Alabalığı (*Salmo trutta*), bitki türlerinde ise domates, marul, pazı ve tıbbi aromatik bitki çeşitlerinden almıştır. Norveç'te akuaponik kültürde Alp alabalığı ve Gökkuşluğu alabalığı türünün kullanılmasının nedenleri arasında ticari üretime uygun olması, yem dönüşüm oranının (YDO) yüksek olması ve yetiştiriciliğinin yapılabilmesi sayılabilmektedir. Norveç'te yürütülen bu çalışmalarda jeotermal enerji kullanılarak enerji tasarrufla bulunulmuş ve maliyetler düşürülmüştür. Tez çalışmasında akuponik sistemin cam sera içerisine entegre edilerek tam kontrollü bir sera ortamı (Greenhouse) sağlanmasıyla güneş enerjisinden aydınlatma olarak yararlanılmıştır. Cam sera ortamı enerji tasarrufu açısından ekonomik ve doğru bir tercih oluşturmuştur. Seralar (Greenhouse), iklim şartlarının açık alanda bitki yetiştirmeye olanak tanımadığı zamanlarda, kültür bitkilerinin ekonomik olarak yetiştiriciliğinin yapılabilmesini sağlayan, bitkisel üretim için ihtiyaç duyulan gelişim kriterlerine olanak sağlayan, içinde hareket kabiliyeti tanıyan yapılardır. Sebze üreticileri, ısıtma masraflarını düşürerek ekonomik tasarruf yapabilmek amacıyla tek ürün yetiştiriciliği (Eylül – Haziran) yerine çift ürün yetiştiriciliğini (sonbahar: Temmuz – Ocak; ilkbahar: Aralık – Temmuz) tercih etmektedir (Boyacı vd., 2017).

Başka bir çalışmada ülkemizde yetiştiriciliği yapılan deniz ortamında üretilmekte olan ve yavru dönemde tatlı suya adaptasyonu sağlanan levrek yavrularının akuaponikte marul bitkisi ile birlikte kullanımı denenmiştir. Denemede medya dolgu yatak sistem tasarımı kullanılmış, dolgu maddesi olarak bitki yatakları perlit, torf ve perlit+torf karışımı ile doldurularak, bu ortamlara marul bitkisi ekilmiştir. Akuaponik sistemde tatlı suya adapte edilen levreklerin tank ortamındaki su sıcaklığı 24°C ve üzeri değerlerde olması için tam kontrollü bir sera kurulması gereksinimini doğurmuştur. Koşulların uygun hale getirilmesi ile levrek türünün akuaponik kültürde kullanımı için uygun bir tür seçenek oluşturabileceği bildirilmiştir (Gökvardar, 2013).

Medya destekli yatak sistemi küçük boyutlu bir sistem olduğundan minimum alandan maksimum ürün elde edilmesini mümkün kılmaktadır. Ayrıca bu sistem kurulum açısından maliyeti düşük, periyodik olarak filtrasyona ihtiyaç duyulmaması ve bahçe tipi ya seralarda yetiştiricilik için iyi bir seçenek oluşturması tercih sebepleri olarak sıralanmaktadır. Tüm katı atıkların sistem içinde değerlendirilebilmesi Medya destekli yatak sisteminin en avantajlı özelliğidir. Herhangi bir ayrıştırıcı filtreye gerek duyulmamaktadır.

Ortam kültürü Türkiye ve dünyada ticari olarak tercih edilen yaygın bir kültür tekniğidir. Organik substrat olarak en rağbet gören torf ve kokopit, inorganik olarak en rağbet gören substrat ise kaya yünü ve perlittir. Bu teknikte çeşitli kaplara ya da yataklar içerisinde bulunan substratlar üzerinde bitki yetiştirilmektedir (Sevgican, 2003). Sevgican (2003), ayrıca torfun pahalı bir yetiştirme ortamı olduğunu ancak birden fazla, mesela üç kez üst üste kullanılabilir olmasının, maliyetinin düşmesine neden olduğunu, fakat dört yıl sonra ortaya çıkan oturma ve sıkışmanın kök gelişimini olumsuz yönde etkilemeye başladığını bildirmiştir. Torfun diğer yetiştirme ortamlarıyla karıştırılarak kullanılmasının çok yaygın olduğunu, ortamın su tutma gücünü yükseltmesi için, inorganik ortamlarla karıştırılarak kullanılabileceğini yapılan çalışmalarda ortaya koymuştur. Perlit substratının ise ortam olarak tercih edilme sebeplerinin başında parçalanmadığı için tekrar tekrar kullanılabilir olması, kokopit ve torfa göre çok daha ucuz olması, kök çürümesi veya sönme riski çok az olması dolayısıyla ortamda patojen barındırmaması gibi seçenekler sıralanabilmektedir. Türkiye’de gerçekleştirilen çalışmalarda ortam (substrat) kültürünün sera koşullarımıza uygun olduğu sonucuna varılmıştır (Sevgican, 2000).

