



T.C.
KAHRAMANMARAŞ SÜTÇÜ İMAM ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**AÇIK KAYNAK DONANIM VE YAZILIM İLE
HİDROPONİK BİTKİ YETİŞTİRME ORTAMI
PROTOTİPİ VE ÇEVRE KOŞULLARI KONTROL
SİSTEMİ GELİŞTİRİLMESİ**

EMİR HÜSEYİN KAYA

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
BİYOSİSTEM MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

KAHRAMANMARAŞ 2019

T.C.
KAHRAMANMARAŞ SÜTÇÜ İMAM ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

AÇIK KAYNAK DONANIM VE YAZILIM İLE
HİDROPONİK BİTKİ YETİŞTİRME ORTAMI
PROTOTİPİ VE ÇEVRE KOŞULLARI KONTROL
SİSTEMİ GELİŞTİRİLMESİ

EMİR HÜSEYİN KAYA

Bu tez,
Biyosistem Mühendisliği Anabilim Dalında
YÜKSEK LİSANS
derecesi için hazırlanmıştır.

KAHRAMANMARAŞ 2019

Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü öğrencisi Emir Hüseyin KAYA tarafından hazırlanan “AÇIK KAYNAK DONANIM VE YAZILIM İLE HİDROPONİK BİTKİ YETİŞTİRME ORTAMI PROTOTİPİ VE ÇEVRE KOŞULLARI KONTROL SİSTEMİ GELİŞTİRİLMESİ” adlı bu tez, jürimiz tarafından 21/01/2019 tarihinde oy birliği ile Biyosistem Mühendisliği Anabilim Dalında Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

Dr. Öğr. Üyesi Ali ÇAYLI (DANIŞMAN)

Biyosistem Müh.

Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi

Prof. Dr. Adil AKYÜZ (ÜYE)

Biyosistem Müh.

Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi

Dr. Öğr. Üyesi Sedat BOYACI (ÜYE)

Biyosistem Müh.

Ahi Evran Üniversitesi

Yukarıdaki imzaların adı geçen öğretim üyelerine ait olduğunu onaylıyorum.

Prof. Dr. Mustafa YAZICI

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

TEZ BİLDİRİMİ

Tez içindeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edilerek sunulduğunu, ayrıca tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada, alıntı yapılan her türlü kaynağa eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

Emir Hüseyin KAYA



Not: Bu tezde kullanılan özgün ve başka kaynaktan yapılan bildirişlerin, çizelge, şekil ve fotoğrafların kaynak gösterilmeden kullanımı, 5846 sayılı Fikir ve Sanat Eserleri Kanunundaki hükümlere tabidir.

**AÇIK KAYNAK DONANIM VE YAZILIM İLE HİDROPONİK BİTKİ
YETİŞTİRME ORTAMI PROTOTİPİ VE ÇEVRE KOŞULLARI KONTROL
SİSTEMİ GELİŞTİRİLMESİ
(YÜKSEK LİSANS TEZİ)**

EMİR HÜSEYİN KAYA

ÖZET

Hızla artan nüfus ve kentleşme ile tarımsal arazilerinin küçülmesi, artan çevre sorunları ve kirlilik tarımsal üretim için tehdit oluşturmaktadır. Tüm bu sorunların yanında geri dönülemez noktaya gelinen küresel ısınma sonucu değişen çevresel koşullar, buna bağlı iklim değişikliği nedeniyle mevcut tarımsal üretim alanlarının gelecekte bölgesel olarak değişiklikler gösterecek olması insanların beslenme ihtiyaçlarının yeterince karşılanamamasına neden olabilir. Bu nedenle yeterli miktarda tarımsal üretimin yapılabilmesi, gıda güvenliği için önem arz etmektedir. Gelecekte ortaya çıkacak küresel ısınma, çevre kirliliği, tarım arazilerinin azalması, gıda güvenliği gibi tehditlerin tarımsal üretime etkisinin en aza indirilmesi için tam kontrollü kapalı ortamlarda üretim yapılabilir. Bu tür kapalı ortamlarda bitkisel üretim yapılması aydınlatma, sulama ve bitki besleme gibi kültürel işlemlerin yüksek derecede kontrol edilmesini ve izlenmesini gerektirmektedir. Gelişen teknoloji, iç mekânda tarımsal üretim için (Indoor Agriculture) bazı yeni imkânlar sunmaktadır. Bu çalışmada, dış ortam iklim koşullarından bağımsız olarak kapalı ortamda hidroponik kültür ile bitkisel üretim yapılabilmesine olanak sağlayacak bir prototip geliştirilmiştir. Bu prototipin geliştirilmesinde açık kaynak donanım ve yazılım araçları kullanılmıştır. Algılayıcılarla ölçülen sıcaklık, oransal nem ve ışık değerleri, geliştirilen yapay zekâ bilgisayar yazılımı ile analiz edilerek, aydınlatma, sulama, bitki besleme, ortam hava kalitesi gibi çevresel koşullar bitki istekleri doğrultusunda kontrol edilebilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Hidroponik bitki yetiştirme, Seralar, İç mekân tarım, Bitki fabrikası

Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Biyosistem Mühendisliği Anabilim Dalı, Ocak / 2019

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Ali ÇAYLI

Sayfa sayısı: 65

**DEVELOPMENT OF HYDROPONIC PLANT ENVIRONMENTAL PROTOTYPE
AND ENVIRONMENTAL CONDITION CONTROL SYSTEM WITH OPEN
SOURCE HARDWARE AND SOFTWARE
(M.Sc. THESIS)**

EMİR HÜSEYİN KAYA

ABSTRACT

Rapidly increasing population and urbanization, the contraction of agricultural lands, increasing environmental problems and pollution pose a threat to agricultural production. In addition to all these problems, the global changes in the global environment as a result of irreversible environmental conditions, the changes in the existing agricultural production areas due to climate change in the future may cause the nutritional needs of the people to be adequately met. Therefore, sufficient agricultural production is important for food safety. In order to minimize the effects of global warming, environmental pollution, and loss of agricultural land and food security on agricultural production in the future, production can be done in fully controlled closed environments. Plant production in such closed environments requires a high degree of control and monitoring of cultural processes such as lighting, irrigation and plant nutrition. Developing technology offers some new possibilities for indoor production (Indoor Agriculture). In this study, a prototype has been developed to enable the production of crops with hydroponic culture indoors, regardless of the outdoor climate conditions. Open source hardware and software tools were used in the development of this prototype. Temperature, relative humidity and light values, artificial intelligence software developed by the sensors can be analyzed and environmental conditions such as lighting, irrigation, plant feeding and ambient air quality can be controlled according to plant requirements.

Key words: Hydroponic plant cultivation, Greenhouses, Indoor agriculture, Plant factory

University of Kahramanmaraş Sütçü İmam
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Biosystems Engineering, January / 2019

Supervisor: Asist. Prof. Dr. Ali ÇAYLI

Page Numbers: 65

TEŞEKKÜR

Bu tez çalıŐması sűresince engin bilgi ve tecrűbelerinden faydalandıĐım ve çalıŐmamın her aŐamasında saĐladıĐı bilimsel katkılardan dolayı Prof. Dr. Adil AKYŪZ'e, her fırsatta bilgi ve birikimlerinden yararlandıĐım tűm bűlűm hocalarıma, tűm çalıŐmalarım sűresince deĐerli gűrűŐ ve fikirlerini benimle paylaŐan ArŐ. Gűr. Mualla KETEN'e ve bana her konuda destek olan tűm arkadaŐlarıma teŐekkűr ederim.

Son olarak, bu gűnlere gelmemde her tűrlű maddi ve manevi desteklerini gűrdűĐűm aileme sonsuz teŐekkűrlerimi sunarım.



İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa No</u>
ÖZET	i
ABSTRACT	ii
TEŞEKKÜR	iii
İÇİNDEKİLER	iv
ŞEKİLLER DİZİNİ	vi
ÇİZELGELER DİZİNİ	viii
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	ix
1. GİRİŞ	1
2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR	4
2.1. Açık (Özgür) Kaynak Yazılım ve Donanım	6
2.2. Kentsel Tarım (Indoor Agriculture)	8
2.3. Kapalı Ortamın Bitki Gelişimi, Verim ve Kalite Üzerine Etkileri	11
2.4. Bitkisel Üretimde Yapay Aydınlatma ve LED Teknolojisi Kullanımı	15
2.5. Hidroponik Bitki Yetiştiriciliği	17
2.6. Hidroponik Ortamda Bitki Besleme	19
2.7. Hidroponik Bitki Yetiştirme Kontrol Sistemleri	21
3. MATERYAL VE YÖNTEM	23
3.1. Materyal	23
3.1.1. Dış kasa ve yapısal özellikler	23
3.1.2. Açık kaynak donanımlar	24
3.1.3. Kontrol kartı	26
3.1.4. Yapay aydınlatma	27
3.1.5. Güç kaynağı	28
3.1.6. Havalandırma	28
3.1.7. Sensörler	28
3.1.8. Mikroişlemci kontrol yazılımı	31
3.1.9. Alt sistemler veri toplama ve kontrol yazılımı	32
3.1.10. Web ara yüz yazılımı	33

3.1.11. Geliştirilen sistemin genel görünümü	41
3.2. Yöntem	42
3.2.1. Çevre koşulları kontrol alt sistemi	43
3.2.2. Aydınlatma kontrolü alt sistemi	46
3.2.3. Bitki besleme kontrolü alt sistemi	48
4. BULGULAR VE TARTIŞMA	50
5. SONUÇ VE ÖNERİLER	57
KAYNAKLAR	59



ŞEKİLLER DİZİNİ

	<u>Sayfa No</u>
Şekil 2.1 Bazı yapay ışık kaynaklarının enerji tayfının karşılaştırılması.....	16
Şekil 2.2. Sabit bir EC'de değerinde sirküle edilen besin çözeltilerinin iyonik konsantrasyonundaki değişiklikler.....	21
Şekil 3.1. Prototipin teknik çizimleri (a) izometrik (b) üstten görünüş	23
Şekil 3.2. İmalat ve test aşamasına ait görüntüler	24
Şekil 3.3. Arduino mikroişlemci kartı.....	24
Şekil 3.4. Raspberry pi geliştirme kartı.....	25
Şekil 3.5. Çalışmada kullanılan kontrol donanımları.....	25
Şekil 3.6. Kontrol kartı devre şeması	26
Şekil 3.7. Tasarlanan kontrol kartı ve mikroişlemci kartı	26
Şekil 3.8. Yapay aydınlatmada kullanılan COB led	27
Şekil 3.9. Çalışmada kullanılan yapay aydınlatma sistemi ve LEDler	27
Şekil 3.10. Güç kaynağı	28
Şekil 3.11. Havalandırma için kullanılan kare fan.....	28
Şekil 3.12. Sıcaklık ölçüm sensörü (DS18B20).....	29
Şekil 3.13. Oransal nem ölçüm sensörü (SI7021).....	29
Şekil 3.14. Aydınlatma şiddeti ölçüm sensörü (BH1750).....	29
Şekil 3.15. Elektriksel iletkenlik (EC) sensörü	30
Şekil 3.16. EC sensör kalibrasyonunda kullanılan EC Meter	30
Şekil 3.17. Analog çıktı veren pH sensörü.....	31
Şekil 3.18. Sıvı seviyesi ölçüm sensörü	31
Şekil 3.19. Mikro işlemci yazılım algoritması.....	32
Şekil 3.20. Alt sistemler veri toplama yazılımı (sensoroku.py).....	33
Şekil 3.21. Alt sistemler veri toplama yazılım kodları ekran görüntüsü.....	33
Şekil 3.22. Web yazılımı oturum açma ekranı.....	34
Şekil 3.23. Ana ekran görüntüsü (a) Masaüstü bilgisayar (b) Mobil cihaz.....	35
Şekil 3.24. Yeni vejetasyon tanımlama ekran görüntüsü.....	36
Şekil 3.25. Devam eden vejetasyonlar görüntüleme ekran görüntüsü.....	37
Şekil 3.27. Bitki tanımlama ekran görüntüsü.....	37
Şekil 3.28. Raporlama ekran görüntüsü	38
Şekil 3.29. Raporlama modülünde veri analizi ekran görüntüsü	38

Şekil 3.30. İç ortam fotoğraf arşivi ekran görüntüsü	39
Şekil 3.31. Ayarlar modülü donanım durumu ve manuel kontrol ekran görüntüsü.....	40
Şekil 3.32. Manuel yapay aydınlatma kontrolü ekran görüntüsü.....	40
Şekil 3.33. Sistemin genel görünümü	41
Şekil 3.34. Bitki yetiştirme ortamı sistem modeli.....	42
Şekil 3.35. Isıtma sistemi yazılım modülü akış şeması.....	44
Şekil 4.1. Tasarlanan sistemin test sürecinden görüntüler	50
Şekil 4.2. Referans ve araştırmada kullanılan sensör regresyon grafikleri.....	52
Şekil 4.3. Araştırma dönemi iç ortam sıcaklıkları	53
Şekil 4.4. Araştırma dönemi iç ortam oransal nem.....	54
Şekil 4.5. İç ortam hava basıncı	54
Şekil 4.6. İç ortam aydınlatma şiddeti.....	55
Şekil 4.7. Bitki besin çözeltisi EC değerleri	55

ÇİZELGELER DİZİNİ

	<u>Sayfa No</u>
Çizelge 2.1. Bazı sebze yapraklarındaki elementlerin kuru ağırlıkları	13
Çizelge 3.1. I ² C kontrol yazılımı parametreleri	32
Çizelge 3.2. Sistemde tanımlanan bazı bitkiler için fotoperiyot süreleri	46
Çizelge 3.3. Stok çözeltisindeki elementler	49
Çizelge 3.4. Vejetasyon süresince besin çözeltisi EC değerleri	49
Çizelge 4.1 Sıcaklık ölçüm değerleri istatistiksel analiz sonuçları	50
Çizelge 4.2 Oransal nem sensör ölçüm değerleri istatistiksel analiz sonuçları	51
Çizelge 4.3. Aydınlatma şiddeti ölçüm değerleri istatistiksel analiz sonuçları	51
Çizelge 4.4. Referans ve diğer sensörlere ait regresyon denklemleri ve R ²	53

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

dS/m	: Desi Siemens/metre
lx	: Aydınlatma Şiddeti, Lüks
EC	: Elektriksel İletkenlik
pH	: Hidrojen Gücü (Power of Hydrogen)
PPF	: Fotosentetik Foton Akışı
LED	: Işık yayan diyot (Light Emitted Diode)
UV	: Ultraviyole
IR	: İnfrared
nm	: Nanometre
$\mu\text{mol. s}^{-1}$: Mikromol/saniye (Foton Işınımı)
W	: Watt
V	: Volt
mV	: Milivolt

1. GİRİŞ

Hızla artan nüfus ve kentleşme ile tarımsal arazilerinin küçülmesi, artan çevre sorunları ve kirlilik tarımsal üretimi için tehdit oluşturmaktadır. Tüm bu sorunların yanında geri dönülemez noktaya geline küresel ısınma sonucu değişen çevresel koşullar, buna bağlı iklim değişikliği nedeniyle mevcut tarımsal üretim alanlarının gelecekte bölgesel olarak değişiklikler gösterecek olması insanların beslenme ihtiyaçlarının yeterince karşılanamamasına neden olabilir. Bu nedenle gıda güvenliği için yeterli miktarda tarımsal üretimin yapılabilmesinin sağlanması gerekmektedir.

Küresel Isınma ve etkileri kapalı yetiştirme sistemlerini cazip hale getirmektedir (Rosenzweig ve ark., 1992). Mevcut sistemler çevre kaynaklarının aşırı tüketimine neden olmakta, iklim değişikliğine katkıda bulunmakta, çevre ve yer altı sularının kirliliğine neden olmaktadır. Aynı zamanda, ekolojik ürünlere olan talep, düşük gelirli bölgelerdeki düşük girdili tarım sistemlerine duyulan ihtiyaç ve konvansiyonel tarımın sübvansiyon edilmesindeki çekingenlik gibi sebeplerle kentsel tarım sistemi büyümektedir (Pearson, 2007).

Kentsel tarımın ticari uygulamalarında en yaygın kullanılan tarımsal üretim sistemi topraksız kültürde yetiştiricilik olarak karşımıza çıkmaktadır. Bu sistemde toprağa ihtiyaç duyulmaması, bitki gelişimini etkileyen toprak kaynaklı hastalıkların olmaması, bitki besin elementlerinin kontrollü bir şekilde sağlanması ile en uygun yetiştirme şartlarının sağlanabilmesi bir avantaj olarak görülmektedir.

