



T.C.

TOKAT GAZİOSMANPAŞA ÜNİVERSİTESİ

LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

BAHÇE BİTKİLERİ ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

JUMBO BÖĞÜRTLEN (*Rubus spp.*) YEŞİL ÇELİKLERİNİN  
AEROPONİK VE PERLİT ORTAMINDA KÖKLENME  
PERFORMANSLARININ ARAŞTIRILMASI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

FATMA DUMLU

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Hakan KARADAĞ

TOKAT- 2025

## ETİK SÖZLEŞME

Tokat Gaziosmanpaşa Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü tez yazım kılavuzuna göre, Dr. Öğr. Üyesi Hakan KARADAĞ danışmanlığında hazırlamıŐ olduğum “Jumbo Böğürtlen (*Rubus Spp.*) Yeşil Çeliklerinin Aeroponik Ve Perlit Ortamında Köklenme Performanslarının Araştırılması” adlı Yüksek Lisans tezinin bilimsel etik değerlere ve kurallara uygun, özgün bir çalışma olduğunu, aksinin tespit edilmesi halinde her türlü yasal yaptırımını kabul edeceğimi beyan ederim.

26/12/2024

Fatma DUMLU

## JÜRİ KABUL VE ONAY

**Fatma DUMLU** tarafından hazırlanan “**Jumbo Böğürtlen (*Rubus spp.*) Yeşil Çeliklerinin Aeroponic ve Perlit Ortamında Köklenme Performanslarının Araştırılması**” adlı tez çalışmasının savunma sınavı 26/12/2024 tarihinde yapılmış olup aşağıda verilen Jüri tarafından Oy Birliği / Oy Çokluğu ile Tokat Gaziosmanpaşa Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Bahçe Bitkileri Anabilimdalı’nda Yüksek Lisans Tezi olarak kabul edilmiştir.

Jüri	Üyeleri	(Unvanı,	Adı	Soyadı)
------	---------	----------	-----	---------

İmzası

Üye (Başkan) : Prof. Dr. Onur SARAÇOĞLU

.....

Üye : Prof. Dr. Volkan OKATAN .....

Üye : Dr. Öğr. Üyesi Hakan KARADAĞ .....

ONAY

...../...../.....

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Müdür

## TEŞEKKÜR

Tez çalıőmam boyunca her aőamada bana rehberlik eden ve süreç boyunca destek veren Danıőmanım Dr. Öğr. Üyesi Hakan KARADAğ'a teőekkürlerimi sunarım. Araştırma sürecinde sağladığı akademik destek ve yapıcı geri bildirimlerle çalıőmanın gelişimine önemli katkılarda bulunmuştur. Çalışma süresince gerekli kaynaklar ve veriler konusunda desteğini esirgemeyen Kırmızı Laboratuvar ekibine de teşekkür ederim. Ayrıca yüksek lisans sürecimin her aőamasında sağladıkları moral ve motivasyon ile araştırma sürecimi daha verimli hale getirmeme yardımcı olan aileme de teşekkür ederim.



## ÖZET

JUMBO BÖĞÜRTLEN (*Rubus spp.*) YEŞİL ÇELİKLERİNİN AEROPONİK VE PERLİT ORTAMINDA KÖKLENME PERFORMANSLARININ ARAŞTIRILMASI

Dumlu, Fatma

Bahçe Bitkileri Anabilim Dalı

Tez Danışmanı: Dr. Öğr. Üyesi Hakan KARADAĞ

Aralık 2024, xiii + 49 sayfa

Bu çalışmada, Jumbo böğürtlen çeşidinin yeşil çeliklerinde farklı IBA dozları ve köklendirme ortamlarının köklenme özellikleri üzerine etkileri incelenmiştir. Çelikler, 0 (kontrol), 500, 1000 ve 1500 ppm IBA ile muamele edilerek Aeroponik ve Perlit köklendirme sistemlerine dikilmiş ve iki sistem arasında karşılaştırmalar yapılmıştır. Deneme kapsamında, köklenme oranı, kök uzunluğu, kökçüklerin gelişimi, fidan randımanı, çelik başına düşen dal sayısı ve hastalık durumu parametreleri değerlendirilmiştir.

Perlit ortamında 1500 ppm uygulaması en uzun kök (7,33 cm) değerini sağlarken, en fazla kök sayısı (13,26 adet) 500 ppm dozunda gözlemlenmiştir. Aeroponik ortamında ise 1000 ppm uygulaması, hem kök uzunluğu (10,24 cm) hem de kök sayısı (15,47 adet) açısından en yüksek değerleri vermiştir. Bununla birlikte, perlit ortamında çürüme oranı %0,00 seviyesinde kalırken, Aeroponik ortamda bu oran %16,67-20,00 arasında değişmiştir. Perlit ortamında köklenme oranı %93,33 ile en yüksek seviyede 500 ppm uygulamasında görülmüş, aeroponik ortamda ise köklenme oranı en düşük kontrol grubunda %50,00, en yüksek 1500 ppm grubunda %70,00 olmuştur. Perlit ortamında fidan randımanı %93,33 ile 500 ppm dozunda en yüksek seviyeye ulaşırken, Aeroponik ortamda bu değer maksimum %63,33 olarak kaydedilmiştir.

Sonuç olarak, perlit ortamı düşük çürüme oranı, yüksek kallus ve köklenme oranları ile daha sağlıklı kök gelişimi sağlamış; aeroponik ortam ise yüksek dozlarda dahi çürüme riski taşımıştır.

**Anahtar Kelimeler:** Aeroponik, Perlit, Köklendirme, IBA, Böğürtlen, Jumbo

## ABSTRACT

INVESTIGATION OF ROOTING PERFORMANCE OF JUMBO BLACKBERRY  
(*Rubus* spp.) GREEN CUTTINGS IN AEROPONIC AND PERLITE MEDIA

Dumlu, Fatma

Master's Thesis, Horticulture

Advisor: Asst. Prof. Dr. Hakan KARADAĞ

December 2024, xii + 49 pages

This study examines the effects of different IBA concentrations and rooting media on the rooting characteristics of green cuttings from the Jumbo blackberry variety. The cuttings were treated with 0 (control), 500, 1000, and 1500 ppm IBA, then planted in Aeroponic and Perlite rooting systems to compare their performance. Parameters such as rooting rate, root length, development of rootlets, seedling yield, the number of branches per cutting, and disease occurrence were evaluated.

In the Perlite medium, the application of 1500 ppm resulted in the longest root length (7.33 cm), while the highest root number (13.26) was observed at the 500 ppm dose. In the Aeroponic medium, the 1000 ppm application achieved the highest values for root length (10.24 cm) and root number (15.47). However, while the decay rate remained at 0.00% in the Perlite medium, it varied between 16.67% and 20.00% in the Aeroponic medium. The highest rooting rate in the Perlite medium was observed at 500 ppm with 93.33%, whereas in the Aeroponic medium, the rooting rate ranged from 50.00% in the control group to a maximum of 70.00% in the 1500 ppm group. The seedling yield reached 93.33% at 500 ppm in the Perlite medium, while it peaked at 63.33% in the Aeroponic medium.

In conclusion, the Perlite medium provided healthier root development due to its low decay rate, higher callus formation, and higher rooting rates. In contrast, the Aeroponic medium posed a risk of decay even at higher IBA concentrations.

**Keywords:** Aeroponic, Aeroponic, Perlit, Rooting, IBA, Blackberry, Jumbo

# İÇİNDEKİLER

ETİK SÖZLEŞME .....	i
JÜRİ KABUL VE ONAY .....	ii
TEŞEKKÜR.....	iii
ÖZET.....	iv
ABSTRACT.....	v
İÇİNDEKİLER .....	vi
ÇİZELGELER LİSTESİ.....	viii
GRAFİKLER LİSTESİ .....	ix
ŞEKİLLER LİSTESİ.....	x
SİMGELER ve AÇIKLAMA .....	xi
KISALTMALAR ve AÇIKLAMA.....	xii
1.GİRİŞ.....	1
1.1 TOPRAKSIZ TARIM YÖNTEMLERİ.....	2
1.1.1. Su kültürü .....	2
Hidroponik Sistem.....	2
Aquaponik Sistem .....	3
Aeromonik Sistem .....	3
Aeromonik Sistemlerin Temel Bileşenleri.....	3
Aeromonik Sistemlerin Avantajları.....	4
Aeromonik Sistemlerin Dezavantajları.....	5
1.1.2. Katı Ortam Kültürü.....	6
Perlit.....	6
Çelik İle Çoğaltma.....	7
Üzümü Meyveler .....	8
2. LİTERATÜR ÖZETLERİ .....	10
3. MATERYAL VE YÖNTEM.....	18
3.1. MATERYAL.....	18
3.1.1. Araştırmada Kullanılan Bitkisel Materyal .....	18

3.1.2. IBA Uygulaması .....	19
3.1.3. Deneme Planı .....	19
3.1.4. Yapılan Gözlemler .....	20
3.1.4.1 Köklenme Oranı (%) .....	20
3.1.4.2 Kökçüklerin Gelişimi .....	20
3.1.4.3 Kök Uzunluğu .....	20
3.1.4.4 Fidan Randımanı .....	20
3.1.4.5 Dal Sayısı (adet/çelik) .....	20
3.1.4.6 Hastalık Durumu .....	20
3.2. YÖNTEM .....	22
3.2.1. Aeroponik Köklendirme Sistemi Yapısı .....	22
3.2.2 Perlit Köklendirme Sistemi Yapısı .....	26
4. BULGULAR VE TARTIŞMA .....	28
4.1. BULGULAR .....	28
4.2. TARTIŞMA .....	35
5.SONUÇ VE ÖNERİLER .....	39
6. KAYNAKLAR .....	42
ÖZGEÇMİŞ .....	49

## ÇİZELGELER LİSTESİ

Çizelge 3. 1. Deneme planı .....	20
Çizelge 4. 1. Çalışma kapsamında elde edilen ortalama veriler .....	29
Çizelge 4. 2. İstatistiksel analiz sonuçları (Kök gelişimi) .....	30
Çizelge 4. 3. İstatistiksel analiz sonuçları (köklenme durumu) .....	31



## GRAFİKLER LİSTESİ

Grafik 4. 1 İstatistik analiz grafiği (köklenme durumu).....	32
Grafik 4. 2. Kallus oranı. ....	33
Grafik 4. 3. Köklenme oranı .....	34
Grafik 4. 4. Fidan randımanı. ....	34



## ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 3. 1. Bitkisel materyal .....	18
Şekil 3. 2. Kök uzunluğu ve çapının ölçülmesi .....	21
Şekil 3. 3. Hastalıklı ve sağlıklı fidan çelikleri .....	21
Şekil 3. 4. Aeroponic kökledirme sistemi.....	22
Şekil 3. 5. Aeroponic sistem nemlendirme sistemi .....	23
Şekil 3. 6. Aeroponic sistem su depoları .....	24
Şekil 3. 7. Aeroponic sistem havalandırma elemanları .....	24
Şekil 3. 8. Aeroponic sistem kontrol ünitesi .....	25
Şekil 3. 9. Aeroponic sistem ısıtma elemanları.....	25
Şekil 3. 10. Perlit kökledirme ortamı .....	26
Şekil 3. 11. Köklü çelikler .....	28

## SİMGELER

## AÇIKLAMA

L

Litre

cm

santimetre

m

metre

mm

milimetre

°C

santigrat

Ph

Potential of hydrogen

μ

mikron

%

Percent

**KISALTMALAR****AÇIKLAMA**

CaCl <sub>2</sub> .2H <sub>2</sub> O	Kalsiyum Klorür Dihidrat
MgSO <sub>4</sub> .7H <sub>2</sub> O	Magnezyum Sülfat Heptahidrat
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	Fosfor Pentoksit
K <sub>2</sub> O	Potasyum Oksit
FAO	Food and Agriculture Organization
IAA	İndol Asetik Asit
IBA	İndol Bütirik Asit
K-IBA	İndol-3-Bütirik Asit Potasyum Tuzu
NAA	Naftalen Asetik Asit
PBZ	Probenazol
ppm	Parts per million
UNDP	United Nations Development Programme
NFT	Besin Film Tekniği
DWC	Derin Su Kültürü
RZT	Kök Bölgesi Sıcaklığı
SPSS	Statistical Package for the Social Sciences

## 1. GİRİŞ

Nüfusun tarımla olan ilişkisi, tarihsel olarak hem ekonomik hem de sosyal yapıları şekillendiren temel bir unsur olmuştur. Tarım, yalnızca gıda üretimi değil, aynı zamanda çevresel, kültürel ve ekonomik bir ağın temel yapı taşı olarak toplumların gelişimine katkı sağlamıştır. İnsanlık tarihinin erken dönemlerinden itibaren tarıma dayalı yerleşik hayata geçiş, toplumsal yapıların dönüşümüne öncülük etmiş ve bu süreç nüfus artışıyla paralel olarak gelişim göstermiştir. Tarımın ilk evrelerinde, toplumlar toprakla olan bağlarını güçlendirerek, doğal çevreyle etkileşimlerini sürdürmüşlerdir. Ancak, günümüzde tarımın nüfus üzerindeki etkileri yalnızca verimlilik artışı ve iş gücü dağılımıyla sınırlı kalmayıp, çevresel sürdürülebilirlik açısından ciddi soruları gündeme getirmektedir. Özellikle çevresel sorunların giderek daha fazla ön plana çıkması, geleneksel tarım yöntemlerinin sürdürülebilirliği açısından sorun teşkil etmektedir (Eryılmaz ve Kılıç, 2018). Bu bağlamda alternatif tarım yöntemleri bu sorunun çözümü için önemli bir seçenek sunmaktadır. Nüfus artışı insanların daha fazla gıda, su, enerji ve yaşam alanına ihtiyaç duymasına, doğal kaynakların tükenmesine, habitat kaybına, iklim değişikliğine ve biyolojik çeşitliliğin azalmasına yol açmaktadır. Bu bağlamda artan dünya nüfusu, yalnızca ekonomik ve sosyal yapılar açısından değil aynı zamanda çevresel sürdürülebilirlik bakımından da büyük bir zorluk teşkil etmektedir.

Nüfus artışına paralel olarak artan gıda talebi, gıda üretim sistemlerinin verimliliğinin artırılmasını gerekli kılmaktadır. UNDP'nin 2023 tarihli raporunda, gıda güvenliğinin sağlanması için sürdürülebilir üretim ve tüketim sistemlerinin geliştirilmesi gerektiği vurgulanmaktadır. Bu noktada, gıda tedbirleri sadece üretim aşamasıyla sınırlı kalmamalı; dağıtım, depolama, işleme ve tüketim süreçlerinde de etkin stratejiler geliştirilmelidir (UNDP, 2023). Bu bağlamda, gıda kayıplarının önlenmesi, gıda zincirinin daha şeffaf hale getirilmesi ve tarımda teknolojinin daha etkin kullanılması konuları ön plana çıkmaktadır.