Akuaponik sistem tasarımlarından Medya Dolgulu Yatak Sistemlerinde bitki yataklarında topraksız tarımda son yıllarda yaygın olarak kullanılmaya başlayan su tutma kapasitesi yüksek, yeniden kullanılabilir, hafif yapıda ve ekonomik, temini kolay bir hammadde olan perlit kullanılmıştır. Çok iyi bir izolasyon ve filtrasyon maddesidir. Dünya perlit kaynakları arasında Türkiye ilk baştaki ülkelerdendir. Seralarda topraksız tarımda kullanımı yaygınlaşmıştır. Seralarda substrat tercihi olarak genellikle torf ya da kokopit (hindistan cevizi kabuğu) uygulamaları yapılmaktadır.

Türkiye’de perlitin su ürünleri yetiştiriciliğinde ve akuaponik sistem tasarımlarında daha önce örnek bir kullanımına rastlanmamıştır. Akuaponik kültür ortamına perlit

substratının kısmen eklenmesi ile diğer substratlara alternatif bir adsorbant oluşturulabilir. Çalışma tamamlandıktan sonra için Akuaponik serada perlit içerikli bitki yataklarındaki sırk domateslerin sökümüne geçilmiştir (Şekil 5.1). Ünite temizliği tamamlanarak akuponik sera bir sonraki ekim dönemine hazırlanmıştır. Perlit hammaddesinin tekrar kullanılabilir olması özelliğinden dolayı yıkayıp kurutulduktan sonra bir sonraki dönemde bitki ekiminde ortam olarak kullanılabilir.



Şekil 5.1. Bitki köklerinin sökümü ve ünite temizliği.

Perlit hafiflik, yanmazlık, gözeneklilik, kimyasal pasiflik, adsorpsiyon gibi karakteristik özelliklere sahip bir adsorbanttır. Balık yetiştiriciliği ortamından canlılar için toksik yapıdaki amonyak ve nitritin sistemden bertaraf edilmesinde bentonit ve zeolit gibi yaygın kullanılan diğer su tutucu maddelere alternatif oluşturabileceği tahmin edilmektedir. Bilindiği üzere Türkiye de gerek balık yetiştiriciliği ve gerekse seralarda sebze yetiştiriciliği gelişmiş iki farklı üretim koludur. Bu çalışma balık yetiştiriciliği ile ortaya çıkan gübreli su diyebileceğimiz çıktının domates tarımı için kullanılması açısından büyük önem taşımaktadır. Böylece bir faaliyetin kullanılmayan çıktıları başka bir faaliyetin girdisi olarak kullanılabilir. Çalışma bu yönü ile gerek balık yetiştiricilerinin gerekse sebze yetiştiriciliği yapan sanayi kuruluşlarının uygulamak isteyeceği bir model olarak görülmektedir.

6. ÖNERİLER

Tez projesini kapsayan yaz aylarında deneme balıklarının ve bitkilerin iklim koşullarından etkilenmemesi için serada gölgeleme filtresi kullanımına geçilmiştir. Çalışmanın yaz dönemi aylarına denk geldiği dönemlerde cam seranın tavan kısmı gölgeleme filesi ile örtülerek sera içi sıcaklık kontrol altına alınmış ve domates bitkisi için gölge bir ortam oluşturulmuştur (Şekil 6.1). Bu durum göz önüne alınarak bitkilerin direkt güneş ışığına maruz kalması sonucu oluşabilecek bitki yanıkları gibi olası riskler bertaraf edilmiştir. Deneme süresi ve sonrasında ünite de ne bitki ne de balık materyalinde herhangi bir hastalıkla karşılaşılmamıştır. Akuaponik serasında balık ve bitkilerin birlikte yaşayabileceği tam kontrollü refah ortamı sağlanmıştır. Sistem yaklaşımı ekolojik bir model olduğundan ve topraksız tarım yapılacağından herhangi bir herbisit ya da pestisit kullanımı olmamıştır.