Topraksız tarım, toprak kullanmaksızın herhangi bir ortam içerisinde bitki yetiştirme metodudur. Bu metot ilk kez 1930'larda Amerika'da ve 1960'ların başında da Avrupa'da uygulanmaya başlanmıştır. Topraksız tarımın ticari sera üretiminde yaygınlaşması 1970'li yıllardan sonra gerçekleşmiştir. Topraksız tarım aslında örtü altı yetiştiricilikte uygulanan, ancak son zamanlarda açıkta da kullanılmaya başlanan bir yetiştiricilik yöntemidir. Topraksız sistemde, meyveli ve yapraklı sebzeler (domates, tatlı biber, marul vb.), kesme çiçekler (gül, krizantem, vb.), çiçek açan soğanlı bitkiler (lale, zambak, vb.), çiçekli ve yapraklı saksı bitkileri (siklamen, kauçuk, vb.) gibi birçok ürün yetiştirilebilmektedir (Van Os, 1999).

Hidroponik bitki yetiştirme sistemi sayesinde arazi gereksinimi %75 ve su kullanımı ise %90 oranında azalmaktadır. Bitkisel besin maddeleri doğrudan bitki kök bölgesine verildiğinden çevreye hiçbir kalıntı bırakılmamakta ve yabancı ot sorunu olmadığından tarımsal ilaçların kullanımı da azalmaktadır (Bradley ve ark., 2001). Verim açısından değerlendirildiğinde ise topraksız yetiştirilen bitkilerin verimi ve kalitesi genellikle tarım topraklarında yetiştirilenlerden daha yüksektir (Pardossi ve ark., 2017).

Ekonomik açıdan da değerlendirildiğinde hidroponik sistemlerin daha karlı bir üretim olduğu görülmektedir. Bradley ve ark. (2001) Kolombiya'da 40 m²'lik bir alanda ticari olarak yapılan bir üretimden aylık 101 Amerikan Doları aynı zamanda marul için 64.9 kg m⁻² üretim ile yılda 40.26 dolar, salatalık için de 8.8 kg m⁻² ile 5.28 dolar gelir elde edilebileceğini bildirmiştir.

Olympios (1999) son yıllarda birçok gelişmiş ülkede (Hollanda, Japonya, ABD vb.) bu tekniğin gelişmesi sera yapısı, otomasyon ve bilgisayar gelişimine bağlı olarak hızlandığını ancak daha düşük teknolojik gelişime sahip Akdeniz ülkeleri vb. ülkelerde topraksız kültür uygulamasının hala sınırlı olduğunu bildirmiştir. Urrestarazu (2013) ise topraksız tarımda son zamanlarda bazı ilerlemeler kaydedildiğini ve diğer alanlardaki teknolojiler topraksız tarıma adapte edildiğini, bu yeni teknolojilerin:

- Yenilenebilir enerjinin kullanımı (örn. Güneş, güneş-termal, biokütle ateşlemeli kojenerasyon ve jeotermal)
- Daha verimli yapay aydınlatma ve daha düşük CO₂ emisyonları
- Termal görüntüleme kameraları kullanılarak fertigasyon ve diğer aktiviteler arasındaki kontrast farklılıkları üzerindeki çalışmalar olduğunu bildirmektedir.

Topraksız tarımda toprağa ihtiyaç duyulmamasına rağmen güneş vazgeçilmez bir kaynaktır. Ancak gelecekte ortaya çıkacak küresel ısınma, çevre kirliliği, tarım arazilerinin azalması, gıda güvenliği gibi tehditlerin etkisi topraksız tarım sisteminin çevreden tamamen bağımsız olarak yapılması fikrini ortaya çıkarmıştır.

Gelişen teknoloji ile yeni aydınlatma sistemlerinin geliştirilmesi ve özellikle LED teknolojisinde gelişmeler son yıllarda yapay aydınlatmalı çevre kontrollü bitki yetiştirme sistemlerinin yaygınlaşmaya başlamasına neden olmuştur. Bu sistemler ile tam kontrollü kapalı ortamda tarımsal üretim yapılabilmekte ve mevcut tarım sistemlerinde karşılaşılan olumsuz çevresel etkiler ve çevresel kaynaklarının aşırı tüketiminin önüne de geçilebilir.

Bu çalışmada, dış ortam iklim koşullarından bağımsız olarak kapalı ortamda hidroponik kültür ile bitkisel üretim yapılabilmesine olanak sağlayacak açık kaynak donanımlar kullanılarak bir prototip ve bu sistemi kontrol edecek kontrol ve analiz yazılımı geliştirilmiştir. Bu sistemde aydınlatma, sulama ve gübreleme ile ortam hava kalitesi bitki istekleri doğrultusunda kontrol edilmiştir. Algılayıcılarla ölçülen sıcaklık, oransal nem, ışık gibi çevresel koşullar, geliştirilen bilgisayar yazılımı ile analiz edilerek ihtiyaç duyulan iklim koşulları sağlanmıştır.

2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

Araştırmacıların birçoğu mevcut küresel tüketimin sürdürülebilir olmadığını savunmaktadırlar. Wackernagel ve ark. (1998) ekolojik ayak izi olarak isimlendirdikleri analiz çalışmalarında yerkürede tüketilen biyolojik kaynakların yenilenmesi ve sürdürülebilir kılınması için mevcut toprak varlığının ve denizlerin kapasitesinin yeterli olmadığını hesaplamışlardır.

Bu tür yeni sistemlere geçişi destekleyecek makul biyolojik ve ekonomik kanıtlar bulunmaktadır. Böyle bir değişim, toplumun refahını ve kırsalda ki sosyal sermayeyi arttırsa da daha yüksek emek girdisi ile maliyetlerin artması gibi bazı zorlukları da vardır (Pearson, 2007).

Aynı zamanda, israfı izlemek ve en aza indirmek için teknolojileri uyarlamak için fırsatlar da sunmaktadır. Yarı kapalı sistemlere geçişte;

- Rutin yaşam döngüsü analizi ve maliyetleme
- Tarım ilaçları gibi tarımsal girdilerin topluma maliyetlerinin hesaplanması
- Gıda etiketleme ve enerji ve diğer girdilerin dikkatini çeken standartlar
- Yarı kapalı sistemlere geçişi destekleyen devlet teşvikleri
- Tarımsal araştırma için önceliklerin değiştirilmesi gibi parametreler önem arz etmektedir (Pearson, 2007).

Önümüzdeki 50 yıl için öngörülen küresel gıda talebinin iki katına çıkması, hem gıda üretiminin, hem de karasal ve sucul ekosistemlerin ve topluma sundukları hizmetlerin sürdürülebilirliği için büyük zorluklar doğurmaktadır (Tilman ve ark., 2002).

Küresel nüfusun yılda 70 milyon artarak 2050 yılına kadar %30 artışla 9.2 milyar olacağı tahmin edilmektedir. Bu artan nüfus yoğunluğunun, gelişmekte olan ülkelerdeki beslenme alışkanlıklarındaki değişiklikler nedeniyle %70 oranında gıda üretimine olan talebi artırması öngörülmektedir (Popp ve ark., 2013).

Hızlı şehirleşme çağında gıda güvenliğinin sağlanması, kentsel ve gıda sistemlerinin nasıl iç içe geçtiği konusunda daha fazla araştırmalara ihtiyaç duyulmaktadır (Seto ve ark., 2016).

Toplam arazi varlığından yeni tarım arazisi üretimi sınırlıdır. Herhangi bir genişleme çoğunlukla ormanların, yaban hayatının ve tarımsal ürün zararlılarının doğal düşmanlarını içeren doğal habitatların yok edilmesi pahasına gerçekleşecektir. Ayrıca, gıda yerine biyo-yakıt veya lif gibi biyo-bazlı ürünler üretmek için daha fazla tarım alanı kullanılacaktır. Böylece, daha az su, daha az enerji, gübre ve pestisit kullanarak bugün kullandığımızdan daha fazla ürün yetiştirmemiz gerekecektir (Popp ve ark., 2013).

Kozai ve ark. (2002) havalandırmanın minimumda tutulduğu ısı yalıtımlı ve ışık geçiren depo benzeri bir yapıda sadece yapay ışık kullanarak yaptığı çalışmada kapalı sistemin avantajlarının aşağıdaki şekilde olduğunu bildirmiştir.

- Bitkiler hızlı ve düzgün büyümektedir.
- Rafli bitki yetiştirme sistemi sayesinde birim alandan daha etkin bir şekilde yararlanılmaktadır.
- Havadaki nemin havalandırma sistemi tarafından geri dönüştürülmesi nedeniyle etkin su ve karbondioksit kullanımı sağlamaktadır
- Optimize edilmiş sıcaklık, PPF, CO₂ konsantrasyonu ve yüksek ışık kullanma verimliliği sağlamaktadır.
- Özellikle soğuk bölgelerde iyi izole edilen yapısı nedeniyle hemen hemen ısıtma ihtiyacı yoktur.

Kapalı bitki yetiştirme tesisleri, tarım perspektifinden eşsiz bitki üretim sistemleridir. Ürünün tadı ve şeklini gıda pazarının talebine göre ayarlayarak yıl boyunca gıda olarak son derece homojen ürünler üretebilmektedir (Goto, 2012).

Tamamen kontrollü ortamlar altında ışığın yönlendirilmesiyle birlikte bitki yaprakları, meyve ve köklerindeki, antosiyanin ve rosmarinik asit gibi polifenoller, glukosinolat gibi organik sülfür bileşikleri ve β -karoten gibi terpenoid bileşikler ile lutein ve uçucu yağların hedeflenmiş fonksiyonel bileşenlerini artırma potansiyeline sahiptir (Goto, 2012).

1940'dan beri organik kapalı tarımsal sistemler üzerinde araştırmalar devam etmektedir. Bu sistemlerin yararlarını ve problemlerini açıklayan veriler genellikle yeterli olmaktadır. Geleneksel açık, sızdıran sistemleri koruyan girdiler (örneğin böcek ilacı), hem tarımsal sistem içindeki etkinlikleri, hem de etkileri ve çevresel ve toplum genelindeki maliyetleri açısından eşit derecede iyi araştırılmıştır (Pearson, 2007).

Yüksek bitkiler kapalı ekosistemi (KES) ile ilgili deneylerde, sistem içindeki suyun besin maddesinde kalıcı bir besin çözeltilisinin uzun süreli kullanımda, bitkilerin üç temel faktörden dolayı büyümeyi azalttığı ve verimi düşürdüğü görülmüştür. Bununla birlikte, genellikle uçucu maddelerin KES atmosferinin gaz halindeki bileşiminde birikmesinden dolayı bitki büyümesi olumsuz etkilenmiştir (Gitelson ve ark., 1997).

Kozai (2013) kapalı ortamda bitki yetiştirme sistemini sera ile karşılaştırmış ve su, karbondioksit ve ışık enerji kullanım etkinlikleri açısından kapalı ortamda kaynak kullanım etkinliğinin oldukça yüksek olduğunu bildirmiştir.

2.1. Açık (Özgür) Kaynak Yazılım ve Donanım

Açık kaynak terimi ilk olarak özgür yazılım geliştirmede kullanılmıştır (Stallman, 2002). Ücretsiz açık kaynak kodlu yazılımlar, kullanımı, kopyalanması, değiştirilmesi, yeniden dağıtılması ve yazılımın veya teknolojiye yeni değer katarak istenen şekilde farklı amaçlar için değiştirme olanağına sahip olan ücretsiz, kaynak koduna tam erişim olan yazılımlardır (Gay ve ark., 2002; Miller ve ark., 2010).

Açık kaynak felsefesi ilk olarak 1984'te Richard Stallman tarafından GNU projesi kapsamında tanıtılmış ve sonraki yıllarda da birçok yazılım açık kaynak olarak lisanslanmıştır. 1998 yılında açık kaynak yazılım yerine "özgür yazılım" terimi kullanılmaya başlanmıştır. Aynı yıl, açık kaynak alanında (publicware.org) kamu yararına hizmet vermek amacıyla Açık Kaynak Girişimi kurulmuştur (Çaylı ve ark., 2018).

Açık kaynak felsefesi, işletim sistemleri ve ürünler açısından çok sayıda yeniliğe yol açmıştır. Linus Torvalds tarafından başlatılan ücretsiz açık kaynak kodlu işletim sistemi (GNU/Linux Yazılımı), açık kaynaklı gelişmeyi desteklemede önemli bir etki oluşturmuş ve bu girişimi pek çok girişim takip etmiştir (Adenle ve ark., 2012).

Açık kaynak donanım (OSHWA, 2018) tarafından “*herkese açık olarak tasarlanan, böylece o tasarım veya donanım üzerinde çalışabilecek, değiştirebilecek, dağıtabilecek ve satabilecek*” bir donanım olarak tanımlanmaktadır.

Tarımsal biyoteknoloji (örneğin, genetik olarak değiştirilmiş (GM) ürün teknolojisi) hızla gelişmektedir ve gelişmekte olan ülkelerde sürdürülebilir tarıma katkıda bulunma potansiyeline sahiptir. Bununla birlikte, özelleştirme ve fikri mülkiyet hakları korumasının artması nedeniyle, gelişmekte olan ülkelerdeki birçok insan, tarımsal üretkenliği geliştirmek için modern biyoteknoloji araştırma araçlarına erişmeyi çok zor bulmaktadır (Adenle ve ark., 2012).

Açık kaynak, patentli teknolojilere alternatif olarak, gelişmekte olan ülkelerde bilgi ve iletişim teknolojileri alanında giderek daha popüler hale gelmektedir (Sowe, 2011).

Ücretsiz erişilebilirlik ve düşük maliyet, açık kaynaklı yazılım teknolojilerini daha fakir topluluklara cazip bir teklif haline getiren özelliklerden bazılarıdır (Hoe, 2006).

Gelişmekte olan ülkeler, kırsal alanlarda geçimlerini iyileştirmek için tarım, sağlık, çevre ve eğitim alanındaki pratik sorunları çözmek için açık kaynağın doğal faydalarından (örneğin kaynak kodunun kullanılabilirliği, yazılımı değiştirme ve özelleştirebilme, toplam sahip olma maliyeti, satıcıya erişim özgürlüğü, topluluk desteğinin kullanılabilirliği vb.) yararlanmaktadır (Adenle ve ark., 2012).

Kolditz ve ark. (2012) gözenekli ortamlarda termo-hidro-mekanik-kimyasal işlemlerin sayısal olarak simülasyonu için açık kaynaklı bir bilimsel girişim olan OpenGeoSys (OGS) projesi kapsamında, platformdan bağımsız, derleme ve otomatik kıyaslama gibi profesyonel yazılım mühendisliği araçlarıyla donatılmış, topluluğa açık bir yazılım geliştirmişlerdir.

Yazılım geliştirmede açık kaynak uygulaması, tarımsal biyoteknolojide de açık kaynak uygulama kavramına yol açmıştır (Gay ve ark., 2002).

2.2. Kentsel Tarım (Indoor Agriculture)

Sanayi devrimiyle birlikte kırdan kente göçle gelişen kentleşme olgusu yoğun nüfus hareketlerine neden olmuştur. Bu süreç öncelikle bugünün gelişmiş ülkelerde yaşanmış, gelişmekte olan ve az gelişmiş ülke kentlerinde ise hızla yaşanmaya devam etmektedir. Göçlerle birlikte hızla büyüyen kentler, artan nüfusun mekânsal gereksinimlerini karşılama sorunuyla karşı karşıya kalmaktadır. Bu mekânsal gereksinimler kent içi boşluklardan başlamak üzere, kentin yapılı yakın çevresi ve sonrasında doğal kaynakları içinde barındıran kırsal alanlarda üretilmeye başlanmıştır. Doğal alanları içinde barındıran kırsal alanların imara açılma sürecine neden olan bu durum özellikle gelişmekte olan ülkelerde daha hızlı ve kontrolsüz bir şekilde yaşanmaktadır. Bu süreç; kırsal alanların tüketilmesine, kentlerin kendini besleyen üretim alanlarını da yok etmesine neden olmaktadır. Üretim alanlarının kentsel alana dönüştürülerek tüketilmesi, kentsel alan ihtiyacı sorununu çözerken, üretim alanlarını tüketerek gıda temini ve güvenliği sorununu yaratmaktadır. Bugün sürdürülebilir kalkınma anlayışı içerisinde; doğal kaynaklardan toprağın ve tarımın korunması, geliştirilmesi, sağlıklı ve sürdürülebilir toplumlar için gıda güvenliğinin sağlanması dünya gündeminin önemli konuları arasında yer almaktadır. Sürdürülebilir kalkınma için doğal kaynaklar ile kentsel kullanımlar arasındaki dengenin sağlanması büyük önem taşımaktadır. Gıda temini ve gıda güvenliği önemli bir küresel sorun olarak görülmekte, konuyla ilgili tartışmalar süregelmektedir. Literatür, kentlerin düzenli ve sağlıklı beslenmesi sorununu önemli bir küresel bir problem olarak görerek, tartışmakta ve konunun çözümünde önemli aktörlerden biri olarak yerel yönetimleri işaret etmektedir (Yenigül, 2016).