Artan gıda talebinin karşılanması ve geleneksel tarım yöntemlerinin olumsuz etkileri gibi başlıca faktörler alternatif tarım yöntemlerinin kullanımını gerekli kılmıştır (Yavuz ve ark., 2023). Ayrıca bilinçsiz su ve kimyasal kullanımı sebebiyle toprağın verimsizleşmesi, şehirleşmenin hızla artarak üretim alanlarının kısıtlanması, iklim

değişikliği ve çevresel etkenlerde alternatif tarım yöntemlerinin yaygınlaşmasını gerekli kılan diğer önemli faktörlerdendir. Bu bağlamda, gıda üretiminde verimliliği artırmak ve çevresel etkileri azaltmak amacıyla alternatif tarım yöntemlerine olan ilgi giderek artmaktadır. Geleneksel tarım yöntemlerinin sınırlı kaynaklar, toprak erozyonu, su kısıtlılığı ve kimyasal kullanımı gibi sorunlarla karşı karşıya olduğu bir dönemde, daha sürdürülebilir ve verimli alternatiflerin geliştirilmesi kaçınılmaz hale gelmektedir (FAO, 2017). Alternatif tarım yöntemleri, geleneksel tarımın ötesine geçerek çevre dostu, sürdürülebilir ve genellikle daha az kaynak tüketen yaklaşımlar sunmaktadır. Nüfusun artan talepleri ve çevresel baskılar göz önüne alındığında alternatif yöntemler, tarımın geleceğini şekillendiren önemli bir faktör haline gelmiştir.

## **1.1 TOPRAKSIZ TARIM YÖNTEMLERİ**

Topraksız Tarım Yöntemleri, bitkilerin toprak kullanılmadan, su ve besin çözeltileriyle beslenerek yetiştirildiği tarım yöntemleridir. Bu yöntemler, özellikle sınırlı alanlarda veya verimli toprakların bulunmadığı yerlerde tarım yapılabilmesi için oldukça önemli çözümler sunmaktadır. Topraksız tarım yöntemlerini su kültürü ve katı ortam kültürü olmak üzere iki ana gurup altında sınıflandırabiliriz.

**1.1.1. Su Kültürü:** Hidroponik, Aeroponik ve Aquaponik olmak üzere üç sistemden oluşmaktadır.

**Hidroponik Sistem:** Bitki köklerinin su ve besin solüsyonu karıştırılmış ortam içerisinde sürekli olarak bulunduğu sistemlerdir. Hidroponik sistemler:

- Besin Film Tekniği (NFT)
- Derin Su Kültürü (DWC)
- Fital Sistemi (Wick System)
- Taşma ve Boşaltma Sistemi (Flood and Drain) olmak üzere 4'e ayrılmaktadır.

**Aquaponik Sistem:** Hidroponik sistem ile balık yetiştirme ortamının entegre edilmesi ile hazırlanan sistemlerdir (AlShrouf, 2017).

**Aeroponik Sistem:** Toprak kullanımı gerektirmeden, bitkilerin veya bitki çeliklerinin havada asılı halde olduğu, bitki köklerine su besin eriyiğinin karıştırılarak sisleme şeklinde verildiği sistemlerdir. Aeroponik sistemler bitkileri ihtiyaç duydukları oksijenle doğrudan temas etmesini sağlayarak hızlı ve etkin kullanım imkanı sunmaktadır (Lakhiar ve ark., 2020). Aeroponik tarımda bitkiler, çevresel faktörlere bağlı olmadan daha kontrollü bir ortamda yetiştirilmektedir, bu da özellikle sınırlı alanlarda ve şehir tarımında büyük avantajlar sağlamaktadır. Ayrıca, Aeroponik sistemde bitkiler çok az su ve besin maddesi ile daha verimli şekilde büyüyebildiği için çevre dostu bir çözüm sunmaktadır (Jensen & Malter, 1995). Özellikle meyve üretiminde, Aeroponik sistemlerin geleneksel yöntemlere göre daha hızlı köklenme ve gelişim sağladığı, bu sistemlerin bitkilerin ihtiyaç duyduğu suyu ve besin maddelerini daha verimli şekilde kullanmasına olanak tanıdığı çeşitli araştırmalarla desteklenmektedir (Jensen & Malter, 1995). Bu alternatif sistemlerin, özellikle yüksek kaliteli ve verimli çeşitlerin yetiştirilmesinde önemli bir potansiyele sahip olduğu gözlemlenmektedir.

### **Aeroponik Sistemlerin Temel Bileşenleri**

- 1. Kök Bölgesi:** Aeroponik sistemde, bitkilerin kökleri steril bir ortamda serbestçe havada askıya alınmaktadır. Kökler, belirli bir düzeneğe asılarak, çevrelerinden besin maddelerini alacak şekilde optimize edilmektedir. Bu düzenek, köklerin besin çözeltisi ile temas etmeden, havadaki su buharı ve besin maddeleriyle beslenmelerine imkan tanımaktadır.
- 2. Besin Çözeltisi:** Besin çözeltisi, bitkilerin ihtiyaç duyduğu ve topraktan temin ettikleri tüm besin elementlerini içeren çözelti olarak tanımlanır (Kaçar ve Katkat, 2007). Bitkilerin ihtiyaç duyduğu besin maddeleri, su ile karıştırılarak bir besin çözeltisi hazırlanmaktadır. Bu çözeltinin köklere püskürtülmesi, bitkilerin sağlıklı gelişimi için temel bir işlem olarak kabul edilmektedir. Püskürtme yöntemi, bitkilerin köklerine gerekli besinleri ve suyu doğrudan sağlayarak, büyüme süreçlerini destekler. Hazırlanan çözeltinin içeriği, bitkinin türüne, büyüme

evresine ve çevresel koşullara göre özelleştirilebilmekte, böylece bitkinin besin ihtiyaçları daha verimli bir şekilde karşılanabilmektedir.

3. **Püskürtme Sistemi:** Yüksek basınçlı nozullar, besin çözeltisini köklere doğrudan püskürterek bitkilerin beslenmesini sağlamaktadır. Bu püskürtme işlemi ile besin maddelerini kökler tarafından daha hızlı ve verimli bir şekilde alınmaktadır.
4. **Çevre Kontrolü:** Aeroponik sistemde, bitkilerin büyümesi için gerekli olan sıcaklık, nem oranı ve ışık düzeyleri sıkı bir şekilde kontrol edilmektedir. Kapalı alanlarda uygulanan aeroponik sistemlerde, bu çevresel faktörler tamamen yönetilebilmektedir. Gelişen teknolojiler sayesinde, bu tür sistemlerde otomatik sensörler ve çevre kontrol cihazları kullanılarak ideal büyüme koşulları sağlanabilmektedir.

Aeroponik tarım, verimliliği artırmayı, su kullanımını optimize etmeyi ve çevresel etkileri minimize etmeyi hedeflemektedir. Aeroponik tarım, özellikle su kaynaklarının sınırlı olduğu bölgelerde ve kapalı alanlarda uygulama potansiyeli yüksek bir yöntem olarak öne çıkmaktadır.

Aeroponik sistemler, yetiştiriciliğin yanı sıra çelik köklendirilmesi ve fidan üretimi gibi bitki üretim alanlarında da kullanılmaktadır. Aeroponik köklendirme, özellikle bitkilerin hızlı bir şekilde çoğaltılması ve korunması açısından ekonomik bir yöntemdir (Mehandru ve ark., 2014).

### **Aeroponik Sistemlerin Avantajları**

Aeroponik tarım, çeşitli avantajları nedeniyle geleneksel tarım yöntemlerine kıyasla önemli bir alternatif sunmaktadır:

- **Su Verimliliği:** Aeroponik sistemler, geleneksel tarım yöntemlerine kıyasla su kullanımını önemli ölçüde azaltmaktadır. Bu sistemde, bitkiler suyu doğrudan köklerinden alırken, suyun besin maddeleriyle birlikte köklere püskürtülmesi veya buharlaştırılması sağlanmaktadır. Geleneksel tarım yöntemlerine kıyasla, su kullanımının %90'a kadar daha az olması, bu yöntemin su verimliliği açısından önemli bir avantaj sunduğunu göstermektedir. Bu durum, özellikle su

kaynaklarının tükenme riski taşıdığı alanlarda, Aeroponik tarımın sürdürülebilir bir alternatif olarak değerini artırmaktadır.

- **Daha Hızlı Büyüme:** Aeroponik sistemde kökler doğrudan besin çözeltisiyle beslenir ve aynı zamanda oksijen alır, bu da bitkilerin daha hızlı büyümesine yardımcı olmaktadır. Daha fazla oksijen alımı, köklerin daha verimli çalışmasını ve bitkilerin daha sağlıklı gelişmesini sağlamaktadır.
- **Hastalık ve Zararlılar:** Aeroponik sistemlerde toprak kullanılmadığı için toprak kaynaklı hastalıklar ve zararlılar büyük ölçüde engellenmiş olur. Ayrıca, köklerin havada serbestçe asılı olması, kök çürümesi gibi hastalıkların ortaya çıkmasını engellemektedir. Bazı durumlar yüksek neme bağlı olarak fungal hastalık görülme olasılığını artırabilmektedir.
- **Yüksek Verimlilik:** Aeroponik sistemler, geleneksel tarıma kıyasla daha az alan kullanılarak daha fazla ürün elde edilmesini sağlamaktadır. Bu sistem, dikey tarımda ve şehir içi tarımda kullanılabilmesi açısından verimli bir çözümdür. Sınırlı alanlarda bile yüksek verim almak mümkün olmaktadır.
- **Çevre Dostu ve Sürdürülebilirlik:** Aeroponik tarım, sürdürülebilir tarım yöntemlerinden biri olarak kabul edilmektedir. Çünkü toprak erozyonunu engelleyerek su kaynaklarının daha verimli kullanılmasını ve karbon ayak izinin azaltılmasını sağlamaktadır (Bingöl, 2019).

### **Aeroponik Sistemlerin Dezavantajları**

Aeroponik tarım, pek çok avantaja sahip olmakla birlikte bazı dezavantajlar da içermektedir. Dezavantajları:

- **Yüksek Başlangıç Maliyeti:** Aeroponik sistemlerin kurulumu, geleneksel tarıma kıyasla daha maliyetli olabilmektedir. Sistem, özel ekipmanlar, sensörler ve pompa sistemleri gerektirir, bu da başlangıç maliyetlerini artırmaktadır.

- **Yüksek Enerji Tüketimi:** Bu sistemlerin düzgün bir şekilde çalışabilmesi için sürekli olarak elektrik enerjisi gereklidir. Püskürtme işleminin, çevre kontrolünün ve besin çözeltisinin yönetilmesi için enerji tüketimi oldukça yüksektir.
- **Teknolojik Bağımlılık:** Aeroponik sistemler, teknolojik altyapıya dayanmaktadır. Bu durum, sistemdeki herhangi bir arıza veya aksaklık durumunda ciddi problemler yaşanmasına neden olabilir. Ayrıca, sistemin sürekli izlenmesi ve bakımı gereklidir.
- **Bilgi ve Eğitim Gereksinimi:** Aeroponik tarım, geleneksel tarıma göre daha karmaşık bir yöntem olduğundan, teknolojik altyapının doğru kullanılması için eğitilmiş personel ve uzmanlık gerektirmektedir (Bingöl, 2019).

### 1.1.2. Katı Ortam Kültürü

Katı ortam kültüründe, toprak yerine kullanılan malzemeler, bitkilerin köklerini destekleyerek besin çözeltisinin köklere iletilmesini sağlamaktadır. Bu ortamlar, genellikle su tutma kapasitesine sahip olup, aynı zamanda köklerin oksijen almasına imkan tanıyan materyallerden seçilmektedir. Yaygın olarak kullanılan bazı katı ortamlar şunlardır:

- Perlit
- Vermikülit
- Kokopit (Hindistancevizi lifi)
- Zeolit
- Çakıl ve Kum

#### **Perlit:**

Perlit; volkanik kökenli, hafif ve ince taneli bir kayaç olup, özellikle tarımda köklendirme ortamı olarak yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Su tutma kapasitesinin yüksek olmasının yanı sıra, iyi bir hava geçirgenliğine sahip olan perlit, bitkilerin kök gelişimi için ideal bir ortam sunmaktadır. Çelikle çoğaltma işlemi sırasında, perlitin bu

özellikleri, köklerin sağlıklı bir şekilde gelişmesini ve çeliklerin verimli bir biçimde köklenmesini desteklemektedir. Ayrıca, perlitin nötr pH seviyesi, bitkilerin besin maddelerini daha verimli bir şekilde almasına olanak tanırken, ortamın steril yapısı, köklenme sürecinde hastalık ve zararlılara karşı bitkilerin korunmasına yardımcı olmaktadır. Perlit ortamı, çeliklerin köklenme sürecini hızlandırarak güçlü ve sağlıklı yeni bitkilerin yetişmesini mümkün kılmaktadır (Kalyoncu, 1996). Bu nedenle, perlit, özellikle çelikle çoğaltma ve bitki üretimi gibi uygulamalarda tercih edilen etkili bir köklendirme ortamıdır.

### **Çelik İle Çoğaltma:**

Bitkilerin vegetatif olarak çoğaltılma yöntemlerinden biri olup genellikle, bitkilerden alınan parçaların, yeni kökler ve bitkiler oluşturacak şekilde uygun ortamlarda yetiştirilmesi sürecini ifade etmektedir. Bu yöntem, özellikle köklenme kabiliyeti yüksek olan bitkiler için yaygın olarak kullanılmaktadır. Çelikler, bitkinin gelişim aşamalarına göre; odun çelikleri, yeşil çelikler, yarı odun çelikler ve otsu çelikler çelikler olarak sınıflandırılmaktadır. Bu yöntem, tohumla üremeye göre çok daha hızlıdır ve genetik olarak ana bitkiye benzeyen, sağlıklı bitkiler elde edilmesine olanak tanımaktadır. Ayrıca sağladığı kolaylık ve pratiklik açısından diğer çoğaltma yöntemlerine kıyasla birçok avantaja sahiptir (Yıldız ve ark. 2009). Çelik ile çoğaltma, özellikle meyve ağaçları, süs bitkileri, çalılar, bazı sebzeler ve tarla bitkileri gibi birçok bitki türünde yaygın olarak kullanılmaktadır. Çelikle çoğaltmada en önemli faktörlerden biri, uygun köklendirme ortamının seçilmesidir. Bu ortamlar, genellikle torf, perlit, kokopit gibi suyu tutabilen fakat havalandırması iyi olan maddelerden oluşmaktadır. Çeliklerin köklenme sürecinde, ortamın nem seviyesi ve sıcaklık gibi faktörler de oldukça etkili rol oynamaktadır. Köklendirmede bitki büyüme düzenleyicisi olarak bilinen IBA (İndol-3-bütirik asit) yaygın olarak kullanılmaktadır (Kara ve ark., 2011) Bu düzenleyiciler, çeliğin kök oluşturma yeteneğini artırmaktadır ve köklenmeyi teşvik etmektedir.