Şekil 6. 1. Akuaponik serada gölgeleme filesi kullanımı.

Sera ortamındaki havanın nem oranının minimum ve maksimum noktaları, yetiştiriciliği yapılan bitki çeşidine, seranın iç ortam sıcaklığına, ışıklandırma yoğunluğu ve özümleme hızına bağlı olarak değişim göstermektedir (Boyacı vd.,2017). Serada nem oranının çok yüksek olması sonucunda nem sera örtüsünün iç yüzeyinde yoğunlaşmaktadır. Oransal nemin çok düşük değerlerde olması bitki büyümesi ve gelişmesini yavaşlatmaktadır. Ayrıca sera içerisinde yoğunlaşan nem çiğ ya damla şeklinde bitkilerin üzerine düşerek hastalanmalarına sebep olmaktadır (Çolak, 2002). Yüksek nem miktarı bitkiler için patojen mikroorganizmaların üremesini sağlamak ve mantar hastalıklarının ortaya çıkmasına sebebiyet vermektedir. Bu çalışma süresince akuaponik serada gece nemlenmesi sorunu fazladan açılan havalandırma pencereleri ve gölgeleme filesi kullanımı ile çözülmüştür.

Akuaponik sistemlerde yaygın olarak tercih edilen balık türü Tilapia (*Oreochromis sp.*)'dır. Tilapia türü kötü çevresel koşullara karşı çok dayanıklıdır. Hızlı büyümesi ve balık yemi olarak değerlendirilebilmesi özelliklerinden dolayı akuakültürde tercih edilmektedir. Akuaponik sistemlerde Tilapia pek çok sebze ile de uyum sağlayabileceği 23,5°C de kültüre alınmaktadır. Hastalık ve patojenlere karşı direnci çok yüksektir. Değişken su kalitesine karşı olan toleransları akuaponik kültürde avantaj oluşturmaktadır (Nelson, 2008). Akuaponikte tilapia türü yetiştiriciliği düşünülmüyorsa alternatif olarak birçok balık türü tercih edilebilir. Ancak tilapia türü üzerine çok sayıda araştırma sonucu mevcut olduğundan bu ürün en hızlı büyüme gösteren bir tür olduğu ve en güvenilir çıktıları vereceği göz önünde bulundurulmalıdır.

Yurt dışında akuaponik sistemlerde yetiştiriciliği yapılan belli başlı türler şunlardır: Geniş ağızlı levrek (*Micropterus salmoides*), mavi solungaç (*Lepomis macrochirus*), kedi balığı (*Ictalurus punctatus*) ve koi (sazan) (*Cyprinus carpio carpio*). Avustralya'da üreticiler genellikle barramundi (*Lates calcarifer*), tatlı su levreği (*Perca fluviatilis*), gümüşü levrek (*Bidyanus bidyanus*) ve Avustralya morina balığı (*Maccullochella peelii*) yetiştiriciliği yapmaktadırlar (Nelson, 2008).

Akuaponik Sistemlerde Yetiştiriciliğe Alınacak Balık Türü Seçiminde Şu Sorular Sorulabilir:

- 1) Su sıcaklığı nedir? Su kaynağını nereden temin ediyorsunuz? Isıtma ya da soğutma sistemleri kullanacak mısınız?
- 2) Sisteminizde ne kadar balık stoklaması yapabilirsiniz?
- 3) Ülkenizde hangi balıkların yetiştiriciliği yapılabilmekte ve hangi balıkların kültürüne yasal olarak izin verilmektedir?
- 4) Eğer ev tipi hobi amaçlı üretim gerçekleştirecekseniz hangi balığı tüketmeyi seviyorsunuz ya da ticari olarak üretim yapmayı planlıyorsanız hangi balıklara talep vardır?
- 5) Ülkenizde hangi balıkların yetiştiriciliğinde hesaplı bir üretim yapılabilir?