Sanayi devriminden sonra kentlerde oluşan iş gücünü karşılamak için kırsaldan göç başlamıştır. Bu durum öncelikle gelişmiş ülkelerde yaşanmıştır. Gelişmekte ve az gelişmiş ülkelerde kırsaldan kente göç devam etmektedir. Göçler sonucunda kentlerde oluşan mekânsal ihtiyaçları karşılamak için kent merkezlerinden başlamak üzere kentin etrafında imar çalışmaları yapılmıştır. Bu süreç gelişmekte olan ülkelerde kontrolsüz bir şekilde ilerlemektedir. Bu durumun doğal sonucu olarak tarımsal faaliyet yapılan araziler ve doğal kaynaklar azalmıştır. Kentlerde oluşan gıda ihtiyaçlarını karşılayamama gibi sorunlar ile karşılaşmıştır. Bugün sürdürülebilir tarım, gıda güvenliği, doğal kaynakların korunması gibi bu tarz problemlerin çözümü için araştırmalar yapılmaktadır (Yenigül, 2016).

Gheorghe ve ark. (2016) dünya nüfusu 8 milyara yaklaşmaktadır. Büyük çoğunluğu da kentlerde yaşamaktadır. Bunun yanında tarımsal araziler hızla azalmaktadır. Bu durum iki farklı probleme yol açmıştır. Bunlardan birisi kentlerde yaşayan insanların gıda ihtiyaçlarını karşılamakta zorluk yaşanması, diğeri ise kentlerde hızla azalan yeşil alanlarla birlikte azalan oksijen oranıdır. Bu durumun önüne geçmek için binaların çatılarında yeşil alanlar oluşturma fikri ortaya atılmış ve birçok kentli tarafından desteklenmiştir.

Gheorghe ve ark. (2016) ortaya atılan yeşil şehir kavramı ise çatı ve balkonlarda bitkinin yetiştirilmesi olarak adlandırılır. Yeşil çatıların binaların ısıtma ve klima maliyetlerini yaklaşık %26 oranında azaltmaktadır. Bu bitkilerin kentlerde oluşan kirli havanın temizlenmesinde önemli bir paya sahiptir.

Despommier (2013) 1930'larda Dr. William Gericke ve Davis, California Üniversitesi'nde toprak olmadan bitki yetiştirme yöntemi geliştirmişlerdir. Bu sistemde toprak kullanmak yerine bitki köklerine tüm gerekli besinleri içeren bir sulu çözelti ile bitki besin elementlerini vermişlerdir. Son yıllarda bu alanda dünya çapında sayısız çalışma ve yüksek teknoloji ürünü sera sistemleri tasarlanmakta ve yapılmaktadır. Bütün bu sistem kontrollü çevre tarımı (KÇT) olarak adlandırılmaktadır.

Despommier (2013) son yıllarda spektruma özgü, yüksek verimli ışık yayan diyot (LED) gelişmesiyle birlikte bitkinin güneş ışığı ihtiyacı LED'ler sayesinde sağlanmaktadır. Bilgisayar destekli kontrol sistemleri sayesinde hassas miktarda bitki besin elementlerinin bitkiye iletilmesi ve izlenmesi aynı zamanda pH, sıcaklık, nem ve oksijen gibi parametrelerin kontrolünü de yapabilmektedir. Bu sistemler şehir merkezlerinin yakınlarına kurularak geniş bir pazar yelpazesine de sahip olmaktadır.

Kontrollü tarım, geleneksel toprak tabanlı tarıma göre birçok avantaj sunmaktadır. Bunlardan en önemlisi, herhangi bir ürünün büyümesini ve olgunlaşmasını sağlamak için gerekli koşulların tamamen kontrol edilmesi ve böylece büyüyen bitkinin metrekare başına maksimum verimi sağlayabilmesidir. Hidroponik olarak yetiştirilen yapraklı yeşil bitkiler (marul, ıspanak, lahanası ve fesleğen) gibi sebzeler yılda sekiz kez hasat edilmektedir. Çilek ve benzeri ürünler için ise verim 30 kat daha fazladır. (Despommier, 2013).

Tarla üretiminde tarımsal ürünler çok çeşitli mikroplar (virüs ve bakteriler) ve bitki zararlıları (örneğin çekirgeler) tarafından çeşitli saldırılara maruz kalırlar ve bu durumda yıllık hasat miktarında önemli ölçüde azalma meydana gelir. İyi tasarlanmış bir sistemde bu tarz problemlerin önüne geçilebilir. Bu durumda zehirli böcek ilacına ihtiyaç yoktur dolayısıyla bitkilerde kimyasal ilaç kalıntısı bulunmaz (Despommier, 2013).

Savinko (2015) tamamen kapalı bir binada farklı katlarda farklı bitkilerin üretilmesine imkân sağlar. Bu sistemlerde aeroponik (akan su kültürü) ve hidroponik(durgun su kültürü) sistemlerde bitkiler yetiştirilir. Bitkinin gelişimi etkileyen faktörler kontrol edildiği için çevresel insan hatalarından kaynaklanan verim kayıpları oluşmaz. Dikey tarım farklı amaçlar için kullanılabilir. Hobi, ticari ve eğitim gibi faaliyetlerde bu tarz sistemlerde faydalanılabilir. Bu sistemlerin en büyük avantajı ise dışarıya atık oluşturmamasıdır. Günümüz sebze ve meyve piyasasında fiyatlar konusunda fahiş fiyat artışları sıkça görülmektedir. Yıl boyu üretim ile fiyat dalgalanmalarının önüne geçilebilir.

Kentsel Tarım (KT) ve peri-kentsel tarım, bitki yetiştirme yoluyla gıda ve diğer ürünlerin yetiştirilmesi, işlenmesi ve dağıtılması ve yerel popülasyonları beslemek için şehirlerde ve çevresinde nadiren hayvan yetiştirme olarak tanımlanabilir (Game ve ark., 2015).

Son birkaç yıl içinde KT, iklim değişikliği ve kentsel alanlarda gıda güvenliğinin sürdürülmesinden duyulan endişeler nedeniyle popülaritesini artırmıştır (Hardman ve ark., 2014; Martellozzo ve ark., 2014).

Kuzey Amerika'da 20 yıldan fazla bir süredir benimsenen bu konsept, Avrupa'da sadece akademisyenler, uygulayıcılar ve politika yapıcıların dikkatini çekebilmiştir (Hardman ve ark., 2014).

Nüfus yoğunluğunun en yüksek olduğu yerlerde gıda üretilmesi, ulaşım maliyetlerinin azaltılması, insanları doğrudan gıda sistemlerine bağlanması ve kentsel alanların verimli bir şekilde kullanılması gibi nedenlerle KT bir çözüm olarak önerilmiştir (Martellozzo ve ark., 2014).

Badami ve ark. (2015) KT'nin bu koşullarda yüksek gelirli ülkelerde uygulanabilir olduğunu, ancak en iyimser senaryo dışında, düşük gelirli ülkelerde, potansiyelinin düşük olabileceğini, bunun en yararlı olabileceği sonucuna varmışlardır. Ayrıca KT'nin düşük gelirli ülkelerde sadece kentsel gıda güvenliğinin sağlanmasında sınırlı katkı sağlayabileceği rapor etmişlerdir.

Tarım, çoğu zaman gelecekteki iklim değişikliğine karşı en savunmasız sektörlerden biri olarak tanımlanmaktadır ve bunun zaafiyet, niceliksel endeksler aracılığıyla yaygın olarak değerlendirilmektedir (Neset ve ark., 2018).

Aynı zamanda iklim değişikliğinin sonucu olarak artan sıcaklık ve yağış rejimindeki değişiklikler optimum çevresel koşulları da olumsuz etkilemektedir (Agovino ve ark., 2018; Karimi ve ark., 2018; Maia ve ark., 2018; Wagena ve ark., 2018).

Tarım iklim değişikliğini teşvik eden antropojenik sera gazı emisyonlarına yaklaşık %30 oranında katkı sağlamasına rağmen (Smith ve ark., 2013), KT sıcaklık artışı ve sera gazı emisyonlarının düşürülmesine yardımcı olabilir (Rosenzweig ve ark., 2006).

KT kontrollü çevre tarımı (Ting ve ark., 2016) ve kontrolsüz çevre tarımı veya açık arazi tarımı (Nelson ve ark., 2009) olarak iki kategoride incelenebilir.

Kontrollü çevre yapıları, bahçe bitkileri üretmek ya da bitki araştırma programları için optimum büyüme koşullarının elde edilmesini amaçlayan doğal veya yapay ışığı kullanırlar. Aynı zamanda daha büyük öngörülebilirlik sağlamanın yanında, üretim maliyetini düşürerek, ürün verimlerini arttırmaları (Shamshiri ve ark., 2018).

Kentsel tarımın, şehirlerde döngüsel ekonomi stratejilerinin uygulanmasında, enerji ve kitle döngülerinin kapatılmasında ve doğal çevrelerin ve ekosistemlerin çevreye duyarlı hale getirilmesinde önemli rol oynaması nedeniyle daha sürdürülebilir ve dirençli kentsel topluluklara katkıda bulunma potansiyeli olduğu görülmektedir (Ferreira ve ark., 2018).

2.3. Kapalı Ortamın Bitki Gelişimi, Verim ve Kalite Üzerine Etkileri

Bitkinin gelişimini etkileyen temel iklim faktörleri; sıcaklık, toplam güneş radyasyonu, yağış ve rüzgâr yoğunluğu gibi parametrelerdir.

Bir sistem seçildiğinde ve bitki türleri veya büyüme aşaması için uygun bir besin çözeltisi kullanıldığında, en yüksek verimi ve kaliteyi elde etmek için çözüm uygun şekilde yönetilmelidir. Başka bir deyişle, besin çözümünün yönetiminin doğru bir şekilde anlaşılması, kontrollü bir ortamda bile başarılı bir bitki yetiştirmenin anahtarıdır. Bir sistemde bitki türleri için besin çözeltisi hazırlanırken en yüksek verim ve kaliteyi edecek besin çözeltileri hazırlanmalıdır. Diğer bir ifadeyle kontrollü bir ortamda başarılı bir şekilde bitki yetiştirmek için besin çözeltisi doğru hazırlanmalıdır (Tsukagoshi ve ark., 2016b).

Doğada bilinen 92 doğal elementten yaklaşık 60 tanesi bitkilerde bulunmaktadır. (Tsukagoshi ve ark., 2016b) yaptığı çalışmasında (Arnon ve Stout, 1939)'dan bildirdiğine göre bu elementlerin çoğu bitkiler için gerekli değildir. Temel bir unsur olan bu elementler aşağıdaki özelliklere sahiptir:

- Belirli elementler yoksa bitki semptomlar gösterir ve yaşam döngüsünü tamamlayamaz
- Bitkilerde belirli elementlerin yokluğuna bağlı olarak çeşitli semptomlar görülür
- Semptomlar sadece eksikliği olan elementler eklendiğinde giderilebilir
- Elementler doğrudan bitkinin beslemesinde veya bitki metabolizmasında yer alırlar.

Bitki beslenmesi üzerinde yapılan son araştırmalar, 17 elementin bitkiler için daha fazla gerekli olduğunu göstermiştir (Epstein, 1994).

Bu elementler, bitkilerin ihtiyaçları doğrultusunda iki ana sınıfa ayrılır. Büyük miktarlarda gerekli olan elementlere makro besinler (ana elementler), küçük miktarlarda gerekli olan elementlere mikro besinler (küçük elementler) olarak adlandırılır. Makro besinler dokuz elementi içerir: karbon (C), oksijen (O), hidrojen (H), azot (N), fosfor (P), potasyum (K), kalsiyum (Ca), magnezyum (Mg) ve sülfür (S) . Mikro besinler ise sekiz elementi içerir: Bor (B), demir (Fe), mangan (Mn), çinko (Zn), bakır (Cu), molibden (Mo), klor (Cl) ve nikel (Ni) (Tsukagoshi ve ark., 2016a).

Taze sebzeler de, yaklaşık olarak % 90 su, kuru madde yüzdesi ise ilk taze ağırlığının, yaklaşık % 10'dur. Kuru madde, % 40-45 karbon (C), % 40-45 oksijen (O) ve yaklaşık % 6 hidrojen (H) içerir (Inden, 2006).

Makro elementlerden karbon, oksijen ve hidrojen bitkilere; karbondioksit ve su aracılığıyla temin ederler. Bitki besin elementleri solüsyonları hazırlanırken karbon, oksijen ve hidrojenin parametrelerini dikkate almak gerekli değildir. Bu üç element hariç, sadece altı element (N, P, K, Ca, Mg, S) makro besinler olarak sınıflandırılmıştır. Sebzeler tarafından emilen makro besin miktarı $K > N > Ca > P > Mg$ sırasında olma eğilimindedirler (Maruo, 2013).

Çizelge 2.1’de bazı sebze yapraklarındaki elementlerin kuru ağırlık oranları (%KA) verilmiştir (Date, 2012).

Çizelge 2.1. Bazı sebze yapraklarındaki elementlerin kuru ağırlıkları

Sebze	N	P	K	Ca	Mg
Salatalık	4.62	0.77	3.16	3.86	0.78
Domates	5.15	0.54	3.78	2.92	0.76
Tatlı biber	5.91	0.51	7.02	1.80	0.82
Kereviz	5.74	1.44	7.00	2.06	1.42
Marul	5.36	0.72	7.64	0.79	0.35
Ispanak	5.79	0.67	8.38	0.72	1.43

Bitki besin solüsyonun hazırlanmasında birçok formül vardır. Bu formüllerin temelinde Elektriksel iletkenlik (EC) veya çözeltideki iyonları kontrol etmek üzere tasarlanmıştır. Bu şartlar altında bitkilere verilen besin miktarı, sulama sistemindeki çözeltinin hacmi ile alakalıdır. Örneğin NO_3^- , $H_2PO_4^-$, ve K^+ bitkiler tarafından hızla emilir ve bu tür iyonların fazlasıyla emilmesine yol açar. Bununla birlikte emilim belirli bir miktarı aştığında ürünün veriminde ve kalitesinde artış olmaz. Dahası sebzelerin vejetatif dönemini olumsuz yönde etkiler. Bitkilerde dengesiz büyüme ve meyve oluşumunu olumsuz yönde etkiler. Bu tarz olumsuz etkilerin önüne geçmek için Kantitatif yöntem konsepti uygulanmalıdır (Terabayashi ve ark., 2004; Date, 2012).

Seralar, diğer tüm tarım sektörlerine kıyasla en yüksek enerji talebine sahiptir. Ancak bitkilerin fotosentez için ihtiyaç duyduğu çevre koşullarının kontrol edilmesi ile her mevsim yüksek kalitede üretim yapılması açısından avantajlıdır. Günümüzde seralar birçok farklı tasarım ve yapı malzemeleri kullanılarak inşa edilmektedir. Geleneksel olarak bu seralarda ısıtma, havalandırma, gölgeleme ve serinletme gibi iklim parametrelerinin kontrol edilmesine olanak sağlayan sistemler kullanılmaktadır. Geleneksel tasarımlardan farklı olarak tamamen kapalı sera konsepti ise uzun yıllardan beridir araştırma konusu olmuş ancak yaygın uygulama alanı bulamamıştır (Baytorun, 2016).