## Üzümsü Meyveler

Üzümsü meyveler, botanik sınıflandırmada "bacca" olarak adlandırılan, genellikle etli ve yenilebilir yapıya sahip meyvelerdir. Bu meyveler, bir tek çiçekten gelişen, etli ve çok tohumlu meyve tipine sahiptir. Genellikle küçük boyutlu, yuvarlak ya da oval şekilli olup, tatlı veya ekşi tatlara sahip olabilir. Özellikle şaraplık üzümler, yemelik üzümler, yaban mersini, böğürtlen, ahududu gibi türler Türkiye'nin tarımsal üretiminde önemli bir yer tutmaktadır. Üzümsü meyveler iklim çeşitliliği ve toprak yapısının uygun olması nedeniyle ülkemizde yaygın olarak yetiştirilmektedir (Engin ve Boz, 2019).

Jumbo böğürtlen çeşidi, son yıllarda ticari üretimin artan talebi ile dikkat çeken ve büyük meyve boyutlarıyla tanınan bir çeşittir. Bu çeşit, büyük meyve boyutları, tatlılık ve yüksek verimlilik gibi özellikleri ile pazar değeri yüksek bir alternatif sunmaktadır. Jumbo böğürtlen çeşidi, *Rubus fruticosus* türüne ait olup, standart böğürtlen çeşitlerine göre belirgin şekilde daha büyük meyvelere sahiptir. Meyvelerin büyüklüğü genellikle 4-6 gram arasında değişmekte olup, bu durum onları ticari açıdan yüksek verimlilik sağlayan ürünler haline getirmektedir. Rengi koyu siyah, şekli ise yuvarlak ve etli olup, taze tüketim için idealdir. Meyveler, içerdikleri yüksek su oranı ve tatlılıkları ile bilinmektedir, bu da onları reçel, marmelat ve meyve suyu üretiminde de değerli kılmaktadır (Zia ve ark., 2014). Jumbo böğürtlenler, flavonoidler, fenolik asitler ve vitamin C gibi güçlü antioksidan bileşikler açısından zengindir. Bu bileşikler, serbest radikalleri nötralize ederek hücrelere zarar vermesini engeller. Ayrıca Jumbo böğürtlenler, flavonoidler ve antosiyaninler gibi bileşikler içerir. Bu bileşikler, kan damarlarını güçlendirir ve kan basıncını düşürmeye yardımcı olur (Verma ve ark., 2014).

Böğürtlenlerde çoğaltma; uç daldırması, çelik alma ve doku kültürü yöntemleri ile yapılmaktadır (Avcı, 2013). Çelik ile çoğaltma en yaygın kullanılan yöntemlerden biridir. Bu yöntemde, ana bitkiden alınan sağlıklı gövde çelikleri belirli bir uzunlukta kesilmekte ve uygun bir köklendirme ortamında (örneğin torf, perlit veya kum) köklendirilmektedir. Çelikler genellikle serada, nem ve sıcaklık kontrolü altında köklendirilmektedir. Bu yöntem, özellikle meyve çeşitlerinin ticari üretiminde

kullanılmaktadır.Çünkü çelikle çoğaltma hızlı ve maliyet açısından etkin bir yöntemdir (Zia ve ark., 2014).

Çalışmamızda, Jumbo böğürtlen çeşidine ait yeşil çeliklerin, Aeroponik köklendirme sisteminde ve perlit ortamında köklenme performanslarının karşılaştırılması amaçlanmıştır. Aeroponik köklendirme sistemi, son yıllarda fidan çeliği üretiminde yeni bir teknik olarak öne çıkmış olup, köklenme sürecinde su ve besin maddelerinin daha verimli kullanımı gibi avantajlar sağlamaktadır. Bu çalışma, Aeroponik sistemin perlit gibi geleneksel köklendirme ortamları ile karşılaştırılmasını ve sistemin avantajları ile dezavantajları hakkında literatüre katkı sağlamasını amaçlamaktadır. Aeroponik sistemin köklendirme süreçlerinde kullanılmasına yönelik potansiyelinin değerlendirilmesi hedeflemektedir.

## 2. LİTERATÜR ÖZETLERİ

Eshel ve Ggrünzeweing (2013), tarafından yapılan çalışmada Güney ve Orta Amerika ile Batı Amerika'ya özgü hızlı büyüyen bir ağaç türü olan *Ceiba pentandra* (kapok) ve Orta ve Doğu Afrika'ya özgü daha yavaş büyüyen ağaç türü olan *Khaya anthotheca* (Afrika maun ağacı)'nın fidanları Aeroponik sisteme ve 50 L'lik topraklı kaplara dikilerek iki farklı yetiştirme sisteminde kök ve sürgün gelişimleri incelenmiştir. Aeroponik sisteme dikilen fidanların köklerine 0.75 g/L 20:20:20 oranında bileşik gübre (%20 N bileşenleri, %20 P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> ve %20 K<sub>2</sub>O ile mikro elementler) ile 0.11 g/L CaCl<sub>2</sub>.2H<sub>2</sub>O ve 0.14 g/L MgSO<sub>4</sub>.7H<sub>2</sub>O içeren, musluk suyu bazlı bir besin çözeltisiyle aralıklı olarak uygulama yapılmıştır. Toprağa dikilen fidanlar ise aşırı sıcaklardan korunarak su ve gübre uygulaması yapılmıştır. 12 ay süren deneme süreci sonucunda Aeroponik sisteme dikilen *Ceiba pentandra* fidanları ortalama 4 m yüksekliğe ulaşırken, *Khaya anthotheca* fidanları 1.4 m'ye ulaşmıştır. Aynı zamanda, her iki türün en uzun kökleri 0.6 m' ye kadar büyüdüğü gözlemlenmiştir. Buna karşın, toprakta yetiştirilen ağaçların sürgün yüksekliği *C. pentandra* için 3.6 m, *K. anthotheca* içinse 1.7 m olarak ölçülmüştür. Deneme ile, kök sistemine erişim sağlayan ve tam iyileşmesini sağlayan Aeroponik sistemin bu tür ağaçları incelemek için geçerli bir yöntem olduğu sonucuna varılmıştır.

Scaltrito ve ark. (2024) tarafından çalışmalarında Farina *Silver Blue* ve *La Siesta* adaçayı çeşitlerinde adventif kök gelişimi ve kalitesi üzerinde farklı IBA konsantrasyonları (0 g l<sup>-1</sup> (kontrol) ve 1 g l<sup>-1</sup>) ve sisleme aralıkları (5 ve 10 dakika)'nın etkileri değerlendirilmiştir. Deneme sonucunda 1 g l<sup>-1</sup> IBA konsantrasyonu ve 10 dakikalık sisleme aralığında ilk kökler görülmüştür. En kaliteli adventif kök üretimi yine 10 dakika sisleme aralığında gözlemlenmiştir. İstatistiksel analiz sonucunda 1 g/L IBA ile 10 dakika sisleme aralığının birlikte uygulanması kök biyokütlesi veriminde anlamlı derecede daha yüksek sonuçlar sağladığını ortaya koymuştur. Çalışmalarında Aeroponik sistemde bu bileşenlerin kullanılmasının, yenilenemeyen kaynaklara ihtiyaç duymadan sağlıklı ve yüksek kaliteli bitki yetiştiriciliğinin yapılmasını sağladığı belirtilmiştir.

Zhao ve ark. (2019) çalışmalarında, *Aquilaria sinensis* fidelerinde kromon indüksiyonunu incelemek amacıyla aeroponik bir yetiştirme sistemi geliştirmiştir. Araştırma, fidelerin yan köklerinin kesilip  $1.0 \text{ mg l}^{-1}$  IBA ile tedavi edildikten sonra su Aeroponik sistemine yerleştirildiğinde optimal köklenme oranları ve biyokütle artışı sağladığını göstermiştir. Bu çalışmada, kromon indüksiyonunu incelemek ve agarwood'un işaret bileşenlerinin oluşumunu belirlemek için Aeroponik sistemin başarılı bir şekilde kullanıldığı belirtilmiştir.

Sharma ve ark. (2017)'nin çalışmaları; kuraklığa dayanıklı *Tamarix aphylla* (L.) Karst. türünün tohum ile çoğaltılmasında karşılaşılan problemlerden dolayı Aeroponik sistemde vejetatif çoğaltma yöntemi ile çoğaltılmasını kapsamaktadır. Denemede farklı konsantrasyonlarda ( $0.0, 1.0, 2.0, 3.0, 5.0, 10.0 \text{ mg l}^{-1}$ ) farklı ekzojen oksinler (IAA, IBA, NAA)'in etkileri köklenme ve morfolojik özelliklerin uyarılması açısından incelenmiştir. Aynı ayrı uygulama yapılan üç oksin içerisinde en yüksek köklenme %79 oranında  $2.0 \text{ mg l}^{-1}$  IBA uygulamasından elde edilmiştir. Ayrıca 15 dakika boyunca iki farklı oksin uygulaması ( $2.0 \text{ mg l}^{-1}$  IBA ve  $1.0 \text{ mg l}^{-1}$  IAA) yapılan gövde çeliklerinde %87 oranında köklenme elde edilmiştir. Üç tip gövde çeliği (apikal sürgün, yeni filizlenmiş çelikler, olgun gövde çelikleri) arasında en yüksek köklenme oranı yaklaşık olarak %90 oranında olgun gövde çeliklerinde elde edilmiştir. Tüm bu bulgular sonucunda kök sayısı ve kök uzunluğu parametreleri baz alındığında Aeroponik sistemde köklendirilen çeliklerden, toprakta köklendirilen çeliklere kıyasla daha yüksek oranda sonuçlar elde edildiği belirtilmektedir.

Şimşek ve Gül (2018), her dem yeşil ve odunsu gövde yapısına sahip 4 farklı bitki türü (*Ficus nitida Retusa*, *Pittosporum tobira L.*, *Buxus sempervirens L.* ve *Nerium oleander L.*) üzerinde süs bitkisi üretiminde önem kazanan Aeroponik sistemin, diğer köklendirme ortamlarıyla (torf+perlit, mil) karşılaştırılarak uygulanabilirliği incelenmiştir. Dört odunsu bitki türü üzerinde yapılan deneylerde, köklendirme sürecinin çeşitli göstergeleri (kök gelişimi, çelik yaşama oranı, yapraklanma, dal sayısı vb.) değerlendirilmiş ve SPSS ile istatistiksel analizler gerçekleştirilmiştir. Sonuçlar, Aeroponik sistemin bu türlerde diğer yöntemlerden daha başarılı olduğunu göstermiştir.

Hayden ve ark. (2004), Arizona, Tucson'daki sıcaklık kontrollü bir serada Aeroponik'te yetiştirilen 34 zencefil (*Zingiber officinale* Rosc.) bitkisi üzerinde bir deneme yapmıştır. Aeroponik yetiştirme üniteleri, Aeroponik bir püskürtme odasının üzerine ayrılmış ve yükseltilmiş bir "köksap bölmesi" içermektedir. Bitkilerin yarısına alttan ısı verilerek bitkilerde hızlandırılmış büyüme gözlemlenmiştir. Bitkilerin üçte biri, köksap bölmesinin perlit ile doldurulduğu ünitelerde, üçte biri sfagnum yosunuyla ve üçte biri herhangi bir agregat ortamı olmadan (Aeroponik sistem) yetiştirilmiştir. Perlitte yetiştirilen bitkiler diğer işlemlerden daha hızlı olgunlaşmıştır. Agregat ortamı olmayan aeroponik üniteler, üç aylık bir süre boyunca rizomların büyüme aşamalarını fotoğraflama imkanı sağlamıştır.

Lesmes Vesga ve ark. (2021) tarafından, üç şeftali melezi ((şeftali × (şeftali × badem))'nin yumuşak çelikleri üzerinde, K-IBA (indol-3-bütirik asit potasyum tuzu) konsantrasyonunun dört farklı dozu (0,0%, 0,1%, 0,2%, 0,4% (a/h)) ile uygulama yapılmıştır. Şeftali anaçlarının çoğaltılmasında, yumuşak odun çeliklerine uygulanan bu farklı K-IBA konsantrasyonlarının Aeroponik ve çimlendirme tepsisi sistemlerinde etkileri karşılaştırılmıştır. Hayatta kalma oranı (%), köklenme oranı (%) ve kök büyüme parametreleri ile ilgili veriler toplanmıştır. Sonuçlar, %0,2 K-IBA konsantrasyonunun en yüksek köklenme oranı ve hayatta kalma oranını sağladığını, Aeroponik sistemin ise geleneksel çimlendirme tepsileri kadar etkili olduğunu, ancak daha kontrollü bir ortamda kaynak kullanımını optimize ettiğini göstermektedir.

Guo ve ark. (2022) tarafından hazırlanan makalede, Aeroponik sistemi; hızlı yayılım sürecinde dut çeliklerinin köklerinde küf hastalıklarının doğru tespiti için bir yöntem olarak önermektedir. Yöntem, dut çeliklerinin büyümesine dair bir veri kümesi ve geriye doğru yayılım (BP) sinir ağı kullanarak görüntü işlemeyi içermektedir. Küf oranına göre ortam sıcaklığı ve nemini ayarlayan akıllı bir aeroponik kontrol sistemi tasarlanmış, bu sayede hızlı yayılma süresi, köklenme ve hayatta kalma oranları iyileştirilmiştir. Sinir ağı modelinde, BP sinir ağı kullanılarak hastalıklar doğru bir şekilde sınıflandırılmış ve tanımlanmıştır. Üç eğitim turundan sonra en düşük hata ile üçüncü turdaki model en iyi model olarak seçilmiştir. Modelin performansı, eğitim verisiyle yüksek korelasyon (0,98) göstererek, sonuçların gerçek verilerle uyumlu

olduğunu ortaya koymuştur. Ayrıca, BP sinir ağı modelinin dut çeliklerinin kök bölgesindeki hastalıkları %80 doğrulukla doğru şekilde tespit edebildiği bulunmuştur. Araştırma sonucunda, Aeroponik sistemin hızlı çoğaltma süreçlerinde dut çeliklerinin sağlık durumunu belirleme konusunda etkili bir yöntem sunduğu ve akıllı fidanlıklar için teknik bir referans sağladığı belirtilmiştir.

Mehandru ve ark. (2014) çalışmalarında , nadir ve tehdit altındaki bitkiler *Caralluma edulis* (Paimpa), *Leptadenia reticulata* (Jeevanti) ve *Tylophora indica* (Burm.f.) Merrill'in Aeroponik sistemle klonal çoğaltılma potansiyelini incelemiştir. Denemeler ile, eksojen oksinlerin (IBA, NAA, IAA) ve farklı konsantrasyonlarının (0,0–5 g/L) köklenme üzerindeki etkileri değerlendirilmiştir. IBA, en yüksek köklenme oranı ve kök sayısını sağlamıştır. *C. edulis*'in kesimleri için 2.0 g/L IBA, *L. reticulata* ve *T. indica* için ise 3.0 g/L IBA en etkili konsantrasyonlar olmuştur. Aeroponik ortamda köklenen kesimler, toprakta köklenenlere göre daha fazla köklenmiş ve daha hızlı büyümüştür. Bu çalışma, Aeroponik sistemin bu bitkilerin hızlı çoğaltılması ve korunması için ekonomik bir yöntem olduğunu önermektedir.