Tez çalışmasında sera içerisinde bulunan akuaponik sistemde bir dönem genç yapraklarda kloroz (renk açılması) tespit edilmiştir. Demir eksikliği sonucu, klorofil maddesinin sentezlenememesiyle bitkilerin genç yapraklarında ve özellikle son çıkan yapraklarda görülen kloroz damarlar arası sararma şeklinde ortaya çıkmaktadır. Demir eksikliğine maruz kalan yaprakta ince damarlar yeşil kalarak, damarlar arası bütünüyle sarıya dönmektedir. Geniş yapraklı bitkilerde yapraklar adeta sarı zemin üzerinde yeşil bir ağ manzarası göstermektedir. Bitkilerde demir eksikliği çok yaygın değildir ancak asitli topraklarda rastlanmaktadır. Kalkerli topraklarda demir eksikliği çok daha yaygındır. Özellikle kurak ve yarı kurak bölgelerin sulama ile değerlendirilmesi sonucunda kalkerli topraklarda demir klorozu problemine çok fazla rastlanmaktadır (Horuz vd., 2016).

Demir klorozuna neden olan koşullar kısaca şunlardır (Horuz vd., 2016):

1. Demir bakımından fakir topraklar,
2. Serbest ya da aktif kireç alanı yüksek topraklar
3. Toprak veya sulama suyunun HCO_3^- kapsamının yüksekliği
4. Toprakta aşırı su birikimi ya da fazla sulama

5. Toprağın tarım makinaları tarafından sıkıştırılması sonucu bitkinin kök gelişiminin engellenmesi
6. Fosfor bakımında zengin topraklar,
7. Toprak içeriğinde çok fazla miktarlarda ağır metaller (Mn, Cu ve Zn) bulunması
8. Toprağın kötü havalandırılması (aşırı CO₂),
9. Özellikle kireçli topraklarda oluşan potasyumun eksikliği,
10. Nitrat içeriği açısından zengin azotlu gübre uygulamaları (akuaponik sistemler)
11. Yüksek düzeylerde fizyolojik alkalın karakterli azotlu gübre uygulamaları,
12. Ekstrem sıcaklıklar ve yüksek ışık intensitesi,
13. Toprakta çok düşük organik madde içeriği ya da turba topraklardaki gibi çok yüksek miktarlarda organik madde içeriği,
14. Ağaçlarda ve üzüksü bitkilerde ürünün aşırı ürün tutması sonucunda metabolizma ürünlerinin köklere yeterince taşınamamasıyla kök gelişimi gerilemektedir. Bu da gelecek yıl mahsulünde demir alımının azalmasına sebep olmaktadır.
15. Nematod veya diğer organizmalar tarafından köklerin zarar görmesi sonucu oluşabilmektedir.

Netice olarak renk açılması genç yapraklarda ise demir içeriği ya da demir alımını etkileyen etmenlere bakmak gerekmektedir (pH, tuzluluk gibi). Balık tanklarındaki nitrat ve bileşenlerine sahip besince zengin su, azotlu gübre uygulamalarından dolayı demiri bağlayarak kloroza sebep olmaktadır. Demir sülfat suda çözülüp püskürtme yoluyla yapraklara verilerek bu sorun bertaraf edilmiştir. Bundan sonraki çalışmalarda akuponik sistem ile yetiştirilecek ürünlerin analiz edilerek normal tarıma göre farklılıkların ortaya konulması gerekmektedir. İlk defa Akuaponik kültürü deneyimleyecek araştırmacılar için

küçük, kontrol ve temizliğinin kolaylıkla yapılabileceği, sistem kurulumunda fazla sayıda ekipman ve sistem elemanlarına gereksinimi olmayan Medya destekli yatak sistem tasarımı kullanılması tavsiye edilmektedir.

7.KAYNAKLAR DİZİNİ

Anonim, 2008, Domates Yetiştiriciliği, http://1hbogm.meb.gov.tr/moduler-programlar/kurs-programlari/.../domates_yetistiriciligi (Erişim tarihi: 22.05.2015).