Kapalı sera sürdürülebilir enerji yönetiminde yenilikçi bir kavramdır. Prensipte olarak, mevsimsel depolama yoluyla güneş enerjisinin kullanımını maksimize etmek için tasarlanmıştır. Tamamen kapalı bir serada, havalandırma penceresi yoktur. Bu nedenle ısı, aşırı duyarlı ve gizli ısı çıkarılmalı ve mevsimsel ve/veya günlük termal depolama teknolojisi kullanılarak saklanabilir. Bu depolanan fazla ısı, daha sonra seranın termal yükünü karşılamak için kullanılabilir (Vadiee ve ark., 2013). Bununla birlikte, günlük çevresel koşullarda değişikliklere neden olan mikro meteorolojik parametrelerin doğru bir şekilde izlenmesi de önemlidir (Boulard ve ark., 2017).

Yapılan bazı çalışmalar tamamen kapalı serada enerji kullanımında %20-30, verimde %20, kimyasal bitki koruma ilaçlarında %80, sulama suyu ihtiyacında ise %50 oranında tasarruf edilebileceği göstermektedir (Opdam ve ark., 2004). Bir başka çalışmada ise kurak bölgeler için güneş enerjisi ile çalışan tuzlu suyun arıtılması ve bitkisel üretim için entegre edilmiş bir sistem tasarlanmış ve uygulanmıştır (Baytorun ve ark., 1989).

Tamamen kapalı bir ortamda bitkisel üretim için fosil yakıttan tasarruf edilmesi mümkün olabilir. Gün içinde ortaya çıkan enerjinin depolanması ve iklim parametrelerinin kontrol edilmesi amacıyla kullanılmasına rağmen yaygın bir üretim sistemi olmamıştır. Ancak küresel iklim değişikliğinin bölgesel etkileri, hâlihazırda seracılık yapılan bölgelerde yüksek sıcaklık ve kuraklık sebebiyle bazı sorunlara neden olabilir. Bu açıdan bakıldığında kapalı seralar gelecekte tekrar popüler olabilir (Heuvelink ve ark., 2008).

2.4. Bitkisel Üretimde Yapay Aydınlatma ve LED Teknolojisi Kullanımı

Işık, parçacık (foton, kuantum) karakterli elektromanyetik dalga şeklinde bir enerjidir. Bir kaynaktan çıkan ışığı oluşturan elektromanyetik dalgalar, sinüzoidal hareketle ve sabit hızda yayılım göstermektedir. Yayılım hızının, sinüzoidal hareketin frekansına oranı dalga boyu olarak adlandırılmaktadır. Dalga boyuna göre yapılan sınıflandırmada, 380-780 nm aralığındaki bölüm, insan gözü tarafından algılanabildiği için görünür ışık bölgesi olarak nitelendirilmiştir (Gabriel ve ark., 2004).

Light Emitting Diode şeklinde isimlendirilen, kısaltılması LED olan bir terimdir. Türkçe karşılığı ise “Işık Yayan Diyot” şeklinde çevrilebilir ancak LED terimi yoğun bir biçimde kullanılmaktadır (Koç ve ark., 2009).

LED ışık kaynaklarının morötesinden (UV) kızılötesine (IR) kadar uzanan ve görünür ışık bölgesini de kapsayan geniş bir aralıkta üretimi söz konusu olabilmektedir. Bu durum araştırmacılar için oldukça iyi olanaklar sunmaktadır. Özellikle son yıllarda büyük bir artış gösteren araştırma çalışmaları, görünür ve morötesi LED tabanlı imaj elde etme çalışmalarından, LED ışığıyla gerçekleştirilen büyüme düzenleyicilere kadar değişim göstermektedir (Jao ve ark., 2003).

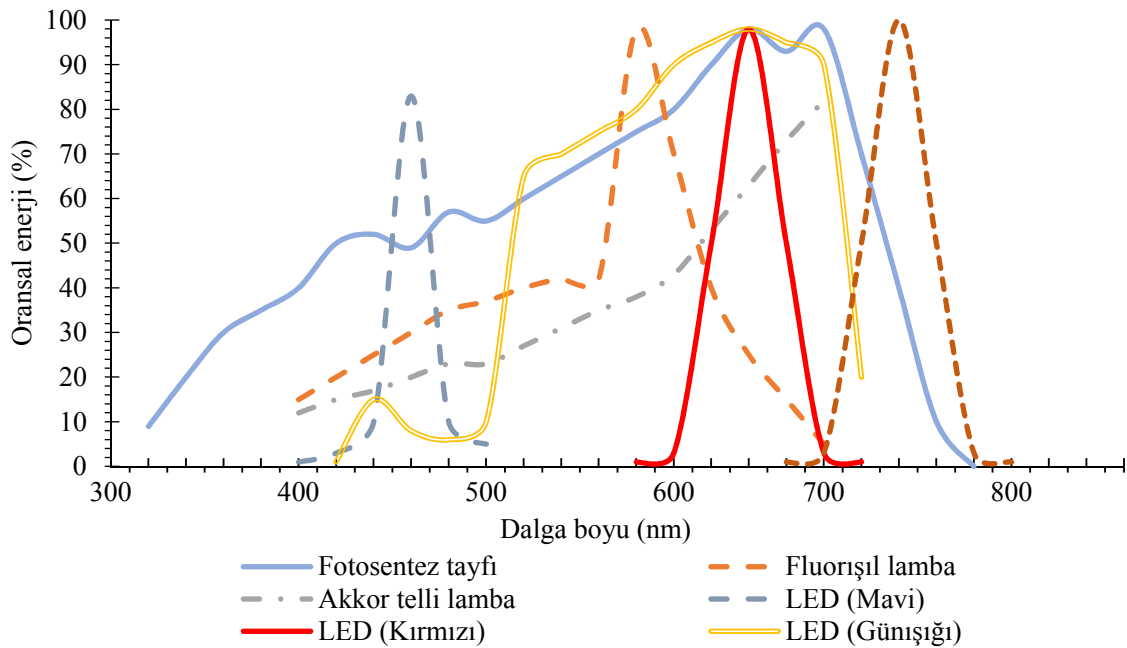
Bitki-ışık ilişkisinin ortaya konulmasında temel olarak üç olay öne çıkmaktadır. Bunlar fotosentez, fotomorfogenesis ve fotoperiyodizm şeklindedir. Fotosentez su, CO₂ ve ışık bileşenlerine dayalı olarak karbonhidrat ve oksijenin üretildiği bir süreçtir. Fotosentezde klorofil esas olarak mavi ve kırmızı ışığı absorbe etmekte, yeşil ışığın büyük bölümünü geçirmekte ya da yansıtılmaktadır. Bu yönüyle değerlendirildiği zaman enerjinin kullanılabilirliği açısından en yararlı ışınlar kırmızı ışınlar olmaktadır. Ancak şunu da belirtmek gerekir ki, kısa dalga boyundaki ışığın parçacıklarının taşıdığı enerji, uzun dalga boyundaki ışığın parçacıklarının taşıdığı enerjiye oranla daha fazladır (Koç ve ark., 2009).

Fotomorfogenesis kavramı ışığın biçim üzerindeki etkisini tanımlamaktadır. Bu yönüyle ışık, bitkinin tüm gelişim evrelerini kontrol etmektedir. Bunlar arasında tohumun çimlenmesi, gövde ve yaprakların oluşumu ve klorofil oluşumu sayılabilmektedir (Koç ve ark., 2009).

Fotoperiyodizm ise bitkilerin ışıklanma süresi karşısında gösterdikleri tepkiyi ifade etmektedir. Hemen tüm bitkilerde günlük veya mevsimlik ışıklanma süresine bağlı olarak çeşitli biyolojik tepkiler oluşmaktadır. Bunlar arasında tomurcuklanma, çiçeklenme, yaprak ve meyve oluşumu, sararma, yaprak dökme vb. sayılabilmektedir (Orhanoglu ve ark., 2011).

Bitkisel üretimde LED tipi aydınlatma araçlarının kullanımından önce çeşitli yapay aydınlatma araçları kullanılmıştır. Bunların bir kısmı yüksek yoğunluklu boşalmalı ya da flüor ışıl lamba tipinde olabilirken, bir kısmı da akkor telli lambalara destek olarak kullanılan ve geniş bantta (mavi, kırmızı ve uzak kırmızı) enerji sağlayan lambalardır (McFate, 1989).

Bitkilerin fotosentez karakteristiği yapay aydınlatma kaynaklarının kullanımı konusunda çok önemli ipuçları vermektedir. Bu karakteristikten yararlanarak hangi dalga boyu aralığında ne tür bir ışık kaynağının kullanılması gerektiği anlaşılabilir. Şekil 2.1’de verilen grafikte fotosentez karakteristik eğrisiyle beraber altı farklı yapay ışık kaynağına ait eğriler görülmektedir. Bunlardan soğuk beyaz renkli flüor ışıl lamba ile akkor telli lambaya ait olanların yanı sıra mavi, kırmızı, günışığı ve uzak kırmızı renkli LED’lerin eğrileri de gösterilmiştir (McFate, 1989).



Şekil 2.1 Bazı yapay ışık kaynaklarının enerji tayfinin karşılaştırılması

Şekil 2.1'teki eğrilerin incelendiğinde, mavi, kırmızı ve uzak kırmızı ışık veren LED'lerin fotosentez karakteristiğinin ilgili dalga boylarındaki enerjiyi karşılamak için uygun olduğunu göstermektedir. Gerçekten de klorofil sentezi 445 ve 650 nm dalga boylarında maksimum noktalar göstermekte, 500-575 nm'lik dalga boyu aralığında ise azalarak % 20 ve daha altındaki oranlara düşmektedir (McFate, 1989).

Diğer yandan günışığına destek olmak ya da bitki kabini gibi kapalı ortamlar için kullanılması mümkün olan günışığı tayfına sahip LED'in, fotosentez karakteristiğiyle uyumlu bir karakteristiğe sahip olduğu görülmektedir (Koç ve ark., 2009).

LED tipi aydınlatma sistemlerinin tasarımında bitkilerin PAR gereksinimi önemli bir parametredir. Bitki çeşidi, miktarı, yetiştirme evresi ve ortamın özelliklerine göre belirlenecek LED ışık kaynakları genellikle mavi renk için $10 \mu\text{mol. s}^{-1}$ (14 W lamba gücünde), kırmızı renk için $10 \mu\text{mol. s}^{-1}$ (10 W lamba gücünde) ve uzak kırmızı için ise $6 \mu\text{mol. s}^{-1}$ (10 W lamba gücünde) foton akısı sağlayabilmektedir. Örneğin 1 m^2 için $30 \mu\text{mol. s}^{-1}$ kırmızı ve $20 \mu\text{mol. s}^{-1}$ mavi ışık gereksinimi olduğunda, 3 adet kırmızı ve 2 adet mavi ışık veren LED lamba kullanılmalıdır. Bu sistemin güç gereksinimi $3*10+2*14=58$ W düzeyinde olmaktadır (Koç ve ark., 2009).

Marulda genellikle $12-13 \text{ mol m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ veya daha yüksek ışık şiddetine ihtiyaç duyar. Marul yetiştiricileri yılda 18'den fazla büyüme döngüsü tamamlarken. Yapay aydınlatma kullanımında $50-100 \text{ mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ kışın 24 saatlik sürede 16 saat boyunca yapay aydınlatma kullanınca doğal ışıkla kıyasla 1.4 ile 2.7 kat arttırdığı ve üretim döngüsünde süreyi %25 azaltmışlardır. Uygulamada genellikle $50-100 \text{ mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ek ışık seviyeleri kullanılmıştır (Dorais, 2003).

2.5. Hidroponik Bitki Yetiştiriciliği

Dünya nüfusunun 21 yy. ikinci çeyreğinde 9 milyara ulaşılacağı öngörülmektedir. Artan dünya nüfusu, iklim değişikliği, tarımsal arazilerin azalması ve tarımda kullanılabilir su kaynakları gibi değerlerin azalması ile tarımsal üretim üzerinde önemli problemler oluşturmaktadır. Bu nedenle 20 yy. sonlarında yeni tarımsal üretim teknikleri geliştirilmiştir. Bu tekniklerden biriside hidroponik sistemlerdir (Şimşek ve ark., 2018).

Hidroponik sistem; bitkilerin durgun su kültüründe yetiştirilmesidir. 1937'de geliştirilen bir sistemdir. Bitki besin elementi yönünden zenginleştirilmiş suyun plastik boruların içinde gezdirilmesiyle ve bitki köklerinin suya temas etmesiyle gelişimi için gerekli besin elementlerini almasını sağlayan bir sistemdir. Endüstriyel bir sistemin tasarımı yapılmadan önce, sistemin kontrolünü gerçekleştirecek farklı çalışma şartları altında davranışlarının araştırılması lazım ve bu sistem için en uygun kontrol kurallarının belirlenmesi gerekir. Bundan dolayı tasarlanacak bu sistem kontrolü için en doğru davranışları verecek matematiksel modeller kullanılır. Böylece kontrol sistemi için istenilen belli davranış kıstasları sağlanmış olacaktır (Savinko, 2015).

Bitkilerin topraksız ortamda yetiştirilmesine hidroponik adının verilmesi oldukça yakın bir dönem iken, bu yöntem çok daha eski tarihlerde ortaya çıkmaktadır. Babil'in asma bahçeleri, Meksika'nın Azteklerindeki yüzen bahçeler hidroponik kültürün bir biçimiydi, ancak bu isimden bahsedilmiyordu. Hatta yüz binlerce yıllık hiyeroglif kayıtlar da bile sudaki bitkilerin büyümesinden bahsedilir. Theophrastus (372–287 M.Ö.) bitki beslenmesinde çeşitli deneyler yapmıştır. Dioscorides tarafından yapılan botanik çalışmalar, milattan sonra ilk yüzyılda yapılmıştır (Resh, 2016).

Bir hidroponik sistem sudaki mineral besin solüsyonlarını kullanan bitki yetiştirme yöntemidir. Genel olarak yapraklı sebzelerin yetiştirilmesi için kullanılan temel hidroponik sistemler derin akış tekniği (DFT) ve besleyici film tekniği (NFT) sistemleridir. DFT sisteminde, kültür yatağındaki su seviyesi ayarlanan değerden daha düşük bir düzeye geldiğinde bitkilere besleyici solüsyonları verilir ve bunlar, bitkilerin çıplak köklerine, sabit zaman aralıklarında, kültür yatağında 1/100 eğim. NFT sistemleri ve modifiye edilmiş DFT sistemleri, bitki fabrikalarında yaygın olarak kullanılmaktadır (Son ve ark., 2016).

Savvas ve ark. (2013) yaptıkları çalışmadan elde ettikleri ilk gözlemlerde, iklimsel şartlardaki farklılıklardan dolayı, Akdeniz bölgesinde sera ortamında suda yetişen bitkilerdeki besin oranlarının, Kuzey Avrupa'dakilerden önemli ölçüde farklı olabileceğini bildirmişlerdir. Yapılan çalışmada kapalı bir hidroponik sistem içinde yetiştirilen hıyar bitkisinin yetiştirme ortamında ponza kullanılarak sıfır drenaj çözeltisi hedeflenmiştir. Araştırma üç farklı ortamda yapılmıştır. Toplam besin çözeltisinin arzı %15, %30 ve %45 olarak üç farklı sulama programı hazırlanmıştır. Makro ve mikro besin ortalamaları iki farklı yöntemle belirlenmiştir. Birinci yöntemde besin çözeltisinin suda yeniden dolaştırılması ve besin çözeltisinin çıkartılmasıyla ardışık üç zaman aralığı belirlenmiştir. İkinci yöntemde ise bitki meyvesinin büyümesi için ortalama bitki çözeltisi, tüm bitkinin biokütlesi ve toplam su tüketiminden toplam besin geri kazanımı tahmin edilmiştir. K, Ca, Mg, ve Fe'nin besin çözeltisi ve sudan alınan besin çözeltisi bazında hesaplandığında; toplam bitki biokütlesi ve su tüketimi içindeki besin miktarlarının ölçülmesi tahmin edilenden önemli ölçüde yüksek olduğunu rapor etmişlerdir.

Derin akış tekniği, besin film tekniği veya aeroponik sistemler gibi hidroponik sistemler, bitki fabrikalarında temel araçlardır. Hidroponik sistemdeki su ve besinlerin uygun şekilde yönetilmesi için elektriksel iletkenlik (EC), pH, çözünmüş oksijen ve sıcaklık ölçülmelidir. Besin çözeltilerindeki iyon konsantrasyonları zamanla değiştiğinden, kapalı hidroponik sistemlerde besin dengesizliği ile sonuçlanır, tüm besin maddelerinin gerçek zamanlı ölçümleri gereklidir (Son ve ark., 2016).