Yachya ve ark. (2020), *Talinum paniculatum* için Aeroponik ortamda kök biyokütlesi üretimini artırmayı amaçlamıştır. Araştırmada, Indole-3-bütirik asit (IBA) ve etefon kombinasyonlarının etkilerini incelemiştir. Sonuçlar, kök oluşumunun oksin ve etilenin etkisiyle şekillendiğini göstermiştir. Hem IBA hem de etefon, köklerin çıkış zamanı, sayısı, uzunluğu, biyokütlesi ve indol-3-asetik asit (IAA) içeriği üzerinde anlamlı etkiler ortaya koymuştur. Optimum kök sayısı, 4 mg/L IBA ve 0 mg/L etefon kombinasyonu ile elde edilmiştir. Yüksek IBA kök oluşumunu engellerken, etefon düşük IAA seviyeleri ile kök oluşumunu teşvik etmiştir. 0 mg/L IBA ve 1 mg/L etefon kombinasyonu, kök biyokütlesinin taze ağırlığını 1,5 kat artırmıştır. Etefon uygulaması daha karlı bulunmuş, ancak *T. paniculatum*'un sekonder metabolit içeriği üzerinde daha fazla araştırma yapılması gerektiği belirtilmiştir.

Martin-Laurent ve ark. (1997) çalışmalarında, *Acacia mangium*'un seçilen *Bradyrhizobium spp.* suşlarıyla inokülasyonu için katı olmayan ortamlarda bitki kültürü yönteminin alternatif olup olmadığını incelemiştir. *A. mangium* fideleri, *Bradyrhizobium* suşları Hidroponik, Aeroponik ve kum ortamlarda yetiştirilmiştir.

Aeroponik sistemin, 4 ayda 1 m boyunda fidan üretimi sağladığı ve en verimli yöntem olduğu bulunmuştur. Aeroponik ortamda yetiştirilen fidanlar, kökleri boyunca çok sayıda küçük nodül geliştirmiş, bu da bitkilerin azot ve klorofil içeriğini artırmıştır. Çalışma, Aeroponik sistemi geleneksel toprak inokülasyonuna alternatif olarak önermektedir.

Regas ve ark. (2021) çalışmalarında, Aeroponik sistemler kullanarak kenevirin klonal çoğaltılması için verimli bir yöntem olup olmadığı araştırılmıştır. "Cherry Wine" ve "Red Robin" kenevir çeşitlerinden sürgün kesimleri alınmış ve kök gelişimini teşvik etmek için indol-3-bütirik asit (IBA) uygulanmıştır. Kesimler, her üç günde bir azot, fosfor ve potasyum gibi temel makro besin maddelerini içeren besin solüsyonu ile sislenmiş ve suyun pH değeri 5.0-6.0, sıcaklığı ise 20-22 °C arasında tutulmuştur. Kesimlere 24 saat ışık verilmiş ve kök gelişimi sağlanınca transplantasyona alınmıştır. Deneme sonucu Aeroponik sistem, geleneksel yöntemlere göre daha verimli bir kenevir çoğaltma tekniği sunmaktadır.

Peterson ve Krueger (1988) çalışmalarında, Aeroponik sistemi, bitki büyüme çalışmalarında potansiyel kullanımı amacıyla tasarlayarak test etmişlerdir. Salatalık bitkileri, 40 gün boyunca 7 saniye sürede 10 dakikalık aralıklarla püskürtme yapılan ve yaklaşık yarım güçte Hoagland çözeltisi kullanılan bir programda yetiştirilmiştir. Kök çevresi  $20 \pm 1,1$  °C'de kontrol edilerek, hızlı kök gelişimi ve iyi dal budama ile kök tüyleri gözlenmiştir. Sistem, kök sistemine kolay erişim ve çözeltinin bileşenlerinin kontrol edilmesi gibi avantajlar sağlamıştır. Ayrıca, kısa süreli su stresi testleri yapılabileceği sonucu elde edilmiştir.

Farqani ve ark. (2024), çözelti pH seviyesinin elma anaçlarının kök gelişimi üzerindeki etkisini Aeroponik sistemde incelemiştir. G.210, G.214, G.41 ve G.890 Geneva elma anaçları, farklı pH seviyeleri (5.5, 6.5 ve 8.0) altında besin çözeltisi sisleme yöntemiyle yetiştirilmiştir. 30 gün süresince kök gelişimi izlenmiş ve kök mimarisi parametreleri GiA Roots yazılımı ile analiz edilmiştir. Sonuçlar, pH 8 seviyesinde kök büyümesinin daha yüksek olduğunu, pH 5.5 ve 6.5'ta ise benzer büyüme gözlemlendiğini göstermiştir. Kök genişliğinin yüksek pH seviyelerinde azaldığı ve pH seviyelerinin özellikle P, Ca ve Mn içeriklerini etkilediği bulunmuştur.

Karadağ ve ark. (2024) tarafından, Aeroponik sistemin potansiyeli araştırılmış, özellikle Aeroponik sistemin bitki köklerinin gelişimi üzerindeki etkisi ve farklı bitki türleriyle olan performansı incelenmiştir. Bu kapsamda, köklendirilmesi zor olan karadut (*Morus nigra*) ve erguvan (*Cercis siliquastrum*) çeliklerinin perlit ve Aeroponik ortamlarda köklenme performansları değerlendirilmiştir. Çeliklerin köklenme sürecinde, uygulanan büyüme düzenleyici dozları ve diğer parametrelerin kök oluşumu ve gelişimi üzerindeki etkileri analiz edilmiştir. Aeroponik sistemde, karadut odun çeliklerine 6000 ppm IBA uygulanarak %85,19 köklenme oranı ve %96,30 kallus oluşum oranı elde edilmiştir. Aynı dozda perlit ortamında ise karadut çeliklerinin köklenme oranı %59,26 olarak bulunmuştur. Aeroponik sistemde, karadut yeşil çeliklerine 4000 ppm IBA uygulaması ile %92,59 kallus oluşum oranı ve %81,48 köklenme oranı elde edilmiştir; bu değerler kontrol grubuna göre belirgin bir artış göstermektedir. Perlit ortamında ise, en yüksek köklenme oranı %74,08 ile 4000 ppm IBA uygulamasıyla sağlanmıştır. Erguvan yeşil çeliklerine aeroponik sistemde 6000 ppm IBA uygulaması ile %29,63 köklenme oranı ve %25,92 kallus oluşum oranı elde edilmiştir. Aeroponik sistem, perlit ortamına kıyasla köklenme oranları ve kök sayısı açısından daha başarılı sonuçlar vermiştir.

Edizer (2011) tarafından yapılan çalışmada, 2009-2010 yıllarında Tokat ekolojisinde yetişen Jumbo Böğürtlen (*Rubus fruticosus L.*) çeşidinin çelikle üretiminde, farklı dikim tarihleri ve IBA dozlarının farklı çelik tiplerindeki köklenme özelliklerine etkilerini incelemeyi amaçlamıştır. Araştırma sonuçlarına göre, dikim tarihleri, çelik tipleri ve IBA dozlarının köklenme oranları üzerinde farklı etkiler gösterdiği belirlenmiştir. Ekim ve Kasım aylarında alınan odun çeliklerinde tüm IBA dozlarında yüksek köklenme oranları elde edilmiştir. Eylül ayında alınan yeşil çeliklerde ise 4000 ppm ve 6000 ppm IBA dozlarında yüksek köklenme oranları tespit edilmiştir. Ayrıca, yine Eylül ayında alınan yaprakgöz çeliklerinde 2000 ppm, 4000 ppm ve 6000 ppm IBA dozlarında %100 köklenme oranı saptanmıştır. Bitki büyüme düzenleyicisi kullanılmadan yapılan uç daldırma uygulamasında da %100 köklenme başarıya ulaşmıştır. Bu bulgular, farklı dönemler, çelik tipleri ve IBA dozlarının köklenme başarısı üzerinde önemli etkilere sahip olduğunu göstermektedir.

Zenginbal ve Gündoğdu (2020) alışmalarında, ‘Chester’ böğürtlen (*Rubus fruticosus L.*) eşidi odun çeliklerinin köklenmesi üzerine, farklı elik çapı ve indol butirik asit (IBA) dozunun etkisini belirlemeyi amaçlamıştır. Çelikler, üç farklı çapta (4-6 mm, 7-11 mm, 12-16 mm) ve 20 cm uzunluğunda olup, dip kısımları farklı IBA dozlarına (0, 500, 1000, 1500, 2000 ppm) batırılmıştır. Çelikler, 75 gün boyunca ısıtmasız serada perlit ortamında köklenmeye bırakılmıştır. Araştırma sonucunda, canlılık oranı %30.0 ile %98.0, köklenme oranı %10.0 ile %80.0, kök sayısı 3.0 ile 23.2 arasında, ve kök uzunluğu 4 cm ile 15.4 cm arasında değişim göstermiştir. En yüksek sonuçlar, 1000 ppm IBA uygulanan 7-11 mm çapındaki çeliklerden elde edilmiştir. Bu sonuçlar, bu çap ve IBA dozunun, köklenme oranı ve kök kalitesini artırmada oldukça etkili olduğunu göstermektedir.

Çiğdem ve ark. (2022) tarafından yapılan çalışmada, böğürtlen (*Rubus fruticosus L.*) odunsu çeliklerinde adventif kök oluşumundaki zorlukları önlemek için farklı büyüme düzenleyicilerinin köklenme kabiliyetine etkisi araştırılmıştır. Deney, Tokat Gaziosmanpaşa Üniversitesi Tarımsal Araştırma ve Uygulama Merkezi polikarbon serasında gerçekleştirilmiştir. eliklere İndol-3-Butirik Asit (IBA) (3000 ppm) ve paklobultrazol (500 ppm PBZ1, 1000 ppm PBZ2, 1500 ppm PBZ3) farklı dozları, ayrıca bu büyüme düzenleyicilerinin kombinasyonları uygulanmıştır. Uygulama sonrası çelikler perlit ortamında 90 gün süreyle köklenmeye bırakılmıştır. Çalışma sonucunda en yüksek köklenme oranı, IBA uygulanan çeliklerde (%42.22) elde edilmiştir. En yakın sonucu ise PBZ1 uygulanan çelikler (%33.33) takip etmiştir. Ayrıca, PBZ uygulamaları kök çapı üzerinde olumlu etkiler göstermiştir. Elde edilen bulgular, literatüre katkı sağlamak ve üreticilere fayda sunmak açısından önemlidir.

Tagliari ve ark. (2021), *R. erythroclados* türünün yarı odun böğürtlen çeşidinin çeliklerinde farklı kesim uzunlukları ve IBA konsantrasyonları arasındaki etkileşimi incelemek amacıyla bir çalışma gerçekleştirmiştir. Denemede elikler üç farklı uzunlukta (10, 15, 20 cm) kesilmiş ve IBA'nın 5 farklı dozuna (0, 1000, 2000, 3000, 4000 ppm) 10 saniye süreyle hızlı daldırma yöntemiyle işlem yapılmıştır. Bu denemede toplam 19 faktör değerlendirilmiştir. Yapılan gözlemler sonucunda, köklenme oranının

1000 ppm IBA ile muamele edilen 10 ve 15 cm uzunluğundaki çeliklerde daha yüksek olduğu tespit edilmiştir.

Choudhary ve Kataria (2024) çalışmalarında, *Leptadenia pyrotechnica* ve *Leptadenia reticulata* türlerinin Aeroponik teknikle kütleli klonal çoğaltılmasını incelemiştir. Araştırmada, sürgün çeliklerine farklı IBA (indol-3-bütirik asit) ve NAA (naftalen asetik asit) konsantrasyonlarında (50, 100, 200, 500, 1000 mg L<sup>-1</sup>) ve uygulama sürelerinde (5, 10, 15, 30, 60 dakika) muamele yapılmıştır. Sonuçlar, IBA'nın adventif kök gelişimi üzerinde NOA'dan daha etkili olduğunu göstermiştir. *L. pyrotechnica* için, 500 mg L<sup>-1</sup> IBA ile 30 dakika tedavi edilen kesimler %78.67 köklenme oranı ve her bir kesim başına 22.00 kök üretimi sağlamıştır. *L. reticulata*'da ise en yüksek köklenme oranı (98.67%) 100 mg L<sup>-1</sup> IBA ile 30 dakika tedavi edilen kesimlerde elde edilirken, en yüksek kök üretimi (62.67 kök) 200 mg L<sup>-1</sup> IBA ile 15 dakika tedavi edilen kesimlerde gözlemlenmiştir. Köklenen kesimler, serada %100 hayatta kalma oranı ile başarıyla sertleştirilmiştir. Bu çalışma, bu türlerin kütleli çoğaltılmasında aeroponik sistemin etkili bir yöntem olarak kullanılabilir olduğunu ve potansiyel uygulamalarını ortaya koymuştur.

*Arabidopsis thaliana*, bitki araştırmalarında yaygın olarak kullanılan bir model organizma olmasına rağmen, küçük yapısı ve düşük biyokütlesi nedeniyle fizyolojik araştırmalar açısından bazı zorluklar teşkil etmektedir. Tropikal iklimlerde ise yalnızca doku kültürleri veya kontrollü ortamlar kullanılarak yetiştirilmektedir. Srikanth ve ark. (2017) tarafından yapılan çalışmada, Aeroponik bir teknikle 20°C ± 2°C ve 30°C ± 2°C kök bölgesi sıcaklıkları (RZT) altında, tropikal serada doğal ışık ve yüksek çevre sıcaklıklarıyla (38°C/28°C gündüz/gece) *Arabidopsis* bitkileri yetiştirilmiştir. Bitkiler, büyüme odalarında 20°C veya 30°C'de çimlendikten sonra, Aeroponik ortama aktarılmıştır. Bir hafta içinde bitkiler her iki RZT'ye de adapte olmuş, sağlıklı rozetler oluşturmuş ve tohum üretmiştir. 20°C ± 2°C RZT, solmaya rağmen turgor basıncını iyileştirmiş ve biyokütleyi artırmıştır. Aeroponik ortamda yetişen bitkiler, fotoinhibe olmamış, daha yüksek fotosentetik verimlilik ve ısı dağıtım kapasitesine sahip olmuştur. Bu yöntem, tropikal iklimde *Arabidopsis*'i model bitki olarak kullanmayı mümkün kılmaktadır.