Anonim, 2013, <http://hydroponicsonline.com/blog/build-your-own-hydroponics-water-culture-system> (Erişim Tarihi: 01.02.2022).

Anonim, 2022, Domatesin Morfolojik Özellikleri <https://tr.wikipedia.org/wiki/Domates> (Erişim Tarihi: 21.04.2022).

Azul, L., 2002, Manual de fertiriego de SQM (p. 67), ISBN 956-8060-02-2.

Bayram, S. ve Gülser, F., 2018, Van ilinde domatesin yaygın olarak yetiştirildiği alanların toprak özellikleri ile domates bitkisinin beslenme durumunun belirlenmesi, Yuzuncu Yıl University Journal of Agricultural Sciences, 28(3), 358-367.

Boyacı, S., Akyüz, A., Üstün, S., Baytorun, A. N., Güğercin, Ö., 2017, Seralarda yüksek sıcaklıkların azaltılmasında kullanılan yöntemler, Türkiye Tarımsal Araştırmalar Dergisi, 4(1), 89-95.

Buzby, K. M and Lin, L. S., 2014, Scaling aquaponic systems: Balancing plant uptake with fish output, *Aquacultural Engineering*, 63, 39-44.

Çolak, A., 2002, Isıtılmayan bir cam serada sera içi sıcaklık, çiğlenme sıcaklığı ve bağıl nem deseni üzerine bir araştırma, Ege Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi, 39(3).

Diver, S., 2006, Aquaponics-integration of hydroponics with aquaculture, A publication of ATTRA IP163 slot54.

Endut, A., Jusoh, A., Ali, N., Wan Nik, W.B., Hassan, A., 2010, A study on the optimal hydraulic loading rate and plant ratios in recirculation aquaponic system, *Bioresource Technology*, 101, 1511-1517.

Gokvardar, A., 2013, Kapalı Devre Sistemlerde Akuaponik Uygulamaları: Deniz Balıkları- Bitkisel Üretim Entegrasyonunun Araştırılması (Yüksek Lisans Tezi), Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir.

Gokvardar, A., Ozden, O., Serezli, R., 2022, Su Ürünlerinde Modern Perspektifler, İksad publishing house, ISBN: 978-625-8405-95-8, Ankara, Türkiye.

Henken, A.M., M.A.M. Machiels, W. Deeker, H. Hogendoorn, 1986, The effect of dietary protein and energy content on growth rate and feed utilization of the African catfish, *Clarias gariepinus* (Burchell1922), *Aquaculture*, 58: 55-74.

Horuz, A., Korkmaz, A., Akınoğlu, G., Boz, E., 2016, Bitkilerde demir klorozunun nedenleri ve giderilme yöntemleri, *Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Dergisi*, 4(1), 32-42.

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.

Doğusan Boru Sanayi ve Ticaret A.Ş., Perlite, <https://www.dogusanas.com.tr/perlit.pdf>, Erişim Tarihi:19.04.2022.

Hernandez, I., Martinez-aragon, J. F., Perez-llorens, J. L., Vazquez, R., Vergara J. J., 2002, Biofiltering efficiency in removal of dissolved nutrients by three species of estuarine macroalgae cultivated with sea bass (*dicentrarchus labrax*) waste waters 2, Ammonium. *Journal of Applied Phycology*, 14: 375-384.

Howell, R.W., 1992, A Long-Range View Of The Perlite Industry, Perlite Institute Inc. Annual Meeting, U.K.

Karlsdottir, S. K., Homme, J. M., Bjornsdottir, R., 2012, Aquaponics—Grønn vekst. Final report from the project, (510-072).

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.

Kurtoğlu, İ.Z., Küçükağtaş, A., Hamzaçebi, S., Serezli, R., 2016, The importance of the aquaponics system in terms of sustainability and urban life, Middle East Central Asian Aquaculture Conference Oral Presentation (02-04.06.2016).

Lennard, W. A., Leonard, B. V., 2006, A comparison of three different hydroponic sub-systems (gravel bed, floating and nutrient film technique) in an aquaponic test system, *Aquaculture International*, 14(6), 539-550.