2.6. Hidroponik Ortamda Bitki Besleme

Besin çözeltisi hazırlığında yapılması gereken ilk işlem sulama suyunun tahlil edilmesidir. Suyun EC (tuz) ve pH değeri ile sodyum, kalsiyum, magnezyum, sülfat, bikarbonat ve bor içeriğinin bilinmesi gerekir. Bazı durumlarda suyun kalsiyum, magnezyum içeriği yüksek olabilir. Besin çözeltisi hazırlanırken bu oranlara dikkat edilmeli, eksik kalan miktarı karşılayacak kadar gübre ilave edilmelidir. İyi bir bitki gelişimi için besin çözeltisinin EC ve pH değerinin belirli sınırlarda tutulması gerekir. Bu değerler EC metre ve pH metre adı verilen aletlerle ölçülür. EC değeri istenilen değer üzerinde ise su, altında ise gübre ilave edilir. Çözeltinin pH değerini düşürmek için nitrik asit veya fosforik asit kullanılır. pH değeri 5.0-7.0 olan sular besin çözeltisi hazırlamada rahatlıkla kullanılabilir (Megep, 2008).

Besin çözeltilisinin hazırlanması iki farklı şekilde olur:

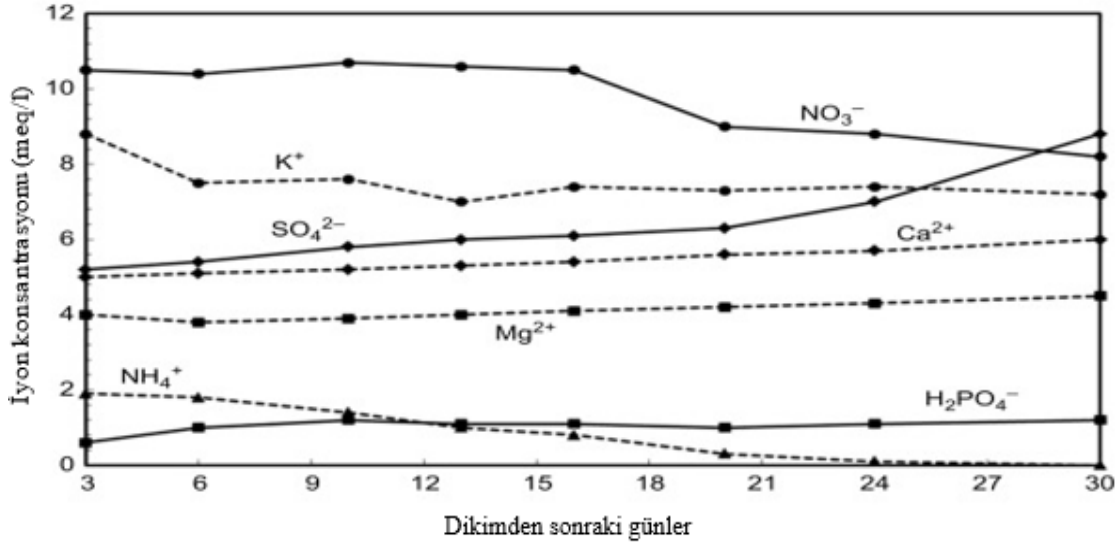
- Gerekli gübreler ayrı ayrı eritildikten sonra doğrudan bitkiye verilecek suya karıştırılır.
- Fazla miktarda gübre eritilip tank dışında stok çözelti hazırlanır. Daha sonra belli miktarda alınarak sulama suyuna karıştırılır. Stok çözelti hazırlanacak ise kalsiyumlu gübrenin fosfat ve sülfatlı gübrelere karıştırılmamasına dikkat edilmelidir; aksi halde kalsiyum, fosfat ve sülfat ile çökelti oluşturarak sulama sisteminin tıkanmasına neden olur (Megep, 2008).

Topraksız kültürde, bitki büyümesi ve gelişimi için gerekli veya faydalı olan elementler aşağıdakiler aracılığıyla sağlanır.

- Ekim plantasyonundan önce ve sonra substrata organik ve / veya sentetik gübrelerin eklenmesi.
- Bir veya daha fazla çözünebilir gübreyi işlenmemiş suda çözen ve böylece sulama sistemi (gübreleme) ile verilen bir besin çözeltilisinin temin edilmesi (Pardossi ve ark., 2017).

Marul, önemli bir antioksidan ve biyoaktif bileşik kaynağıdır. Nitrat bahçecilikte bir kardinal gübredir ve sebze verimini ve kalitesini etkiler; Bununla birlikte, nitratın flavonoidlerin biyosentezi üzerindeki olumsuz etkileri daha fazla çalışma gerektirir. Organik nitrojen (N) içeren gübrelerin kullanımının, sağlığa yardımcı olan bileşiklerin sentezini desteklemesi beklenmektedir (Yang ve ark., 2018).

Topraksız besin çözeltileri 13 temel elementten oluşur. Her besinin bir bitkinin normal büyümesi için uygun bir konsantrasyon ve nispi oranı vardır ve bunlar bir besin kontrol sisteminin hedef değerleridir. Bununla birlikte, besin çözeltilerindeki iyonik konsantrasyon zamanla değişir ve daha sonra kapalı hidroponik sistemde bir besin dengesizliği oluşur. Marul için sabit EC değerinde değişen iyon konsantrasyonları Şekil 2'de gösterilmiştir (Son ve ark., 2016).



Şekil 2.2. Sabit bir EC'de değerde sirküle edilen besin çözeltilerinin iyonik konsantrasyonundaki değişiklikler

2.7. Hidroponik Bitki Yetiştirme Kontrol Sistemleri

Son yıllarda bilgisayar destekli sistemler kullanılarak gıda kalitesinin belirlenmesi ve değerlendirmesi için yazılımlar geliştirilmektedir. Yapay sinir ağını, istatistiksel öğrenmeyi, bulanık mantığı, genetik algoritmayı ve karar ağacını içeren bilgisayar programlarını kullanarak gıda kalitesinin belirlenmesi ve değerlendirmesi için öğrenme tekniklerindeki son gelişmelerden bazılarıdır. Yapay sinir ağı (ANN) ve istatistiksel öğrenme (SL), gıda kalitesi değerlendirmesi için temel öğrenme yöntemleri olmaya devam etmektedir (Du ve ark., 2006).

Günümüzde tarımsal alanda hasat, yabancı ot mücadelesi, ekim, toprak işleme ve sulama gibi birçok faaliyetler artık robotlar yardımıyla yapılabilmektedir. Görüntü işleme teknolojilerini kullanan bu teknolojiler önümüzdeki on yıl boyunca tarım robot pazarlarında öngörülen hızlı büyümeye katkıda bulunacaktır (Bogue, 2016).

Kablosuz sensör ağı uygulamaları ile Nesnelerin İnterneti (Internet of Things) olarak adlandırılan makineler arası iletişim (M2M), düşük veri aktarım hızı ve uygun maliyetle nesnelere veri toplanmasına, analiz edilmesine ve karar destek sistemleri sayesinde de karmaşık sistemlerin kontrolünde karar vericilere yardımcı olmaktadır. Özellikle düşük gelirli kırsal alanlarda çevre yönetimi ve tarım politikalarının izlenmesini ve tarımsal üretimi geliştirmek için bu teknolojiler yeni olanaklar sunmaktadır (Çaylı ve ark., 2017).

Tarımda yeni teknolojileri benimseme ve teknolojik dönüşümün başarılı olabilmesi için üç temel kıstas vardır. Bunlar: (a) kamu ve özel sektör araştırmalarının yeni teknik bilgi üretme kapasitesi; (b) sanayi sektörünün yeni teknolojiyi geliştirme, üretme ve pazarlama kapasitesi; (c) çiftçilerin yeni bilgi edinme ve girdileri etkin kullanma kapasitesi (Allmaras ve ark., 2018).

Genel anlamda, mahsul üretimi, mahsullere ekilen alanı genişleterek, bireysel mahsullerin birim alan başına verimini (genellikle girdi kullanımını artırarak) veya zaman ve mekânda her yıl daha fazla ürün yetiştirerek artırabilir (Altieri, 2018).

Verilerin ve bilgilerin toplanmasını, depolanmasını, analiz edilmesini ve paylaşılmasını kolaylaştıran internet, cep telefonları ve ilgili teknolojiler, dünya nüfusunun büyük ve büyüyen bir oranı içinde yaşamın birçok yönünü değiştirmektedir. Gelişmekte olan ülkelerin en yoksul yüzde 20'sinin bile, yüzde 70'i cep telefonu kullanmaktadır (Deichmann ve ark., 2016).

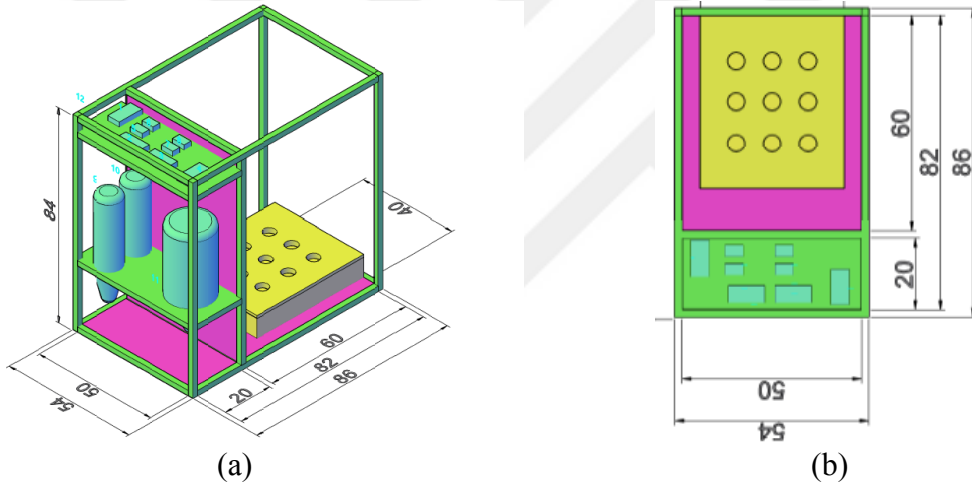
İzlenebilirlik, yeni ihracat pazarlarına ulaşmak veya bu pazarlara yayılmak isteyen gelişmekte olan ülkeler ile giderek daha fazla ilgili hale gelmektedir. Sıkı ve değişen gıda güvenliği standartlarını kendi başlarına sürdürmek için genellikle yeterli kaynaklara sahip olmayan küçük çiftçiler, izlenebilirliği geliştirmek için bilgi işlem teknolojileri kullanan kooperatiflere ve toplayıcılara ihtiyaç duymaktadırlar. Radyo frekansı tanımlama (RFID) çipleri, izlenebilirlik için umut verici bir çözüm olarak ortaya çıkmaktadır. Elma sandıklarına veya bir ineğin kulağına yerleştirilen çip, kablosuz algılayıcı ağları olan bir arabirim aracılığıyla hareket, sıcaklık, bozulma, yoğunluk, ışık ve diğer çevresel değişkenler gibi verileri toplayabilir (Deichmann ve ark., 2016).

3. MATERYAL VE YÖNTEM

3.1. Materyal

3.1.1. Dış kasa ve yapısal özellikler

Tasarlanan prototipin teknik çizimleri Şekil 3.1’de verilmiştir. Prototipin dış çerçevesi delikli çelik profilden yapılmıştır. Yüksekliği 84 cm, toplam genişliği ise 80 cm’dir. Bitki yetiştirme bölmesi 60 cm genişliğindedir. Bitki besleme ve diğer donanımlar için 20 cm genişliğinde bir alan bırakılmıştır. Donanım bölmesi ise dikey olarak 3 bölmeden oluşmaktadır. En üst bölmede kontrol donanımları ve güç kaynağı bulunmaktadır. Orta bölme 40 cm yüksekliğindedir ve bitki besleme stok çözelti tankı, yoğun çözelti tankı ve pH düzenleyici sıvı tankı bu bölmeye yerleştirilmiştir.



Şekil 3.1. Prototipin teknik çizimleri (a) izometrik (b) üstten görünüş

Bitki yetiştirme bölmesinin yan duvarları 1 cm kalınlığında MDF ahşap malzemeden imal edilmiş ve çelik çerçeveye vidalanmıştır. Ön duvarda ise 55x55 cm boyutlarında bir pencere bırakılmış ve bu alan 3 mm kalınlığında 60x60 cm boyutlarında şeffaf akrilik malzemeden bir kapak ile kapatılmıştır. Geliştirilen bu Hidroponik Bitki Yetiştirme Ortamı sistemi “HİBİYO” olarak adlandırılmıştır. Şekil 3.2’de imal edilen prototip’e ait görüntüler verilmiştir.



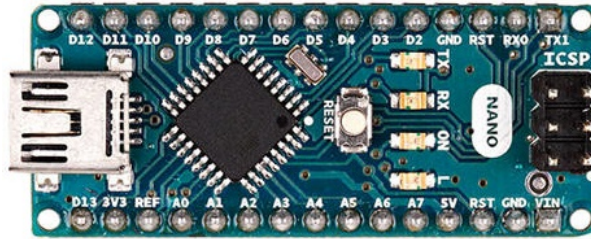
Şekil 3.2. İmalat ve test aşamasına ait görüntüler

3.1.2. Açık kaynak donanımlar

Tasarlanan sistemde iki farklı açık donanım mikroişlemci kartı kullanılmıştır. Bunlardan birisi rölelerin kontrol edilmesi ve bazı sensör verilerinin okunması amacıyla, diğeri ise verilerin depolanması ve İnternet ağı üzerinden verilere erişim ve sistemin kontrol edilmesi amacıyla kullanılmıştır.

Arduino mikro işlemci kartı

Çalışmada Arduino Nano mikro işlemci kartı kullanılmıştır (Şekil 3.3). Bu kart 16 MHz saat hızında çalışabilmektedir. Ayrıca 14 adet dijital, 8 adet analog giriş-çıkış portuna, 32 KB flash, 2KB SRAM ve 1 KB EEPROM hafızaya sahiptir. Giriş voltajı 6-20 V, çalışma voltajı 5 V'tur.



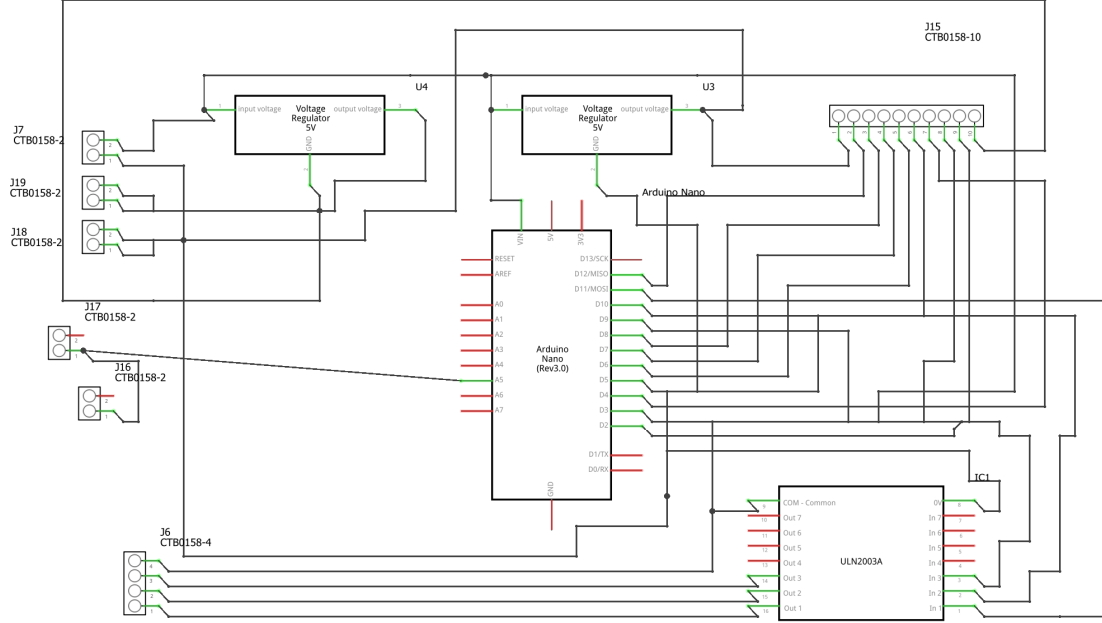
Şekil 3.3. Arduino mikro işlemci kartı

Raspvberry pi Kart Bilgisayar

Çalışmada RPI donanım versiyonu “Raspvberry Pi Model B Rev 2” olan kart ve “Raspbian GNU/Linux 9 (stretch)” işletim sistemi kullanılmıştır (Şekil 3.4).