### 3. MATERYAL VE YÖNTEM

#### 3.1. MATERYAL

##### 3.1.1. Araştırmada Kullanılan Bitkisel Materyal

Çalışmada, Jumbo Böğürtlen (*Rubus spp.*) çeşidine ait yeşil çelikler bitkisel materyal olarak kullanılmıştır (Şekil 3.1). Jumbo Böğürtlen (*Rubus spp.*) çeşidi, son yıllarda sanayiye hammadde temin etme ve çeşitli diğer kullanım alanları sağlama açısından ülkemizde yetiştiriciliği giderek daha fazla önem kazanmaktadır (Akbulut ve ark., 2003).

Çalışmada kullanılan çelikler, Tokat Gaziosmanpaşa Üniversitesi Tarımsal Araştırma ve Uygulama Merkezine ait uygulama sahasında kurulu böğürtlen parselinden temin edilmiştir. Çeliklerin kesimi, Aeroponik Köklendirme sistemine uygun olması açısından yaklaşık 20 cm uzunluğunda yapılmıştır. Alınan çelikler sıvı kaybını önlemek amacıyla dikimi yapılanaya kadar nemli bir bez içerisinde bekletilmiştir.



Şekil 3.1. Bitkisel materyal (Orjinal)

### 3.1.2. IBA Uygulaması

Ağustos ayında uygulama bahçesinden elde edilen yeşil çeliklere, köklenmenin teşvik edilmesi amacıyla planlanan deneme planı doğrultusunda IBA uygulaması yapılmıştır.

IBA, oksin sınıfına ait bir büyüme düzenleyicisi olup, köklenme konusunda en yaygın kullanılan hormonlardan biridir. IBA'nın kullanımı, köklenmesi zor olan çeliklerin köklenme hızını artırmak, süreci teşvik etmek ve çeliklerin kök sayısı ile kalitesini iyileştirmek amacıyla yapılmaktadır (Gerçekcioğlu, 2009; Kalyoncu ve ark., 2016).

Çalışmada Jumbo böğürtlen çeşidine ait çeliklere 0(kontrol), 500, 1000, 1500 ppm dozlarında IBA uygulaması yapılmıştır. Her çelik belirlenen konsantrasyonlarda IBA'ya 10 saniye daldırılarak Aeroponik sisteme ve perlit ortamına tesadüfi olarak yerleştirilmiştir.

### 3.1.3. Deneme Planı

Bu çalışmada, tek çeşit (Jumbo) çelik kullanılarak, çeliklerin Aeroponik köklendirme sistemine ve perlit ortamına dikilmesiyle indol bütirik asit (IBA)'in dört farklı dozunun köklenme üzerine etkileri incelenmiştir. Ayrıca Aeroponik köklendirme sistemine ve perlit ortamına dikilen çeliklerden elde edilen parametrelerde karşılaştırma yapılarak çeliklerin köklenmesi için ideal ortam tayin edilmiştir.

Çalışma, her bir doz için üç tekerrürlü olarak ve her tekerrürde 10 çelik kullanılacak şekilde yapılmıştır. Çelikler 17 Ağustos 2023 tarihinde Aeroponik köklendirme sistemine ve Perlit köklendirme sistemine eş zamanlı olarak dikilmiştir (Çizelge 3.1). Çeliklerin kabin ve perlit ortamındaki yerleşimi, tesadüfi olarak dağıtılmış ve elde edilen verilerin istatistiksel analizleri SPSS paket programı kullanılarak yapılmıştır. Çalışma sonunda, farklı IBA dozlarının çeliklerin köklenme süreci, kök sayısı ve kök kalitesi üzerindeki etkileri ve çeliklerin köklenmesi için ideal ortam değerlendirilmiştir.

**Çizelge 3.1.** Deneme planı

Ortam	IBA(ppm)				Toplam
	0 (Kontrol)	500 ppm	1000 ppm	1500 ppm	
Aeroponik Ortam	3x10	3x10	3x10	3x10	120
Perlit Ortamı	3x10	3x10	3x10	3x10	120

### 3.1.4. Yapılan Gözlemler

**3.1.4.1 Köklenme Oranı (%):** Ortamlara yerleştirilecek olan çeliklerden köklenenlerin sayısının toplama olan oranları % olarak hesaplanmıştır.

**3.1.4.2 Kökçüklerin Gelişimi:** Çelik üzerinde oluşacak kök/kökçüklerin eni (mm), boyu (mm) ve sayısı sayılarak hesaplanmıştır.

**3.1.4.3 Kök Uzunluğu:** Çeliklerde oluşan kökler metre ve kumpas yardımı ile ölçülmüştür (Şekil 3.2).

**3.1.4.4 Fidan Randımanı:** Köklendirme işlemlerini tamamlandıktan sonra fidanlar tüplere aktararak sağlıklı ve dikilebilir fidan sayısı belirlenmiştir.

**3.1.4.5 Dal Sayısı (adet/çelik):** Köklendirme ortamına yerleştirilen çelikler üzerinde oluşan dallar adet olarak sayılarak ortalamaları hesaplanmıştır.

**3.1.4.6 Hastalık Durumu:** Sisteme yerleştirilen çeliklerde hastalık durumu gözlemleri yapılarak (%) şeklinde veriler alınmıştır (Şekil 3.3).



Şekil 3.2. Kök uzunluğu ve çapının ölçülmesi



Şekil 3.3. Hastalıklı ve sağlıklı fidan çelikler

## 3.2. YÖNTEM

Denemede Aeroponik Köklendirme sistemi ve perlit köklendirme sistemi kullanılmıştır. Elde edilen parametre sonuçları arasında karşılaştırma yapılarak köklenme için en uygun IBA dozu ve köklendirme ortamı belirlenmiştir. Çalışmamız Tokat Gaziosmanpaşa Üniversitesi Tarımsal Araştırma ve Uygulama Merkezi bünyesinde kurulu olan Aeroponik Köklendirme sisteminde ve polikarbon serasında kurulu perlit köklendirme ortamında eş zamanlı olarak yürütülmüştür.

### 3.2.1. Aeroponik Köklendirme Sistemi Yapısı

Sistem, üç katlı bir yapıdan oluşmakta olup, her katta 2 m<sup>2</sup> alana sahip 3 kasa bulunmaktadır. Bu düzenlemede her katta toplam 6 m<sup>2</sup>'lik çelik dikme alanı sağlanarak, sistemde toplamda 18 m<sup>2</sup>'lik bir alandan oluşmaktadır. Kasaların derinliği 40 cm, katlar arasındaki mesafe ise 50 cm olarak ayarlanmıştır (Şekil 3.4). Sistem, çeliklerin sağlıklı bir şekilde köklenmesi ve gelişmesi için gerekli olan optimal alanı sunmakta ve verimli bir çoğaltma ortamı sağlamaktadır. Bu yapı, çeliklerin büyüme sürecine uygun koşullar sağlayacak şekilde tasarlanmıştır.



Şekil 3.4. Aeroponic köklendirme sistemi

Sistemde sulama, nemlendirme prensibine dayalı olarak tasarlanmıştır. Kabin içerisinde, çeliklerin köklenme bölgelerini nemlendirecek şekilde yerleştirilen mistleme nozulları kullanılmaktadır. Nozullar, 0.30 mm (30  $\mu$ ) delik  $\text{çapına}$  sahip olup, kabinin üst kısmına yerleştirilen nozullar, çeliklerin üst kısımlarını ihtiyaca göre nemlendirecek şekilde çalışmaktadır (Şekil 3.5). Sistemde kullanılan otomasyon, yeşil çelik veya odun çeliği türlerine göre nozulların çalışma şeklini ayarlayarak, her tür çelik için en uygun nemlendirme koşullarını sağlamaktadır. Bu düzenleme, çeliklerin sağlıklı bir şekilde köklenebilmesi için gerekli nem seviyesini sürekli olarak sağlayacak şekilde optimize edilmiştir.



**Şekil 3.5.** Aeroponic sistem nemlendirme sistemi

Sistemde sisleme işlemi için kullanılan su, depolardan temin edilmektedir. Depolar, bitkilere gerekli besin takviyelerinin sağlanmasında da kullanılmaktadır. Köklenme sürecinin başlamasının ardından, bitkilere besin takviyesi sulama sistemi aracılığıyla verilmektedir. Suda çözünür besin maddeleri, doğrudan kök bölgesine püskürtülerek uygulanmaktadır. Su depoları, köklendirme kabinlerinin alt kısmına yerleştirilmiş olup, kabin ile birlikte taşınabilir şekilde tasarlanmıştır. Bu düzenleme, su ve besin takviyelerinin verimli bir şekilde sağlanmasını ve çeliklerin sağlıklı bir şekilde büyümesini mümkün kılmaktadır (Şekil 3.6).



Şekil 3.6. Aeroponic sistem su depoları

Köklendirme kabininde, hava akışının düzenli bir şekilde sağlanabilmesi için sirkülasyon fanları bulunmaktadır. Bu fanlar, havanın sürekli olarak hareket etmesini sağlayarak, nemin homojen bir şekilde dağılmasına katkı sağlamaktadır (Şekil 3.7).



Şekil 3.7. Aeroponic sistem havalandırma elemanları

Sistemin kontrolü otomasyon ile sağlanmakta olup PLC otomasyon sistemi kullanılmaktadır. Sistemin en büyük avantajlarında bir tanesi kabinler birbirinden bağımsız olarak çalıştırılabilmektedir ve aynı anda farklı ürünlerin yetiştirilmesine imkan sağlamaktadır (Şekil 3.8).



Şekil 3.8. Aeroponic sistem kontrol ünitesi

Köklendirmede alt kısım sıcak, üst kısım soğuk olduğunda köklenmenin teşvik edilmesi prensibi göz önünde bulundurularak kabinlerin alt kısmında bulunan ısıtıcı pedler sayesinde sıcaklık sabit tutulmaktadır (Şekil 3.9).



Şekil 3.9. Aeroponic sistem ısıtma elemanları

Köklendirmede alt kısım sıcak, üst kısım soğuk olduğunda köklenmenin teşvik edilmesi prensibi göz önünde bulundurularak kabinlerin alt kısmında bulunan ısıtıcı pedler sayesinde sıcaklık sabit tutulmaktadır (Şekil 3.9).

### 3.2.2 Perlit Köklendirme Sistemi Yapısı

Perlit ile köklendirme sisteminde demir aksamı bench kullanılmıştır. Bnechlerin içerisi tamamen perlit doldurularak kullanılmaktadır. Bench'ler havuz şeklinde olup derinliği 30 cm<sup>2</sup> dir. Sistem alttan ısıtılmalı olacak şekilde çalışmaktadır. Çeliklerin sulanması üstten sisleme şeklinde yapılmaktadır. Sisleme süreleri zamanlayıcı ile sağlanmaktadır (Şekil 3.10).



Şekil 3.10. Perlit köklendirme ortamı

Perlit, hafif, steril ve doğal bir volkanik kayaç ürünü olup, bitki çeliklerinin köklendirilmesinde sıkça kullanılan bir ortamdır. Bu sistem, perlitin fiziksel ve kimyasal özelliklerinden yararlanılarak geliştirilmiştir. Perlit, yüksek su tutma kapasitesine ve havalanma özelliklerine sahip olduğu için köklenme ortamında mükemmel bir denge sağlamaktadır (Hartmann et al., 2018).

Çelik köklendirme, bitki üretiminde yaygın bir yöntemdir ve bu süreçte çeliklerin sağlıklı bir şekilde kök oluşturabilmesi için uygun bir ortam sağlamaktadır. Gevşek yapısı sayesinde köklerin kolayca gelişmesine olanak tanımakta ve aynı zamanda köklerin oksijen ihtiyacını karşılamaktadır. Ayrıca, perlitin steril olması, kök çürüklüğüne neden olabilecek patojenlerin oluşumunu engellemektedir (Gül et al., 2010).

Literatürde perlit kullanımıyla yapılan çalışmalarda, farklı bitki türlerinde köklendirme başarısının arttığı rapor edilmiştir. Örneğin, odunsu bitki çeliklerinde perlitin etkili olduğu, köklenme oranlarını artırdığı ve daha sağlıklı kök sistemleri oluşturduğu belirtilmiştir (Khayyat et al., 2007). Aynı zamanda perlit, özellikle hidroponik sistemlerde veya kontrollü seralarda da tercih edilen bir ortamdır (Smith & Harris, 2020).

Perlit çelik köklendirme sistemi, düşük maliyetli, pratik ve çevresel olarak sürdürülebilir bir seçenek sunar. Bu sistem, bitki üretiminde köklendirme verimliliğini artırmak için önemli bir çözüm olarak değerlendirilmektedir.

## 4. BULGULAR VE TARTIŞMA

### 4.1. BULGULAR

Bu çalışma, farklı dozların etkilerini değerlendirmek amacıyla tasarlanmış ve her doz için üç tekerrürlü bir düzenleme uygulanmıştır. Her bir tekerrürde 10 adet çelik kullanılmıştır. Deneme, 17 Ağustos 2023 tarihinde Aeroponik köklendirme sistemi ve Perlit köklendirme sistemi kullanılarak eş zamanlı bir şekilde başlatılmıştır. Çeliklerin bu iki farklı ortamda yerleştirilmesi, tesadüfi bir dağılımla gerçekleştirilmiştir. Bu sayede sistematik hataların en aza indirilmesi ve verilerin güvenilirliğinin artırılması hedeflenmiştir. Elde edilen verilerin değerlendirilmesi için SPSS istatistik paket programı kullanılmıştır. İstatistiksel analizler, dozların ve farklı köklendirme ortamlarının çeliklerin gelişimi üzerindeki etkilerinin anlamlılık düzeylerini ortaya koymayı amaçlamıştır.