MacKay, K. T., Van Toever, W. A. Y. N. E., 1981, An ecological approach to a water recirculating system for salmonids: preliminary experience.

Marhaba, B.D., 1998, Horticultural Engineering, Volume 13, No:4, July 1998, New Jersey.

Mcmurty, M.R., 1990, Sand culture of vegetables using recirculating aquacultural effluents, *Applied Agricultural Research*, vol. 5, no. 4.(fall). 280–284pp.

Miceli, A., Moncada, F., Vetrano, D. F., 2003, First results on yield and quality response of basil (*ocimum basilicum*) grown in a floating system, International Society for Horticultural Science International Symposium on Managing Greenhouse Crops in Slinia Environment, Pisa (Italy), 9-12 July.

Nelson, R., 2008, Aquaponic Food Production: Raising Fish and Plants for Food and Profit, Published by Nelson and Pade, Inc., USA.

Orhun, O., 1969, Perlit, M.T.A. Madencilik Dergisi, cilt: VIII, sayı :4, s. 214.

Rad, F., Kurt, G., Bozaoğlu, A. S., 2004, Effects of spatially localized and dispersed patterns of feed distribution on the growth, size dispersion and feed conversion ratio of the African Catfish (*Clarias gariepinus*), *Turkish Journal of Veterinary & Animal Sciences*, 28(5), 851-856.

Rakocy, J.E., Losordo, T.M., Masser, M.P., 1992, Recirculating aquaculture tank production systems: integrating fish and plant culture, SRAC Publication No. 454, Southern Regional Aquaculture Center, Mississippi State University, Stoneville, Mississippi, USA.

Rakocy, J. E., Hargreaves, J. A., 1993, Nutrient accumulation in a recirculating aquaculture system integrated with hydroponic vegetable production, Vol. 3495.

Rakocy, J.E., Bailey, D.S., Shultz, C., Thoman, E.S., 2004, Update on tilapia and vegetable production in the UVI aquaponic system, *Proceedings from the 6th International Symposium on Tilapia in Aquaculture*, Volume 2: 676-690.

Rakocy, J., Masser, M., Losordo, T., 2006, Recirculating aquaculture tank production systems: aquaponics- integrating fish and plant culture, SRAC Publication No. 454.

Serezli, R., 2011, Sularda Amonyak ve Sucul Canlılarda Toksik Etkileri, Yunus Araştırma Bülteni, 2011 (3), 5-7.

Serezli, R., Hamzaçebi, S., Kurtoğlu, İ.Z., Küçükağtaş, A., 2016, The importance of polyculture in sustainable aquaculture. Middle East Central Asian Aquaculture Conference Oral Presentation (02-04.06.2016).

Sevgican A., 2000, Topraksız Tarım, 3. Sebze Tarımı Sempozyumu, 280-285, Isparta.

Sevgican, A., 2003, Örtüaltı Sebzeciliği (Topraksız Tarım) Genişletilmiş 2. basım Cilt II, Ege Üniversitesi Ziraat Fakültesi Yayınları No: 526, Ege Üniversitesi. Basımevi, İzmir.

Shiffler, A., <https://herbsathome.co/what-is-perlite-good-for/>. Erişim Tarihi: 10.04.2022.

Somerville, C., Cohen, M., Pantanella, E., Stankus, A., Lovatelli, A., 2014, Food and Agriculture Organization of the United Nations, Small-scale aquaponic food production, <http://www.fao.org/3/a-i4021e.pdf> (Erişim Tarihi: 03.03.2022).

Trang, N. T. D., Brix, H., 2014, Use of planted biofilters in integrated recirculating aquaculture-hydroponics systems in the Mekong Delta, Vietnam. *Aquaculture research*, 45(3), 460-469.

Turan, F., Çek, Ş., Yıldırım, Y., Akyurt, İ., 2004, Karabalık (*Clarias gariepinus*, Burchell, 1822) larval yetiştiriciliğinde alternatif yemler, *Türk Sucul Yaşam Dergisi*, 2(3), 565-572.

Yıldız, N., 2014, Yalıtımda Doğal Çözüm: Perlit, Madencilik Türkiye, <http://www.madencilik-turkiye.com> (Erişim Tarihi: 12.08.2022).