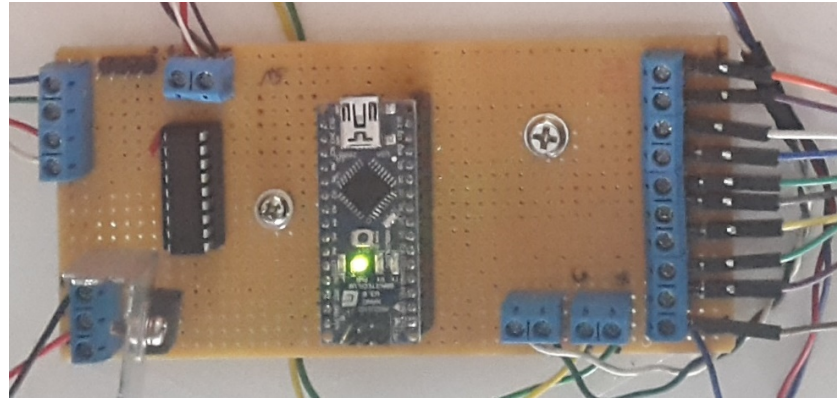
3.1.3. Kontrol kartı

Sistemdeki sensörlerin ve mikroişlemci kartı ile geliştirme kartı ara bağlantıları için bir kontrol devresi geliştirilmiştir. Kontrol kartı devre şeması Şekil 3.6’de verilmiştir.



Şekil 3.6. Kontrol kartı devre şeması

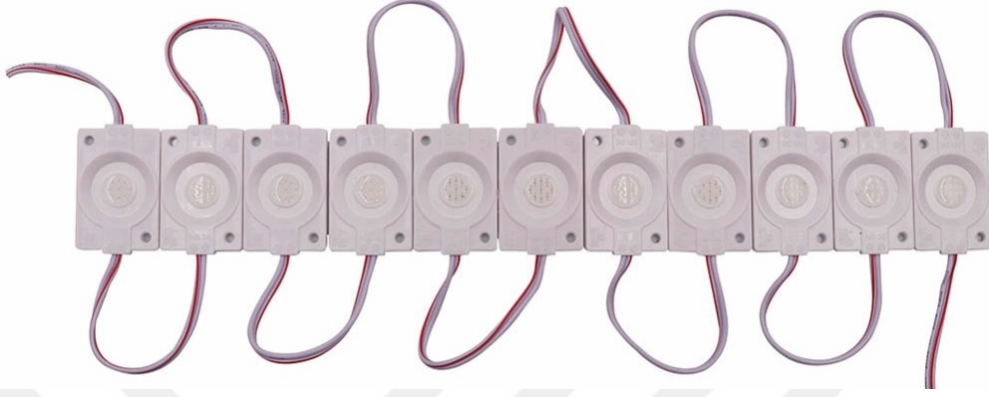
Kontrol kartı üzerinde RGB LED’lerin farklı dalga boylarında işletilmesi için ULN2003A RGB LED kontrol entegresi kullanılmıştır (Şekil 3.7). Bu sayede 400-700 nm arasında istenilen dalga boyunda aydınlatma yapılabilmektedir. Arduino mikroişlemci kartı da kontrol kartı üzerindeki yuvaya takılmıştır. RPI-Arduino iletişimi ise I²C ara yüzü üzerinden yapılmıştır. Bu amaçla geliştirilen yazılım üzerinden sayısal sinyaller gönderilerek röle açma-kapama ve röle durum sorgulama işlemleri yapılmıştır.



Şekil 3.7. Tasarlanan kontrol kartı ve mikroişlemci kartı

3.1.4. Yapay aydınlatma

Çalışmada her biri 2.4 W gücünde kırmızı, mavi ve beyaz renklerde ışık veren toplam 40 Adet COB (Chips on Board) LED kullanılmıştır (Şekil 3.8).



Şekil 3.8. Yapay aydınlatmada kullanılan COB led

Yapay aydınlatma için bu sayede toplam 96 W aydınlatma gücü ve 8000 lümen aydınlatma şiddeti elde edilebilmiştir. LED'ler zeminden 80 cm yükseklikte olan prototipin tavanına yerleştirilmiştir. Aynı zamanda ek aydınlatma için RGB şerit LED'lerde kullanılmıştır (Şekil 3.9).



Şekil 3.9. Çalışmada kullanılan yapay aydınlatma sistemi ve LEDler

3.1.5. Güç kaynağı

Sistemin enerji ihtiyacı için 12 Volt çıktı veren 360W 30A kapasitesindeki güç kaynağı ile sağlanmıştır (Şekil 3.10). Mikro işlemci kartı ve geliştirme kartının 5 volt beslemesi için, kontrol kartı üzerindeki 5 V dönüşüm yapan voltaj regülatörü devresi kullanılmıştır.



Şekil 3.10. Güç kaynağı

3.1.6. Havalandırma

Ortamın havalandırması için 2 Adet 12V besleme ile çalışan 120x120x25 mm boyutlarında 2400 devir/dakika dönme hızına sahip kare fanlar kullanılmıştır (Şekil 3.11). Her bir fan 39 dB gürültü, 0.28A akım değerine sahiptir ve toplam gücü ise 3.36 W'dir. Fanlar prototipin yan duvarına yerleştirilmiştir.



Şekil 3.11. Havalandırma için kullanılan kare fan

3.1.7. Sensörler

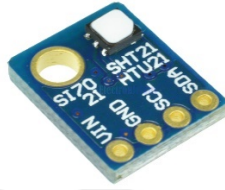
İç ortam, dış ortam ve bitki besleme çözeltisi sıcaklık ölçümleri için DS18B20 (DALLAS Semiconductor, TX, USA) sensörleri kullanılmıştır (Şekil 3.12).

Bu sensör 3.0-5.5V arasında giriş voltajı ile çalışabilmektedir. Su geçirmez bir yapıya sahiptir. Sıcaklık ölçüm aralığı -55°C ile $+125^{\circ}\text{C}$ 'dir. Ölçümleri 0.1°C hassasiyette ve $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$ doğruluk oranında yapabilmektedir.



Şekil 3.12. Sıcaklık ölçüm sensörü (DS18B20)

Oransal nem ölçümlerinde SI7021 (Silicon Labs, TX, USA) sensörü kullanılmıştır (Şekil 3.13). Bu sensör oransal nemin yanında sıcaklık ölçümleri de yapabilmektedir. Sensör, 1.9-3.6V arasında giriş voltajı ile çalışabilmektedir. Oransal nemi okuma aralığı %0-100 arasındadır. Ölçümleri $\pm 3\%$ doğruluk oranında yapabilmektedir. I^2C ara yüzü ile verilere erişilebilmektedir. Güç tüketimi ise aktif durumda $150 \mu A$, bekleme durumunda ise $60 nA$ 'dir.



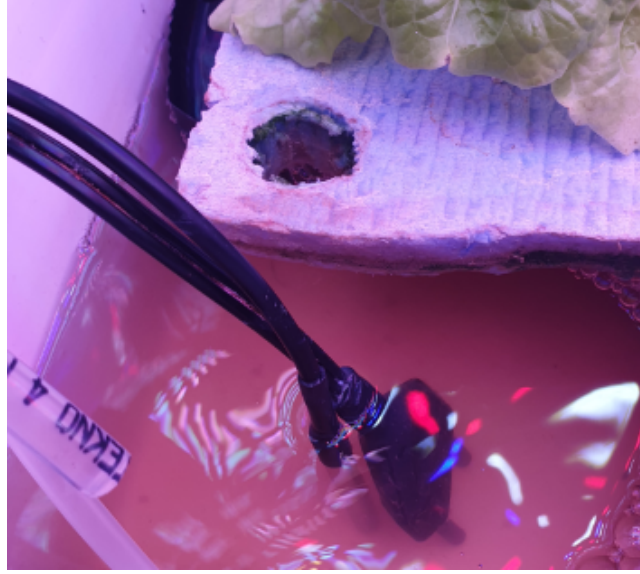
Şekil 3.13. Oransal nem ölçüm sensörü (SI7021)

Aydınlatma şiddeti ölçümleri için BH1750 (ROHM Semiconductor, Kyoto, JAPAN) sensörü kullanılmıştır (Şekil 3.14). Bu sensör 0-65536 lx aralığında aydınlatma şiddetini ölçebilmektedir. Çalışma gerilimi 2.4-3.6V arasındadır ve I^2C ara yüzünden doğrudan dijital çıkış vermektedir.



Şekil 3.14. Aydınlatma şiddeti ölçüm sensörü (BH1750)

Elektriksel iletkenlik ölçümleri geliştirilen bir sensör yardımıyla yapılmıştır. Geliştirilen sensörün sistemdeki görünümü Şekil 3.15'te verilmiştir.



Şekil 3.15. Elektriksel iletkenlik (EC) sensörü

Bu sensör, sıvı sıcaklığı ve sıvı içerisine daldırılan iki elektrot ile direnç değerini ölçmektedir. Ölçülen direnç ve sıvı sıcaklık değerleri ile önceden hazırlanmış EC değeri bilinen çözeltilerdeki ölçüm değerlerine göre kalibre edilerek EC değeri hesaplanabilmektedir (Ratcliffe, 2015). Aynı zamanda sensör ölçüm değerleri, aralıklı olarak TDS&EC meter cihazı kullanılarak kontrol edilmiştir. (Şekil 3.16).



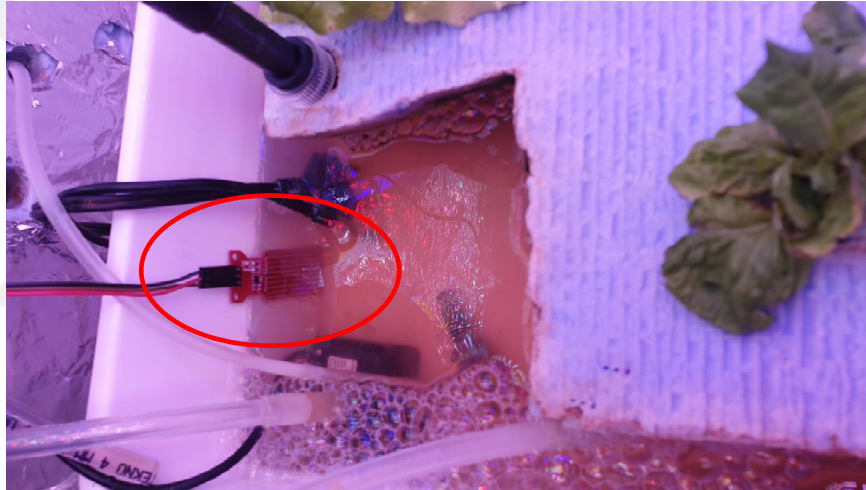
Şekil 3.16. EC sensör kalibrasyonunda kullanılan EC Meter

Bitki besleme çözeltisi pH değerinin ölçülmesi için 5.0V gerilim ile çalışan 0-14 arasında pH değeri ölçebilen, 10 mA güç tüketimi ile BNC ara yüzünden analog çıkış veren sensör kullanılmıştır (Şekil 3.17).



Şekil 3.17. Analog çıktı veren pH sensörü

Bitki besleme çözelti seviye ölçümleri için kullanılan sensör Şekil 3.18’de verilmiştir. Bu sensör 3.3-5.0 V güç beslemesi ile çalışmaktadır. Akım tüketim değeri 20mA ve 0-2.3V arasında analog çıkış vermektedir.



Şekil 3.18. Sıvı seviyesi ölçüm sensörü

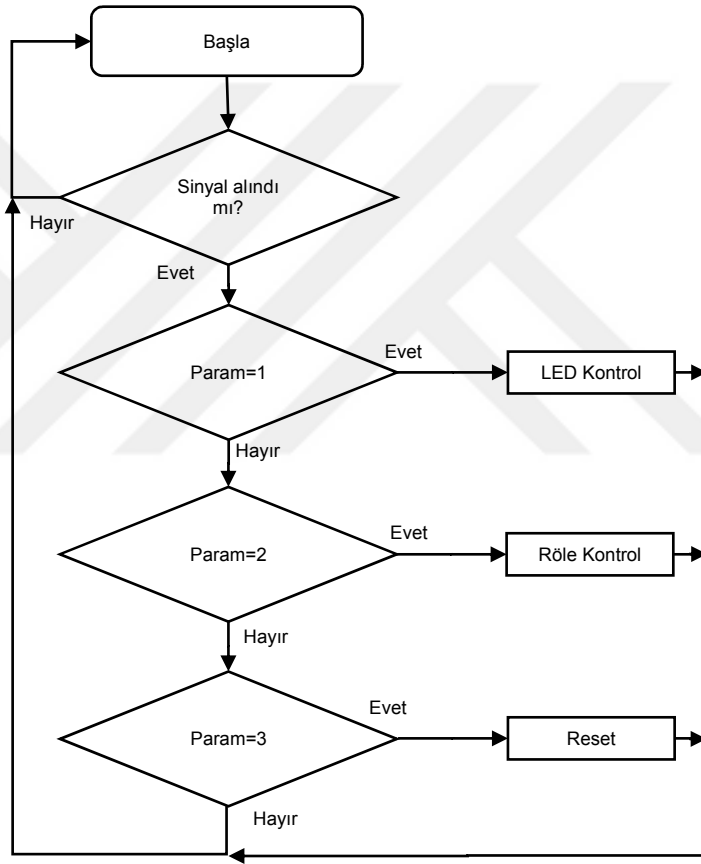
3.1.8. Mikroişlemci kontrol yazılımı

Arduino mikroişlemci kontrol kartı için ihtiyaç duyulan yazılım, C++ programlama dili ve Arduino 1.8.5 kod yazma aracı kullanılarak geliştirilmiştir. Bu yazılımın temel işlevi kendisine gönderilen komutları işleyerek istenen işlemi (Röle açma-kapama, LED kontrolü, vs) yerine getirmektir. Yazılım, “Wire” yazılım kütüphanesi kullanmaktadır. Bu yazılım kütüphanesi I²C/TWI (Two Wire Interface) cihazları ile iletişim kurulmasına izin vermektedir. Arduino kartlarında, SDA (veri hattı) ve SCL (saat hattı) pinleri üzerinden diğer cihazlarla iletişim kurulabilmektedir.

Yazılım işlevleri ve komut seti Çizelge 3.1’de, akış şeması Şekil 3.19’de verilmiştir.