Şekil 3.11.Köklü çelikler (Orjinal)

**Çizelge 4. 1.** Çalışma kapsamında elde edilen ortalama veriler

Ortam	Uyg.	Tek.	Kök uzunluğu (cm)	Kök çapı (mm)	Çelik çapı (mm)	Kök sayısı (Adet)	Çürüme oranı (%)	Kallus Oranı (%)	Köklenme Oranı (%)	Fidan randımanı (%)
Perlit	1	1	5,23	0,73	8,56	8,10	0	100	80	70
	1	2	6,50	1,04	7,81	9,90	0	100	90	90
	1	3	7,30	0,51	8,63	17,70	0	100	90	90
	2	1	6,81	0,84	8,25	16,80	0	100	90	90
	2	2	6,53	0,85	6,99	12,27	0	100	100	100
	2	3	4,40	0,40	7,88	10,70	0	100	90	90
	3	1	6,02	0,46	7,15	13,40	0	100	90	90
	3	2	4,06	0,74	8,75	10,10	0	100	70	70
	3	3	5,19	0,37	8,34	7,80	0	90	80	80
	4	1	8,11	0,61	7,86	12,00	0	100	90	80
	4	2	8,88	0,84	6,99	15,10	0	100	100	80
	4	3	5,00	0,34	8,05	9,10	0	90	80	70
Aeroponic	1	1	1,80	0,53	8,88	3,80	30	30	30	30
	1	2	5,45	0,30	7,13	2,20	0	90	60	50
	1	3	9,15	0,25	7,59	4,60	20	80	60	50
	2	1	1,63	0,73	7,18	4,20	20	80	60	50
	2	2	6,79	0,27	7,24	3,80	30	70	60	50
	2	3	10,45	0,74	8,25	14,00	10	90	60	60
	3	1	6,79	0,84	7,45	17,40	20	80	60	60
	3	2	17,82	0,62	7,86	20,40	20	80	80	70
	3	3	6,12	0,30	8,08	8,60	10	90	70	60
	4	1	3,51	0,45	8,42	5,20	20	80	70	60
	4	2	3,58	1,36	7,61	3,03	0	90	60	60
	4	3	9,24	0,82	8,78	12,00	10	90	80	70

**Çizelge 4. 2.** İstatistiksel analiz sonuçları (Kök gelişimi)

ORTAM	UYGULAMA	Kök Uzunluğu (cm)	Kök Çapı (mm)	Çelik Çapı (mm)	Kök Sayısı (Adet)
PERLİT	KONTROL	6,34 A	0,76 A	8,33 A	11,90 AB
	500 PPM	5,91 A	0,70 A	7,71 A	13,26 AB
	1000 PPM	5,09 A	0,52 A	8,08 A	10,43 ABC
	1500 PPM	7,33 A	0,60 A	7,63 A	12,07 AB
AEROPONİK	KONTROL	5,47 A	0,36 A	7,87 A	3,53 C
	500 PPM	6,29 A	0,58 A	7,56 A	7,33 ABC
	1000 PPM	10,24 A	0,59 A	7,80 A	15,47 A
	1500 PPM	5,44 A	0,88 A	8,27 A	6,74 BC

Perlit ve Aeroponik ortamda gerçekleştirilen kök büyümesine ait istatistiki analiz sonuçları Çizelge 4.2.'de görülmektedir. Her bir ortamda farklı uygulamalar yapılmış ve bunların kök uzunluğu, kök çapı, çelik çapı ve kök sayısı üzerindeki etkileri değerlendirilmiştir.

Perlit ortamında 1500 ppm uygulaması, kök uzunluğu açısından en yüksek değeri (7,33 cm) vermiştir. Ancak kök sayısı bakımından 500 ppm uygulaması öne çıkmaktadır. Aeroponik ortamında 1000 ppm uygulaması, kök uzunluğu (10,24 cm) ve kök sayısı (15,47 adet) açısından en yüksek sonuçları sağlamıştır.

Tablonun içeriğinden yola çıkarak ortam uygulamalarının kök gelişimi üzerindeki etkilerini incelediğimizde; Kontrol grubunda ortalama kök uzunluğu 6.34 cm ile diğer gruplara göre oldukça yüksektir. Ancak, 1000 PPM grubunda kök uzunluğu en düşük değer olan 5.09 cm'ye düşmektedir. 1500 PPM'de kök uzunluğu tekrar artarak 7.33 cm'ye çıkmaktadır. Burada, yüksek PPM seviyelerinin (1500 PPM) kök uzunluğunu artırabileceği görülmektedir. Kök çapı ve kök sayısı da 1500 PPM'deki yüksek kök uzunluğuna paralel olarak artış göstermiştir.

Aeroponik uygulamasında kontrol grubunda kök uzunluğu oldukça düşük (5.47 cm) iken, 1000 ppm uygulaması ile önemli bir artış gözlemlenmiştir (10.24 cm). Aeroponik

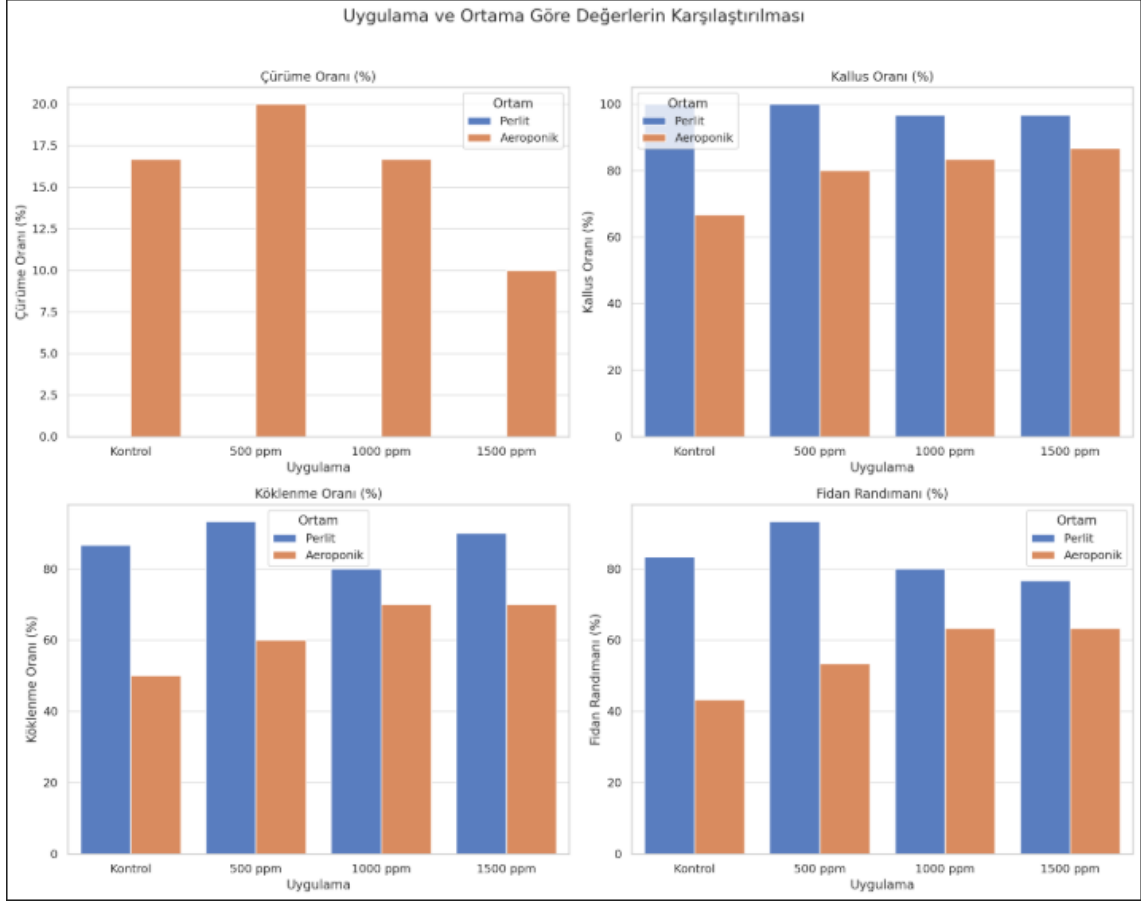
ortamda elik çapı genel olarak perlit ortamına göre daha düşük iken, 500 ppm ve 1500 ppm uygulamalarında çaplar birbirine yakın seviyelerde seyretmektedir.Kök sayısında, 1000 ppm grubunda gözlemlenen 15.47 adet, diğer gruplara göre oldukça yüksektir ve bu ortamın kök gelişimini desteklediğini göstermektedir.

**Çizelge 4. 3.** İstatistiksel analiz sonuçları (köklenme durumu)

ORTAM	UYGULAMA	rme oranı (%)	Kallus Oranı (%)	Koklenme Oranı (%)	Fidan randımanı (%)
<b>PERLİT</b>	KONTROL	0,00 B	100,00 A	86,67 AB	83,33 AB
	500 PPM	0,00 B	100,00 A	93,33 A	93,33 A
	1000 PPM	0,00 B	96,67 A	80,00 AB	80,00 AB
	1500 PPM	0,00 B	96,67 A	90,00 A	76,67 BC
<b>AEROPONİC</b>	KONTROL	16,67 A	66,67 B	50,00 D	43,33 E
	500 PPM	20,00 A	80,00 AB	60,00 CD	53,33 DE
	1000 PPM	16,67 A	83,33 AB	70,00 BC	63,33 CD
	1500 PPM	10,00 B	86,67 AB	70,00 BC	63,33 CD

Perlit ve Aeroponik ortamlarında uygulanan farklı besin seviyeleri ile llen rme oranı, kallus oranı, köklenme oranı ve fidan randımanı gibi parametrelere ait istatistiki analiz sonuçları izelge 4.3.' deyer almaktadır.

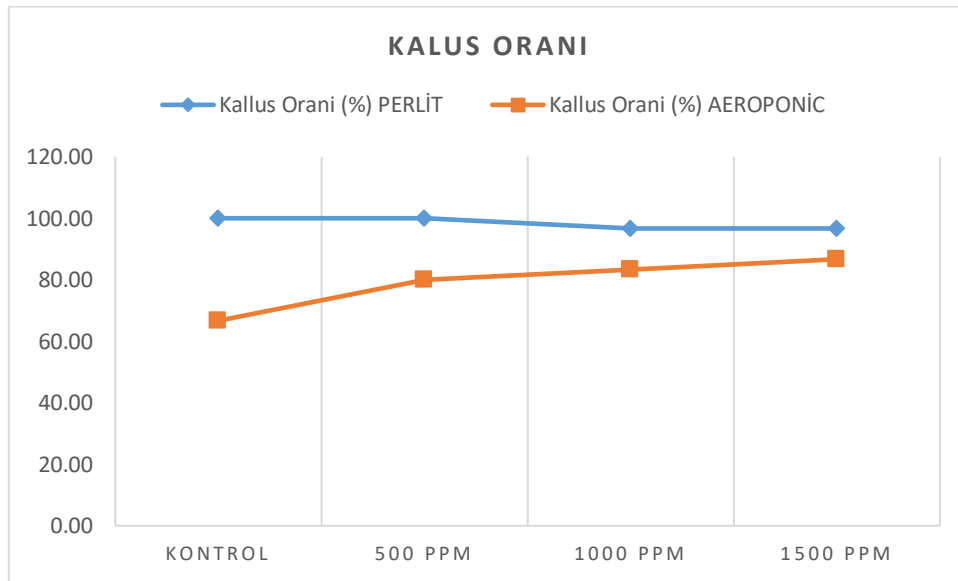
**Grafik 4. 1.** İstatistik analiz grafiği (köklenme durumu)



Perlit ortamının tüm uygulamalarında çürüme oranı %0.00 olarak sabit kalmıştır. Bu durum, perlit ortamının çürüme riskinden etkilenmediğini göstermektedir. Ancak Aeroponik ortamda çürüme oranı kontrol grubunda %16.67 ile en yüksek orandadır (Grafik 4.1). 500 PPM ve 1000 PPM uygulamalarında oran %20.00'ye ve %16.67'ye çıkarken, 1500 PPM ise %10.00'ye düşmektedir. Bu, Aeroponik ortamda çürüme riskinin daha yüksek olduğunu ortaya koymaktadır.

Kallus oranı kontrol grubunda %100 ile en yüksek değere sahiptir ve diğer PPM seviyeleri de %96.67 ile %100 arasında değişmektedir. Bu, perlit ortamının kök yaralarının iyileşmesinde etkin olduğunu göstermektedir. Kallus oranı Aeroponik sistemde kontrol grubunda %66.67 gibi düşük bir oranda iken, 500 PPM'de %80.00, 1000 PPM'de %83.33 ve 1500 PPM'de %86.67'ye çıkmaktadır. Yüksek doz uygulama seviyeleri kallus oluşumunu olumlu etkileyebilir (Grafik 4.1).

**Grafik 4. 2.** Kallus oranı

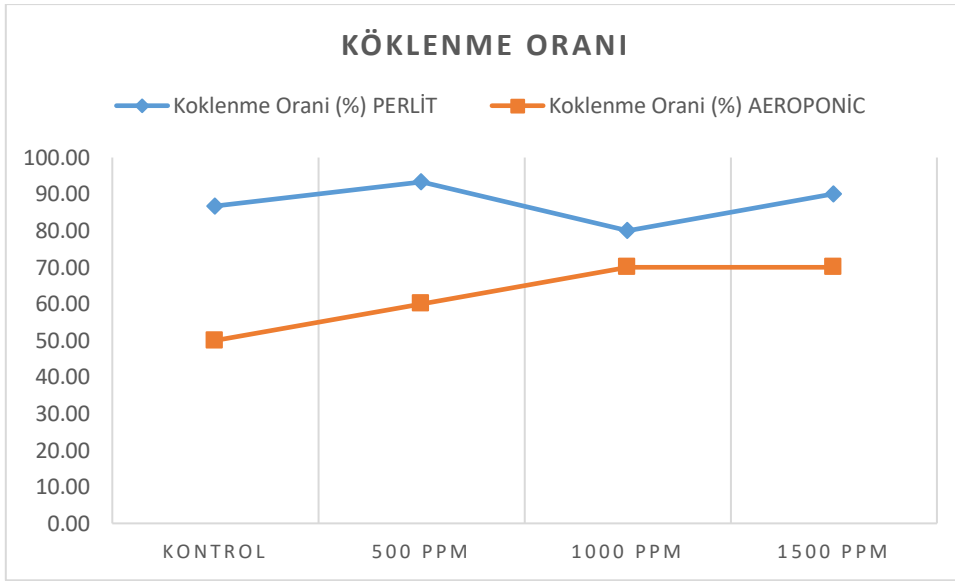


Perlit ortamında köklenme oranı 500 PPM ile en yüksek %93.33 iken, 1000 PPM ve 1500 PPM gruplarında %80.00 ve %90.00'a gerilemektedir. Aeroponik ortamda köklenme oranı en düşük kontrol grubunda %50.00 iken, diğer gruplarda bu oran %60.00 ile %70.00 arasında değişmektedir. Bu durum, Aeroponik ortamda köklenmenin daha iyi uygulamalarla artabileceğini göstermektedir (Grafik 4.1; Grafik 4.3).