Çizelge 3.1. I²C kontrol yazılımı parametreleri

Parametre	Görev	Alt parametreleri	Örnek komut parametreleri
1	Led kontrol	P1: Kırmızı yoğunluğu (1-255) P2: Yeşil yoğunluğu (1-255) P3: Mavi yoğunluğu (1-255)	1 255 255 0
2	Röle kontrol	P[DD]: (10.20.30.40.50.60.70.80)	2 21 (2 no'lu röle kapalı) 2 30 (3 no'lu röle açık)
3	Resetleme	-	3 0 0 0



Şekil 3.19. Mikro işlemci yazılım algoritması

3.1.9. Alt sistemler veri toplama ve kontrol yazılımı

Alt sistemlerinin kontrolü ve sensör verilerinin toplanması için Python 2.7 programlama dili ile geliştirilen yazılım (sensoroku.py) RPI üzerinde sistem servisi olarak çalıştırılmıştır (Şekil 3.20).

```

pi@hbyo: ~/sensorler
pi@hbyo:~/sensorler $ cat /lib/systemd/system/sensoroku.service
[Unit]
Description=HibiYO Sensor Okuma Servisi
After=multi-user.target

[Service]
Type=simple
ExecStart=/usr/bin/python /home/pi/sensorler/sensoroku.py
Restart=on-abort

[Install]
WantedBy=multi-user.target
pi@hbyo:~/sensorler $ systemctl | grep running| grep sensoroku
sensoroku.service                                loaded active running  HibiYO Sensor Okuma Servisi
pi@hbyo:~/sensorler $ █

```

Şekil 3.20. Alt sistemler veri toplama yazılımı (sensoroku.py)

Bu yazılım sayesinde sıcaklık, oransal nem, aydınlatma, sıvı seviyesi, EC ve pH sensörlerinden belirlenen zaman aralıklarında veriler okunmaktadır. Okunan verilerin tutarlılığı kontrol edildikten sonra veri tabanına kaydedilmektedir. Ayrıca sistem günlüklerine, Python logging modülü kullanılarak gerçekleşen olaylar ve sensör okuma durumu hakkında kayıtlar eklenmektedir. Yazılımın geliştirilmesinde *smbus*, *os*, *subprocess*, *time*, *MySQLdb*, *gpiozero*, *glob* ve *logging* Python modülleri kullanılmıştır (Şekil 3.21).

```

1  #!/usr/bin/python
2  import smbus
3  import os
4  import subprocess
5  import time, datetime
6  import sqlite3
7  import MySQLdb
8  from gpiozero import LED
9  from time import sleep
10 import glob
11 import logging
12 import hibiyo
13
14 logging.basicConfig(level=logging.INFO, format='%(asctime)s, %(message)s', datefmt='%m-%d-%Y %H:%M:%S', filename='/var/log/hibiyo.log', filemode='a')
15
16 while True:
17     try:
18         time.sleep(1)
19         simdi = datetime.datetime.now()
20         if simdi.minute % 5 == 0 and simdi.second < 2 :
21             #if simdi.second % 5 == 0 :
22                 si = si7021_oku()          # si [0] 0:temp;hum
23
24             if si.split(";")[0] != 'error':
25                 mysql_kaydet(1, si.split(";")[0])
26                 mysql_kaydet(2, si.split(";")[1])
27                 led_blink()
28
29             bmp = bmp_oku()
30             print "ok : "
31             if (bmp.split(";")[0]) != 'error' :
32

```

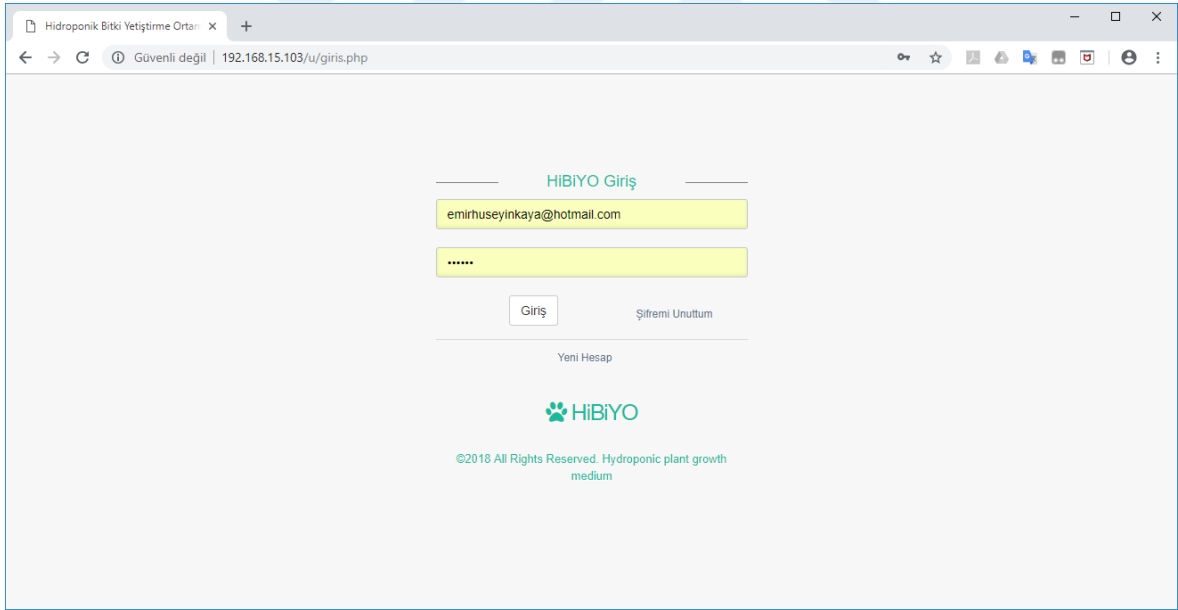
Şekil 3.21. Alt sistemler veri toplama yazılım kodları ekran görüntüsü

3.1.10. Web ara yüz yazılımı

Tasarlanan sistemin Internet ağı üzerinden kontrol edilmesi, sistemin izlenme ve toplanan verilerin analiz edilmesi için RPI üzerinde çalışan bir web yazılımı geliştirilmiştir. Yazılımın geliştirilmesinde PHP programlama dili verilerin depolanması için Maria-db veritabanı yazılımı kullanılmıştır.

Web tasarımı stil tasarımı mobil cihazlara da uygun (responsive css) olarak yapılmıştır. Bu sayede cep telefonu ve tablet gibi mobil cihazlardan da sistemin kontrol edilmesi mümkün olabilmektedir. Geliştirilen web yazılımı modüler bir yapıda tasarlanmış olup kullanıcı yönetimi ve gözlem modülü (ana ekran), vejetasyon, raporlama ve ayarlar olmak üzere 4 modülden oluşmaktadır. Bu modüllere ana ekrandaki sol menüden ulaşılmaktadır.

Kullanıcı yönetimi modülünde, sistemde oturum açma, kişisel bilgilerin güncellenmesi işlemleri yapılmaktadır. Sistemde tanımlanan kullanıcılar, kullanıcı adı ve bir parola ile sisteme giriş yapabilmektedirler. Sistemde izleyici ve yönetici kullanıcı olmak üzere 2 rol tanımlanmıştır. Yönetici rolü, vejetasyon başlatma-durdurma, donanımı kontrol etme, aydınlatma ve sulama işlemleri başlatma veya durdurma gibi tüm işlemleri yapma yetkisine sahiptir. İzleyici rolünde ise sadece iklim parametrelerinin izlenmesi ve iç ortamın görüntülenmesi işlemleri yapılabilmektedir. Sistemin ana giriş ekran görüntüsü Şekil 3.22’de verilmiştir.



Şekil 3.22. Web yazılımı oturum açma ekranı

Sistemde oturum açıldıktan sonra yazılımın ana ekranına ulaşılmaktadır. Bu ekranda sıcaklık, oransal nem, aydınlatma şiddeti gibi güncel çevre koşulları bilgileri gösterilmekte ve her 5 dakikada bir güncellenmektedir (Şekil 3.23a).



(a)

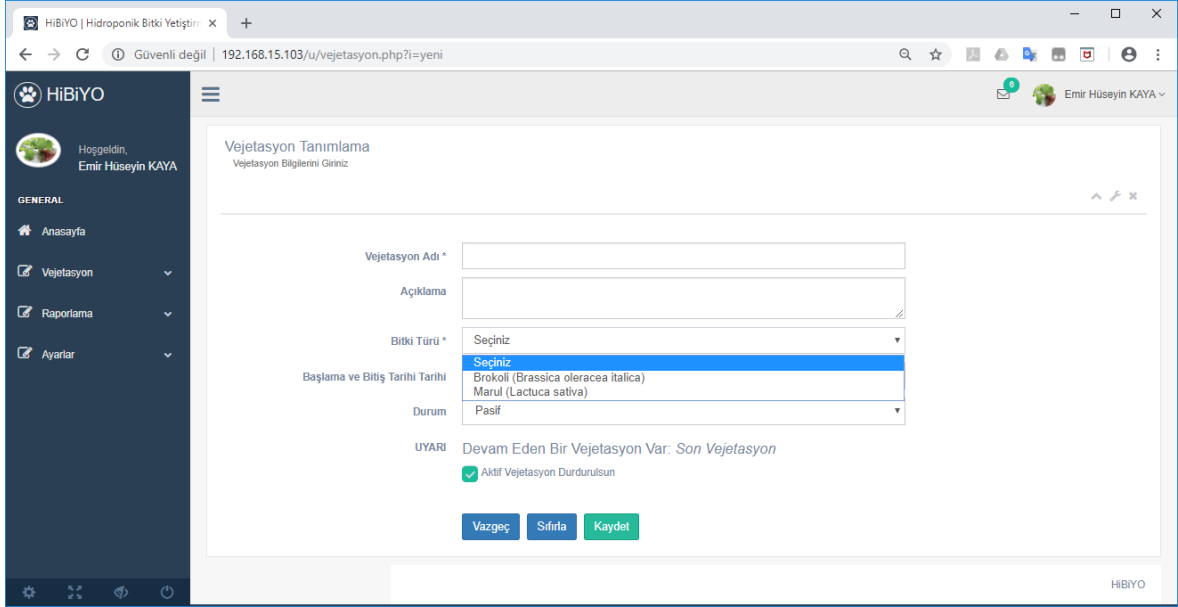


(b)

Şekil 3.23. Ana ekran görüntüsü (a) Masaüstü bilgisayar (b) Mobil cihaz

Vejetasyon modülünde ise yeni bir yetiştirme programının tanımlanması, devam eden vejetasyonların görüntülenmesi/düzenlenmesi ve bitki tanımlanması işlemleri yapılmaktadır. Yeni bir vejetasyon tanımlarken vejetasyon için tanımlayıcı ad, açıklama, bitki türü, başlama zamanı, bitiş zamanı ve durum alanları girilmektedir. Aynı ekran üzerinde devam eden bir vejetasyon olup olmadığı bilgisi ile kullanıcı uyarılmaktadır. Devam eden vejetasyon varsa, devre dışı bırakılıp yeni eklenen vejetasyonun aktif olması için de bir seçenek kutusu eklenmiştir.

Sisteme eklenen vejetasyonlar girilen zaman aralığında sistem tarafından otomatik olarak seçilen bitki istekleri doğrultusunda çalışmaktadır. Aynı zamanda girilen bilgiler sistemin veri tabanında kaydedilmekte ve daha sonra raporlar menüsünden görüntülenebilmektedir (Şekil 3.24).



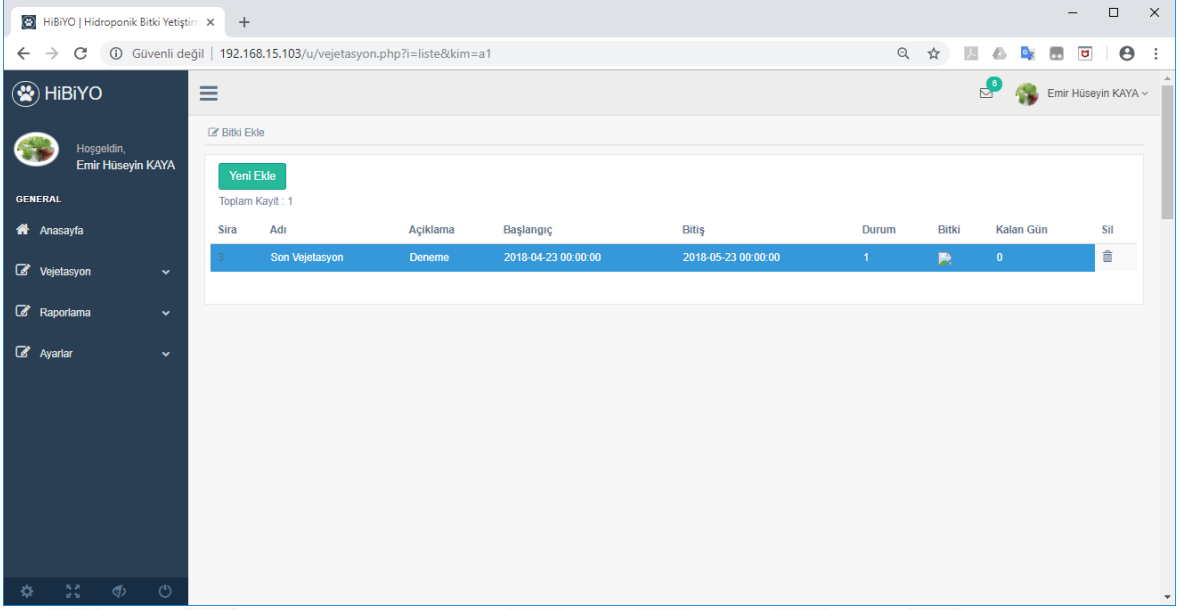
The screenshot displays the 'Vejetasyon Tanımlama' (Vegetation Definition) page in the HIBIYO web application. The page is titled 'Vejetasyon Tanımlama' and 'Vejetasyon Bilgilerini Giriniz'. The form contains the following fields and options:

- Vejetasyon Adı ***: A text input field.
- Açıklama**: A text area for description.
- Bitki Türü ***: A dropdown menu with 'Seğiniz' selected. The dropdown list shows 'Seğiniz', 'Brokoli (Brassica oleracea italica)', and 'Marul (Lactuca sativa)'.
- Başlama ve Bitiş Tarihi Tarihi**: A date selection field.
- Durum**: A dropdown menu with 'Pasif' selected.

Below the form, there is a warning message: 'UYARI Devam Eden Bir Vejetasyon Var: Son Vejetasyon'. A green checkmark indicates 'Aktif Vejetasyon Durdurulmuş'. At the bottom of the form, there are three buttons: 'Vazgeç', 'Sıfırla', and 'Kaydet'.

Şekil 3.24. Yeni vejetasyon tanımlama ekran görüntüsü

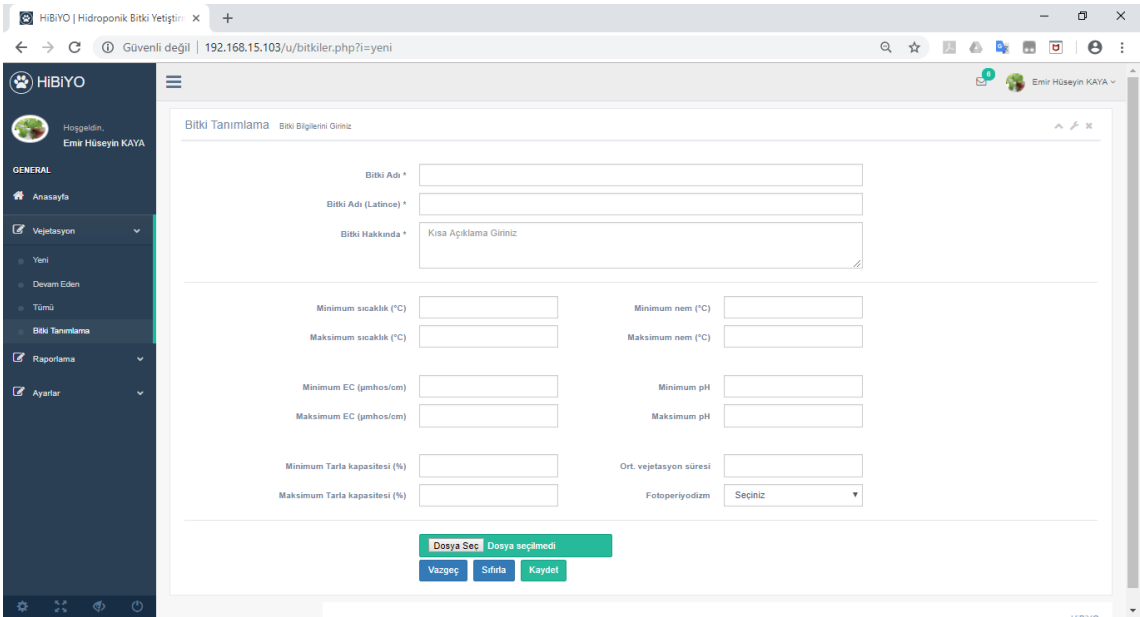
Devam eden vejetasyonların görüntülenmesi ve gerekirse üzerinde değişiklik yapılması için “Vejetasyon” menüsü altında “Devam Eden” alt bağlantısı bulunmaktadır (Şekil 3.25). Bu ekran üzerinde halihazırda devam eden vejetasyonun başlangıç zamanı, bitiş zamanı ve kalan gün sayısı görüntülenebilmektedir. Sıra numarası üzerindeki bağlantı ile de tanımlama menüsünde girilen bilgilere tekrar ulaşılabilenkte istenirse değişiklik yapılabilmektedir.