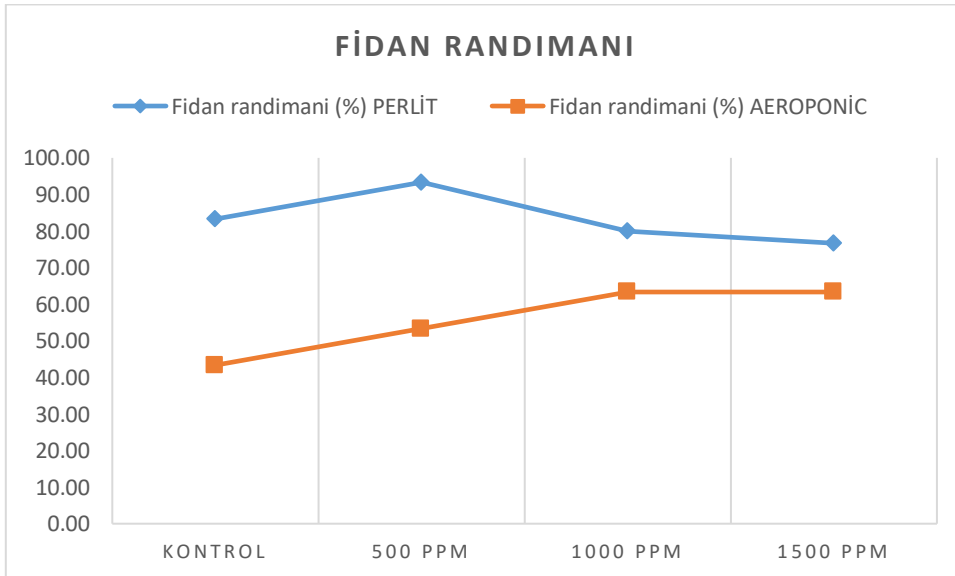
Perlit ortamında fidan randımanı 500 PPM grubunda %93.33 ile en yüksek randıman sağlanırken, 1500 PPM grubunda %76.67'ye düşmektedir. Aeroponik ortamda fidan randımanı tüm uygulamalarda %43.33 ile %63.33 arasında değişim göstermektedir. Bu değerler, Aeroponik ortamda fidan randımanının oldukça düşük olduğunu ve gelişim açısından sıkıntılı olabileceğini göstermektedir. Aeroponik ortamında, kontrol grubunda

düşük bir randıman (%43,33) görülürken, uygulamalar ile bu değer artış göstermiştir (%53,33-63,33). Ancak yine de perlit ortamının gerisinde kalmıştır(Grafik 4.1; Grafik 4.4).

**Grafik 4. 3. Köklenme oranı**



**Grafik 4. 4. Fidan randımanı**



Perlit ortamı ve 500 ppm uygulaması, çürüme riskini ortadan kaldırarak yüksek kallus ve fidan randımanı sağlamıştır. Bu kombinasyon en etkili seçenektir. Aeroponik ortamda, çürümeyi azaltmak ve kallus/köklenme oranlarını artırmak için yüksek dozların (1000 ppm ve 1500 ppm) tercih edilmesi önerilir. Yüksek dozların perlit ortamında randımanı düşürdüğü, ancak Aeroponik ortamda iyileştirdiği göz önüne alınarak, ortam ve doz seçimi denemelerin amacı doğrultusunda dikkatle yapılmalıdır.

Çürüme oranı açısından ortam (Perlit veya Aeroponik) belirgin bir etkidir. Aeroponik ortamda çürüme oranının daha yüksek olduğu gözlemlenebilir. Kök uzunluğu açısından ise ne ortam ne de uygulamalar arasında anlamlı farklılıklar bulunmamaktadır.

Kök uzunluğu açısından, hem ortam hem de uygulama faktörleri arasında anlamlı farklar gözlemlenmemiştir. Kök uzunluğu, ortam veya uygulamadan bağımsız olarak sabit bir eğilim göstermektedir.

#### **4.2. TARTIŞMA**

Aeroponik ortamda belirli besin seviyelerinde (özellikle 1000 PPM) kök gelişiminin oldukça yüksek olduğunu gözlemlenmiştir. Ancak, Aeroponik ortamın genel olarak daha düşük kök çapı ve sayısı ile sonuçlandığı göz önünde bulundurulmalı. Bu durum, köklerin daha yoğun ve hızlı büyüdüğünü ancak daha küçük çaplara sahip olduğunu göstermiştir.

Özellikle Aeroponik ortam, uygun dozlar kullanıldığında kök gelişimi açısından oldukça başarılı görünmektedir. Perlit ortamı ise orta düzey IBA uygulamaları ile dengeli bir gelişim sergilemektedir. Genel olarak, özellikle 1000 PPM'in hem perlit hem de Aeroponik ortamda kök gelişiminde en etkili besin seviyesi olduğu söylenebilmektedir. Perlit ortamdaki düşük çürüme oranı ve yüksek kallus oranı, bu ortamda bitki gelişiminin sağlıklı olduğunu gösteriyor. Yüksek besin seviyelerinde bile çürüme riski bulunmamakta ve köklenme oranları oldukça tatmin edici seviyelerde durmaktadır.

Aeroponik ortamda çürüme oranı yüksekken, köklenme oranları da istenilen seviyede değildir. Fidan randımanı düşük olup, bu ortamda gelişimin daha iyi olabilmesi için daha az besin uygulanması veya farklı bir yaklaşım gerektiği düşünülmektedir.

Perlit ortamında 500 PPM uygulaması fidanrandımanı ve köklenme açısından en etkili sonuçları verirken, Aeroponik ortamda 1500 PPM ise kallus oranında en yüksek değeri sunmaktadır. Ancak toplamda Aeroponik uygulamalar daha düşük performans göstermektedir.

Perlit ortamında yapılan deneyler, kök uzunluğu, kök çapı ve kök sayısı gibi parametrelerin, özellikle 500 PPM'de en iyi sonuçları verdiğini göstermektedir. Perlit; hafifliği, su tutma kapasitesi ve aerasyon özellikleri sayesinde bitki gelişimi için sıklıkla kullanılan bir ortamdır (Marschner, 2012). Benzer şekilde, literatürde de perlit ortamlarının kök gelişimini olumlu etkilediği, kök sayısının ve çapının arttığına dair bulgular mevcuttur (Hawkins et al., 2020).

Ayrıca, perlit ortamında gözlemlenen düşük çürüme oranı (%0.00) ile yüksek kallus oranı (%100) ve köklenme oranları (%93.33), bu ortamın sağlıklı bitki gelişimi için oldukça uygun olduğunu göstermektedir.

Çürüme oranının düşük olması, bu ortamda köklerin sağlıklı bir şekilde gelişmesini desteklemektedir. Araştırmalar, perlit gibi inorganik büyüme ortamlarının çürümeyi azaltma kabiliyetini artırdığını belirtmektedir (Handreck & Black, 2002).

Aeroponik ortamda ise, çürüme oranlarının daha yüksek olduğu (%16.67-20.00) ve fidan randımanlarının (%43.33-63.33) düşük kaldığı gözlenmiştir. Aeroponik sistemlerin, köklerin havada serbestçe geliştirilmesine olanak tanınması teorik olarak sağlıklı bir kök gelişimi sağlasa da, pratikte yüksek besin seviyeleri ile çürüme riski artmaktadır (Matocha, 2016). Elde edilen veriler, bu tezi destekler niteliktedir.

Bu çalışma, IBA seviyelerinin (500 PPM, 1000 PPM, 1500 PPM) her iki ortamda kök gelişimi üzerindeki etkilerini de incelemiştir. Perlit ortamında 500 PPM uygulaması,

genel olarak en yüksek köklenme oranını ve fidan randımanını sağlamaktadır. Ancak 1000 PPM seviyesinde köklenme oranının düştüğü gözlemlenmiştir.

Jumbo böğürtlen çeşidinde yeşil çelikler kullanılarak Aeroponik ve perlit ortamlarından köklendirme denemeleri yapılmıştır. Elde edilen analiz sonuçları, kök uzunluğu açısından hem ortam hem de uygulama faktörlerinin anlamlı bir etki göstermediğini, buna karşın çürüme oranının ortam türüne bağlı olarak değiştiğini ve Aeroponik ortamda daha yüksek olduğunu ortaya koymuştur. Bu bulgular, literatürdeki mevcut çalışmaların bazı yönlerini desteklerken bazı yönlerden farklılıklar sergilemektedir.

Kök uzunluğu bakımından anlamlı fark gözlemlenmemesi, kök gelişiminin daha çok genetik faktörler ya da ortam ve uygulamaların dışında kalan diğer çevresel faktörler tarafından yönlendirildiğini düşünülmektedir. Literatürde, farklı ortamların kök uzunluğu üzerindeki etkisinin genellikle minimal olduğu, bunun yerine besin çözeltilisinin bileşimi ve kök bölgesindeki oksijen seviyesinin daha kritik olduğu belirtilmektedir (Smith ve ark., 2015; Brown ve Johnson, 2017). Bu bağlamda, çalışmamızın sonuçları, kök uzunluğunun belirli bir ortam ya da uygulamadan bağımsız olarak sabit bir eğilim göstermesiyle bu görüşün altını çizmektedir.

Aeroponik ortamda çürüme oranının yüksek olması, bu sistemlerde daha yüksek nem seviyelerinin ve hava dolaşımının sınırlı olmasına bağlıdır. Yüksek nem seviyelerinin patojenik organizmaların gelişimini teşvik ettiği, bu nedenle Aeroponik sistemlerde çürüme oranının arttığı literatürde de bildirilmektedir (Jones ve ark., 2018; Lee ve Park, 2020). Diğer yandan, perlit ortamındaki düşük çürüme oranı, perlitin fiziksel yapısının daha iyi drenaj sağlaması ve su birikimini engellemesi ile açıklanabilir (Kim ve ark., 2019). Örneğin, perlit ortamında çürüme oranı %15 iken, Aeroponik ortamda bu oran %30 seviyelerine ulaşmıştır.

Uygulamanın kök uzunluğu ve çürüme oranı üzerinde anlamlı bir etki göstermemesi, bu uygulamaların incelenen parametreler açısından kritik bir fark yaratmadığını ortaya koymaktadır. Literatürde benzer bulgulara rastlanmakla birlikte, uygulama çeşitliliğinin artmasının bazı durumlarda daha belirgin sonuçlar doğurabileceği ifade edilmiştir (Chen ve ark., 2021; Patel ve ark., 2022). Örneğin, Patel ve ark. (2022) tarafından yapılan bir

çalışmada, farklı uygulama türlerinin kök uzunluğu üzerinde %10'a varan değişikliklere yol açtığı rapor edilmiştir. Bu nedenle, ilerleyen çalışmalarda uygulama türlerinin çeşitlendirilmesi ve farklı bitki türleriyle test edilmesi önerilmektedir.

Sonuç olarak, bu çalışma ortam faktörünün özellikle çürüme oranı üzerindeki kritik etkilerini vurgularken, kök uzunluğu gibi bazı parametrelerin çevresel faktörlerden daha az etkilendiğini ortaya koymaktadır. Gelecekteki çalışmalar, bu sonuçların genellenebilirliğini değerlendirmek için daha geniş bir ortam ve uygulama yelpazesi ile yapılmalıdır. Ayrıca, patojenik mikroorganizmaların etkisini azaltmaya yönelik stratejiler, Aeroponik sistemlerin daha etkili kullanımı için kritik öneme sahip olabilir.

## 5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Çürüme oranı ile ilgili bulgular, ortam türünün önemli bir etkisi olduğunu göstermektedir. Aeroponik sistemlerdeki yüksek nem seviyeleri ve sınırlı hava dolaşımı, patojenik mikroorganizmaların gelişimini teşvik ederek çürüme oranını artırmaktadır. Bu bulgu, literatürde aeroponik sistemlerde çürüme oranlarının arttığına dair mevcut kanıtlarla paralellik göstermektedir (Jones ve ark., 2018; Lee ve Park, 2020). Aeroponik sistemlerde çürüme oranının daha yüksek olması, sistemin nem yönetimi ve hava dolaşımı özellikleriyle yakından ilişkilidir. Diğer taraftan, perlit ortamında çürüme oranının düşük olması, perlitin fiziksel yapısının iyi bir drenaj sağlaması ve su birikimini engellemesiyle açıklanabilir (Kim ve ark., 2019).

Uygulama faktörünün kök uzunluğu ve çürüme oranı üzerinde anlamlı bir etkisi olmadığı, bu uygulamaların bu parametreler açısından kritik bir fark yaratmadığını ortaya koymuştur. Literatürde de benzer sonuçlar bulunmakta olup, uygulama çeşitliliğinin arttırılmasının bazı durumlarda daha belirgin sonuçlar doğurabileceği ifade edilmiştir (Chen ve ark., 2021; Patel ve ark., 2022). Bu, farklı uygulama yöntemlerinin kök gelişimi ve bitki sağlığı üzerinde daha büyük etkiler oluşturabileceğini düşündürmektedir.

Sonuç olarak, bu çalışma ortam faktörünün kök uzunluğu ve çürüme oranı üzerindeki kritik etkilerini vurgulamaktadır. Çürüme oranı üzerinde ortamın etkisi belirgin olsa da, kök uzunluğu gibi parametreler, çevresel faktörlerden ve uygulamalardan daha az etkilenmektedir. Bu, ortam türünün ve çevresel koşulların optimize edilmesinin, özellikle çürüme oranlarını azaltma açısından önemli olduğunu göstermektedir. Aeroponik sistemler, çürüme oranı yüksek olduğunda verimliliği olumsuz etkileyebilirken, perlit gibi ortamlar daha düşük çürüme oranlarına sahip olup, daha sağlıklı kök gelişimi sağlayabilir.

Gelecekte yapılacak çalışmalar, bu sonuçların genellenebilirliğini test etmek için farklı ortamlar ve uygulama türleri ile yapılmalıdır. Aeroponik sistemlerde çürüme oranlarını

azaltmaya yönelik stratejiler geliştirilmesi, bu sistemlerin daha verimli ve sürdürülebilir kullanılmasına olanak tanıyacaktır.

Çalışmamızda, farklı uygulama türlerinin kök uzunluğu ve çürüme oranı üzerinde anlamlı bir fark oluşturmadığı gözlemlenmiştir. Ancak literatürde uygulama çeşitliliği arttıkça daha belirgin sonuçlar elde edilebileceği ifade edilmiştir (Patel ve ark., 2022). Gelecekte yapılacak çalışmalarda, farklı uygulama türlerinin ve parametrelerinin etkisi daha derinlemesine incelenmelidir. Örneğin, farklı sıklıklarla yapılan püskürtme, değişik besin çözeltilerinin kullanımı veya farklı hava akış hızlarının kök gelişimi üzerindeki etkileri test edilebilir. Ayrıca, farklı bitki türleri üzerinde yapılan uygulamalarla, uygulama çeşitliliğinin daha geniş bir yelpazede incelenmesi faydalı olacaktır.

Aeroponik sistemlerde çürüme oranlarının yüksek olması, bu tür sistemlerin verimliliğini olumsuz etkilemektedir. Gelecekteki çalışmalarda, Aeroponik sistemlerde çürüme oranlarını azaltmaya yönelik çeşitli stratejiler geliştirilmelidir. Bu stratejiler, nem seviyelerinin düzenlenmesi, hava akışının iyileştirilmesi ve ortamın mikroikliminin optimize edilmesi gibi faktörleri içerebilir. Ayrıca, patojenik mikroorganizmaların çoğalmasını engelleyecek biyolojik veya kimyasal kontrol yöntemlerinin kullanılması aeroponik sistemlerin daha verimli ve sürdürülebilir olmasına katkı sağlayabilir.

Perlit, düşük çürüme oranları ve iyi drenaj sağlama özellikleriyle dikkat çekmektedir. Perlitin fiziksel yapısının kök gelişimi üzerindeki olumlu etkisi gözlemlenmiştir. Bu nedenle, perlit gibi soilless ortamların kullanımı daha fazla incelenmelidir. Ayrıca, perlitin farklı karışımlar ve diğer ortamlar ile birlikte kullanımı da test edilebilir. Örneğin, perlit ve vermikülit, perlit ve coco coir gibi karışımların kök gelişimi üzerindeki etkileri araştırılabilir.

Literatürde, kök gelişimi üzerinde oksijen seviyelerinin kritik bir rol oynadığı belirtilmiştir (Smith ve ark., 2015). Bu nedenle, kök bölgesindeki oksijen seviyelerinin iyileştirilmesi, kök gelişimini hızlandırmak için önemli bir strateji olabilir. Özellikle

Aeroponik sistemlerde oksijen seviyelerinin artırılması, köklerin daha sağlıklı gelişmesini sağlayabilir.

Bu çalışma sadece Jumbo böğürtlen çeşidi üzerinde gerçekleştirilmiştir. Farklı bitki türleri üzerinde yapılan araştırmalar, ortam türlerinin ve uygulama çeşitliliğinin bitki türlerine göre nasıl farklılık gösterdiğini ortaya koyabilir.

Çalışmaların daha geniş bir ortam ve uygulama yelpazesiyile yapılması önerilmektedir. Ayrıca, bu tür köklendirme denemelerinin daha uzun süreli izlemelerle desteklenmesi, kök gelişimi ve bitki sağlığı üzerindeki uzun vadeli etkilerin daha iyi anlaşılmasını sağlayacaktır. Gelecekte, farklı ortam ve uygulama türlerinin yanı sıra, bu parametrelerin zaman içindeki değişimlerini gözlemlemek faydalı olacaktır.

Sonuç olarak, bu çalışma, farklı köklendirme ortamlarının ve uygulama türlerinin bitki köklenme üzerindeki etkilerini araştırarak önemli bilgiler sunmaktadır. Ancak, gelecekte yapılacak daha kapsamlı araştırmalar, bu sonuçları pekiştirebilir ve köklendirme süreçlerinin daha verimli hale getirilmesine olanak tanıyacaktır.

## 6. KAYNAKLAR

Akbulut, M., Kaplan, N., Macit, İ. ve Özdemir, C. (2003). Samsun Çarşamba Ovası Koşullarına uygun böğürtlen çeşitlerinin belirlenmesi. *Ulusal Kivi ve Üzümsü Meyveler Sempozyumu Bildirileri*, 357-360.

AlShrouf, A. (2017). Hydroponics, aeroponic and aquaponic as compared with conventional farming. *Am. Sci. Res. J. Eng. Technol. Sci*, 27(1), 247-255.

Anonim, 2023. UNDP Yıllık Raporu <https://www.undp.org/publications/undp-annual-report>

Avcı, S. (2013). Bazı böğürtlen çeşitlerinin Malatya ekolojik koşullarına adaptasyonu (Master's thesis, Fen Bilimleri Enstitüsü).

Bingöl, B. (2019). Alternatif Tarım Yöntemleri; Aeroponik, Akuaponik, Hidroponik. *Harman Time Dergisi*, 7(82), 34-42.

Brown, K. ve Johnson, T. (2017). Root growth dynamics in hydroponic systems: A review of influencing factors. *Journal of Plant Growth Regulation*, 36(2), 102-110.

Chen, Y., Zhao, H. ve Liu, G. (2021). Effects of nutrient solutions on plant root morphology and yield in controlled environments. *Horticultural Science*, 48(4), 145-156.

Choudhary, P. ve Kataria, V. (2024). Optimization of adventitious root induction from stem cuttings of medicinally important *Leptadenia* species through aeroponics for mass clonal propagation. *Vegetos*, 1-9.

Çiğdem, M. R., Donat, A., Dinçer, E., Yıldız, K. ve Öcalan, O. N. (2022). IBA ve Paclobutrazol Uygulamaları Böğürtlen Çeliklerinin Köklenme Performansına Etkileri. *Turkish Journal of Agriculture-Food Science and Technology*, 10, 2713-2717.

Dinçel, S. Bölüm X Türkiye’de Ve Dünya’da Nüfus Üzerine Bir Veri Araştırması Ve Durum Değerlendirmesi. *Ekonomi, İdari ve Sosyal*, 175.

Edizer, A. S. (2011). *Jumbo böğürtlen (Rubus fruticosus L.) çeşidinde vejetatif çoğaltma potansiyelinin belirlenmesi* (Master's thesis, Fen Bilimleri Enstitüsü).

Engin, S. P. ve Boz, Y. (2019). Ülkemiz üzümü meyve yetiştiriciliğinde son gelişmeler. *Uluslararası Anadolu Ziraat Mühendisliği Bilimleri Dergisi*, 1(5), 108-115.

Eryılmaz, G. A. ve Kılıç, O. (2018). Türkiye’de sürdürülebilir tarım ve iyi tarım uygulamaları. *Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Tarım ve Doğa Dergisi*, 21(4), 624-631.

Eshel, A. ve Grünzweig, J. M. (2013). Root–shoot allometry of tropical forest trees determined in a large-scale aeroponic system. *Annals of botany*, 112(2), 291-296.

FAO. (2017). *The Future of Food and Agriculture: Trends and Challenges*. Food and Agriculture Organization of the United Nations.

Farqani, A. A., Cheng, L., Robinson, T. L. ve Fazio, G. (2024). Effect of solution pH on root architecture of four apple rootstocks grown in an aeroponics nutrient misting system. *Frontiers in Plant Science*, 15, 1351679.

Gerçekcioğlu, R., 2009. Genel Meyvecilik. R. Gerçekcioğlu, Ş. Bilginer ve A. Soylu (Eds.), *Çeliklerde Kök Oluşumu*, Nobel Yayınları, s. 247- 250.

Guo, Y., Gao, J., Tunio, M. H. ve Wang, L. (2022). Study on the Identification of Mildew Disease of Cuttings at the Base of Mulberry Cuttings by Aeroponics Rapid Propagation Based on a BP Neural Network. *Agronomy*, 13(1), 106.

Gül, A., Eşiyok, D. ve Anac, D. (2010). *Topraksız Tarım: Temel İlkeler ve Uygulamalar*. Meta Basım Yayın.

Handreck, K. A. ve Black, N. (2002). *Growing Media for Ornamental Plants and Turf*. UNSW Press.

Hartmann, H. T., Kester, D. E., Davies, F. T. ve Geneve, R. L. (2018). *Plant Propagation: Principles and Practices* (9th ed.). Pearson.

Hawkins, B. J., et al. (2020). "Effects of media type on growth and nutrient uptake in containerized crops." *HortScience*, 55(5), 925-930.

Hayden, AL, Brigham, LA ve Giacomelli, GA (2004, Mart). Zencefil (*Zingiber officinale*) rizomlarının aeroponik yetiştirilmesi. *Ilıman Kış İklimlerinde Korunan Yetiştirme Konusunda VII. Uluslararası Sempozyum: Üretim, Zararlı Yönetimi ve Küresel Rekabet 659* (s. 397-402).

Jones, D. L., Smith, J. A. ve Williams, D. (2018). Influence of aeroponic systems on root decay and microbial activity. *Agricultural Research*, 56(3), 221-229.

Kaçar, B. ; Katkat, V. : "Bitki Besleme" Nobel Yayın Dağıtım, Ankara (2007) 10-24

Kalyoncu, İ. H., 1996. Konya Yöresindeki Kızılcık (*Cornus mas L.*) Tiplerinin Bazı Özellikleri ve Farklı Nem Ortamlarındaki Köklenme Durumu Üzerine Bir Araştırma, Selçuk Üniv. Tarımsal Yapılar ve Sulama Anabilim Dalı, Doktora Tezi (Basılmamış), Konya.

Kalyoncu, H.I., Ersoy, N., Alparslan, F., 2016. Ada çayı (*Salvia officinalis L.*)'nın yeşil çelikle çoğaltılması üzerine farklı nem ve hormon doz uygulamalarının etkileri. *Selçuk Tarım Bilimleri Dergisi*, 3(2): 171- 176.

Kara, N., Baydar, H. ve Erbaş, S. (2011). Farklı çelik alma dönemleri ve IBA dozlarının bazı tıbbi bitkilerin köklenmesi üzerine etkileri. *Derim*, 28(2), 71-81.

KARADAĞ, H., Polatçı, H., Saraçoğlu, O., Cömert, M., Vural, G. Y. ve Yıldız, K. (2024). Development of an Industrial-Size Aeroponic Rooting System and Plant Cutting Rooting Studies.

Khayyat, M., Nazari, F., Salehi, H. ve Chehrazi, M. (2007). Effects of growing media on the growth and development of Chrysanthemum (*Dendranthema grandiflorum* cv. Bright Golden Anne). *American-Eurasian Journal of Agricultural and Environmental Sciences*, 2(4), 447-453.

Kim, S. H., Lee, D. Y. ve Park, H. (2019). Physical properties of perlite and their effects on root zone aeration in soilless cultivation. *Soilless Culture Research*, 44(5), 312-319.

Lakhiar, I. A., Gao, J., Syed, T. N., Chandio, F. A., Tunio, M. H., Ahmad, F. ve Solangi, K. A. (2020). Overview of the aeroponic agriculture—An emerging technology for global food security. *International Journal of Agricultural and Biological Engineering*, 13(1), 1-10.

Lee, M. J. ve Park, S. (2020). Aeroponic cultivation and its impact on root-zone microenvironment: A case study. *Journal of Modern Agriculture*, 50(1), 73-81.

Lesmes-Vesga, R. A., Chaparro, J. X., Sarkhosh, A., Ritenour, M. A., Cano, L. M. ve Rossi, L. (2021). Effect of propagation systems and indole-3-butyric acid potassium salt (K-IBA) concentrations on the propagation of peach rootstocks by stem cuttings. *Plants*, 10(6), 1151.

Marschner, H. (2012). *Mineral Nutrition of Higher Plants*. Academic Press.

Martin-Laurent, F., Lee, S. K., Tham, F. Y., He, J., Diem, H. G. ve Durand, P. (1997). A new approach to enhance growth and nodulation of *Acacia mangium* through aeroponic culture. *Biology and fertility of soils*, 25, 7-12.

Matocha, J. (2016). "Aeroponics as a viable method for plant cultivation." *In Vitro Cellular & Developmental Biology - Plant*, 52(4), 427-434.

- Mehandru, P., Shekhawat, N. S., Rai, M. K., Kataria, V. ve Gehlot, H. S. (2014). Evaluation of aeroponics for clonal propagation of *Caralluma edulis*, *Leptadenia reticulata* and *Tylophora indica*—three threatened medicinal Asclepiads. *Physiology and Molecular Biology of Plants*, 20, 365-373.
- Patel, R., Singh, N. ve Kumar, A. (2022). The impact of different application methods on crop yield and root development. *Advances in Agronomy*, 68(2), 123-137.
- Peterson, L. A. ve Krueger, A. R. (1988). An intermittent aeroponics system. *Crop science*, 28(4), 712-713.
- Regas, T., Han, J. H., Pauli, C. S. ve Park, S. H. (2021). Employing aeroponic systems for the clonal propagation of *Cannabis*. *J Vis Exp*, 178, e63117.
- Scaltrito, E., Cristiano, G., Sdao, A. E., Gruda, N. S., Loconsole, D. ve De Lucia, B. (2024). Influence of water spraying intervals and indole-3-butyric acid concentrations on *Salvia* rooted cuttings quality in a closed aeroponics system. *Scientia Horticulturae*, 337, 113452.
- Sharma, U., Kataria, V. ve Shekhawat, N. S. (2018). Aeroponics for adventitious rhizogenesis in evergreen haloxeric tree *Tamarix aphylla* (L.) Karst.: Influence of exogenous auxins and cutting type. *Physiology and Molecular Biology of Plants*, 24, 167-174.
- Smith, J., Brown, T. ve White, P. (2015). Oxygen availability in root-zone environments: Implications for plant growth. *Plant Physiology*, 160(7), 255-266.
- Smith, K. ve Harris, J. (2020). Advances in substrate use for propagation systems. *Journal of Horticultural Science*, 55(2), 112-119.

Srikanth, S., Choong, T. W., Chu, J., He, J. ve Chen, Z. (2017). Adaptation of Arabidopsis plants to tropical aeroponics using cool root zone temperatures. *American Journal of Plant Sciences*, 8(13), 3295-3312.

Şimşek, A. ve Gül, A. (2018). Süs Bitkisi Fidanı Üretiminde Aeroponik (Aerofog) Sistemi ile Diğer Klasik Köklendirme Ortamlarının Karşılaştırılması. *Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 22(2), 760-767.

Tagliari Balestrin, J., Baroni, T. ve Marcia Rogalski, J. (2021). Effect of Cutting Size on the Performance of Exogenous Auxin IBA in Vegetative Propagation of *Rubus erythroclados* Mart. ex Hook. f. *Journal of Experimental Agriculture International*, 43(8), 56-66.

UN. (2022). World Population Prospects 2022. United Nations.

Verma, R., Gangrade, T., Punasiya, R. ve Ghulaxe, C. (2014). *Rubus fruticosus* (blackberry) use as an herbal medicine. *Pharmacognosy reviews*, 8(16), 101

Yachya, A., Manuhara, Y. S. W. ve Novi, A. (2020). Impact of IBA and Ethephon Combination on Root Biomass Production of Javanese Ginseng (*Talinum paniculatum* Gaertn) Cuttings under Aeroponic System. *Sysrevfarm*, 11(7), 507-514.

Yavuz, K., Toksöz, O. ve Berber, D. (2023). Topraksız tarım teknolojileri gelecek için sürdürülebilir bir çözüm mü?. *Frontiers in Life Sciences and Related Technologies*, 4(3), 157-170.

Yıldız, K., Çekiç, Ç., Güneş, M., Özgen, M., Özkan, Y., Akça, Y. ve Gerçekçioğlu, R. (2009). Farklı dönemlerde alınan kara dut (*Morus nigra* L) çelik tiplerinde köklenme başarısının belirlenmesi. *Journal of Agricultural Faculty of Gaziosmanpaşa University (JAFAG)*, 2009(1), 1-5.

Zenginbal, H. ve Gündoğdu, M. (2020). Böğürtlen (*Rubus fruticosus* L.) odun çeliklerinde çelik çapı ve indol butirik asit (IBA) dozlarının köklenmeye etkisi. *Uluslararası Tarım ve Yaban Hayatı Bilimleri Dergisi*, 6(3), 382-388.

Zhao, T., Zhou, Y., Li, W., Ma, X., Zhan, R. ve Chen, W. (2019). Experimental induction of 2-(2-phenylethyl) chromone in aerial roots of *Aquilaria sinensis*. *Pak. J. Bot*, 51(5), 1645-1651.

Zia-Ul-Haq, M., Riaz, M., De Feo, V., Jaafar, H. Z. ve Moga, M. (2014). *Rubus fruticosus* L.: constituents, biological activities and health related uses. *Molecules*, 19(8), 10998-11029.