Şekil 3.25. Devam eden vejetasyonlar görüntüleme ekran görüntüsü

Vejetasyon menüsü altından ulaşabilen bitki tanımlama modülü (Şekil 3.26) ise havalandırma, ısıtma, soğutma, pH ve EC değerlerinin kontrol edilmesi, yapay aydınlatma gibi sistemin ana işlemlerinin yerine getirilmesinde ihtiyaç duyulan temel parametrelerin girildiği menüdür. Burada yeni bir bitki eklenirken bitki adı, Latince adı, bitki hakkında kısa bilgi girişinin yapılması gerekmektedir.

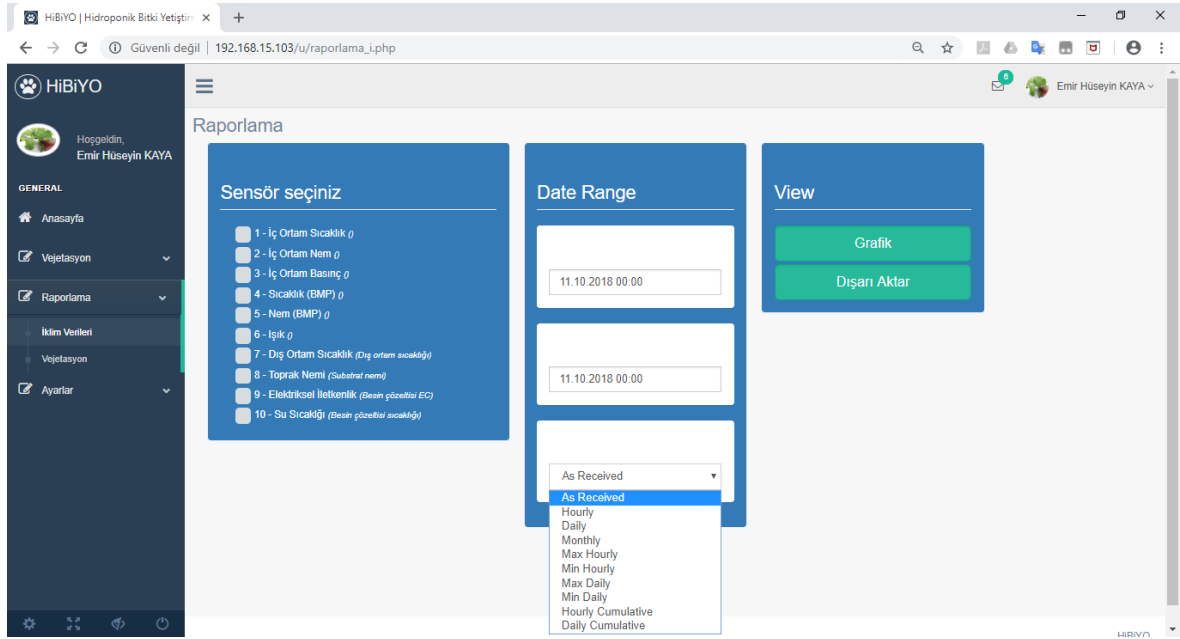
Ayrıca vejetasyon süresince sistem tarafından uygulanacak bitki iklim istekleri de bu modül üzerinden tanımlanmaktadır. Bu parametreler sıcaklık, oransal nem, elektriksel iletkenlik, pH, tarla kapasitesi, vejetasyon süresi ve fotoperiyodizmdir (Şekil 3.27).



Şekil 3.27. Bitki tanımlama ekran görüntüsü

Web ara yüzü üzerinden vejetasyon süresince gerçekleşen iklim bilgileri raporlama modülü ile analiz edilebilmektedir (Şekil 3.28).

Bu modülde her bir sensör için seçilen tarih aralığında veriler, sensörlerden okunduğu şekliyle görüntülenebildiği gibi aynı zamanda saatlik, günlük, aylık ortalamalar şeklinde de görüntülenebilmektedir. Ayrıca bu modülde saatlik, günlük ve aylık olarak maksimum ve minimum ortalama değerlerde hesaplanmaktadır.



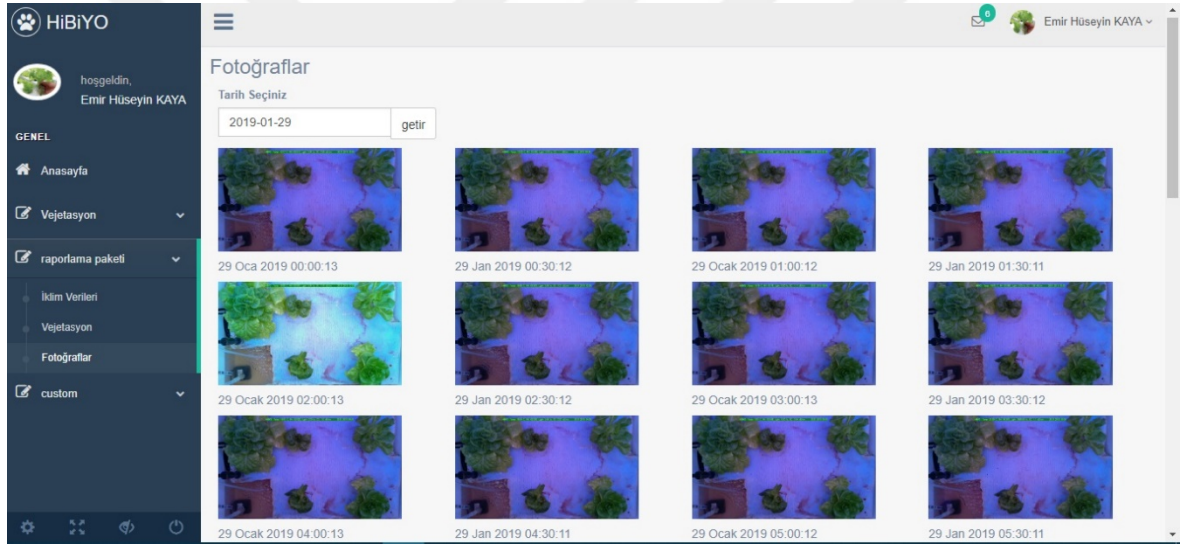
Şekil 3.28. Raporlama ekran görüntüsü



Şekil 3.29. Raporlama modülünde veri analizi ekran görüntüsü

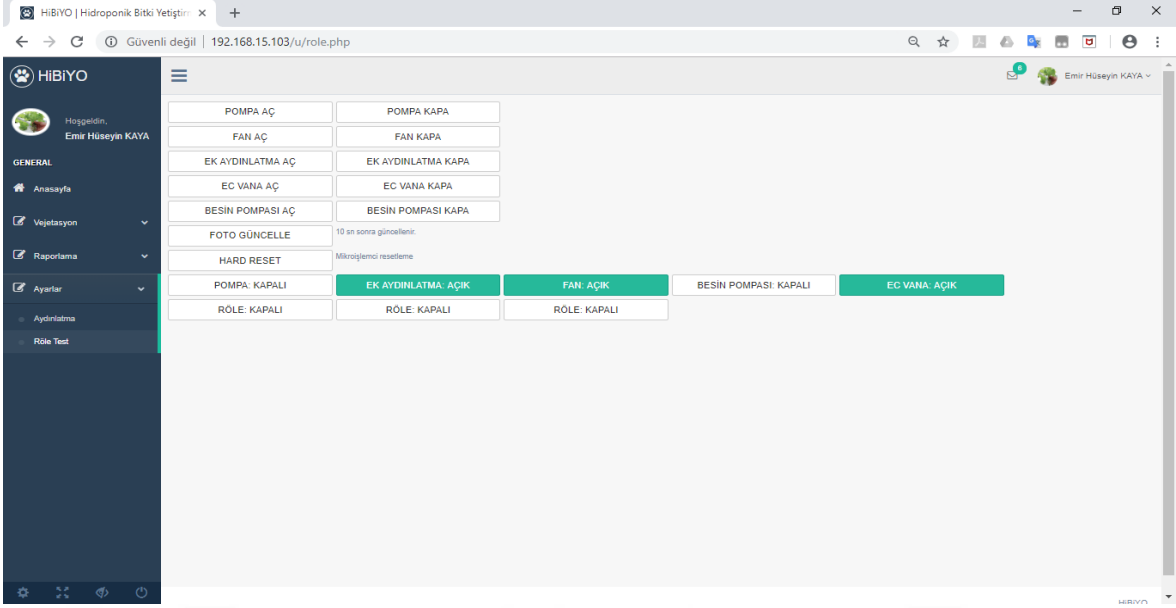
Verilerin görüntülenmesinde grafik ve dışarı aktarma olarak iki seçenek bulunmaktadır. Bu seçeneklerden grafik seçilmesi durumunda web ara yüzündeki grafik modülü ile seçilen sensör verilerinin yine seçilen tarih aralığında grafikleri oluşturulmaktadır. Eğer istenirse birden fazla sensör seçilerek bu sensörler aynı grafik üzerinde karşılaştırmalı olarak analiz edilebilir. Aynı zamanda sensörler arasında bu ilişkilere ait lineer regresyon analizi yapılabilmekte, regresyon grafiği ve denklemi grafik üzerinde oluşturulabilmektedir (Şekil 3.29).

Raporlama modülünde, prototip üzerine yerleştirilen kameradan her 30 dakikada alınan fotoğraflara erişim için “Fotoğraflar” menüsü kullanılmaktadır. Bu menüden istenilen tarihteki fotoğraflar listelenmektedir. Bu fotoğraflar ile geçmişe doğru bitki gelişimleri gözlenebilmekte ve analizler yapılabilmektedir (Şekil 3.30).



Şekil 3.30. İç ortam fotoğraf arşivi ekran görüntüsü

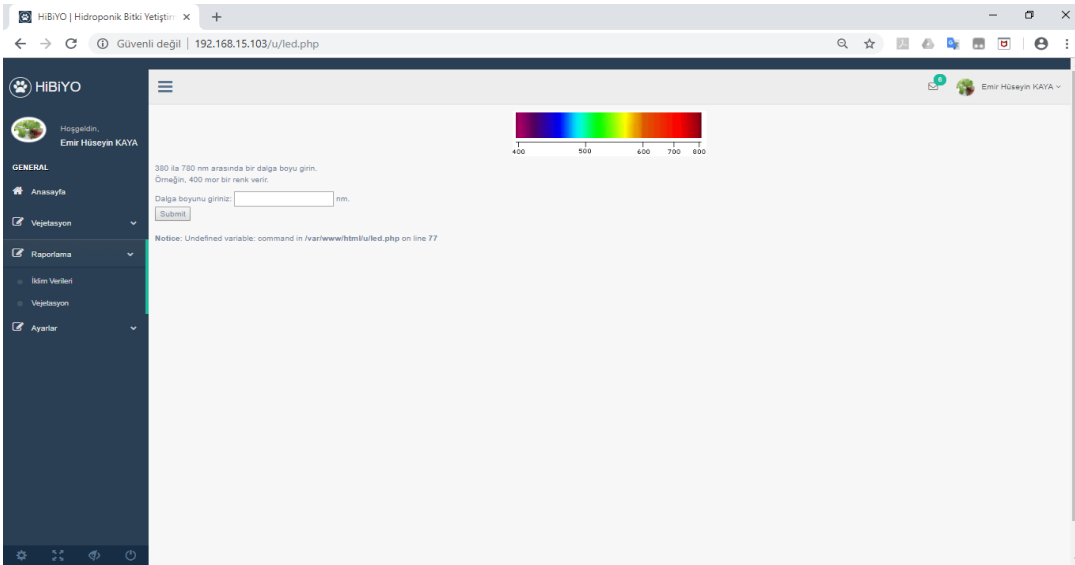
Ayarlar modülünde ise sistemin genel ayarları ile bazı alt sistemlerin manuel olarak çalıştırılmasına olanak sağlayan araçlar bulunmaktadır (Şekil 3.31).



Şekil 3.31. Ayarlar modülü donanım durumu ve manuel kontrol ekran görüntüsü

Bu araçlar ile bitki besleme pompası, havalandırma, yoğun besin çözeltisi kontrol vanasının çalışma durumu kontrolü ve manuel olarak çalıştırılması mümkündür. Aynı zamanda periyodik fotoğraflama dışında istenilen anda fotoğraf güncelleme aracı ile ana sayfa fotoğrafı güncellenebilmektedir.

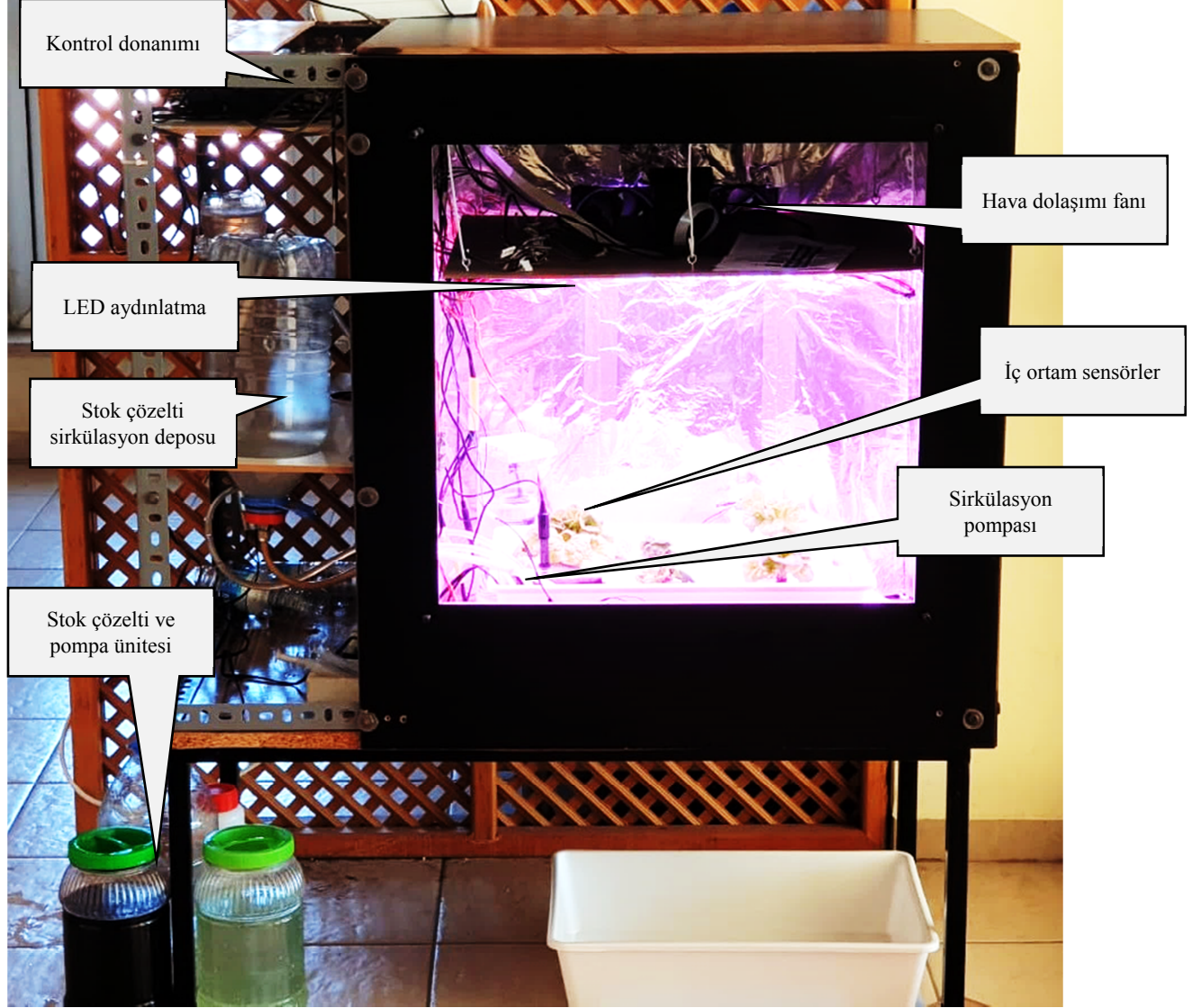
Ayarlar menüsü içerisinde “Aydınlatma” alt menüsünden ise aydınlatma için farklı dalga boyları seçilebilmektedir. Buradan girilen dalga boyu değeri sistem üzerindeki mikroişlemci yazılımı sayesinde iç ortamdaki RGB LED’lere gerekli sinyalleri göndermekte ve istenilen dalga boyundaki ışık ayarlanabilmektedir (Şekil 3.32).



Şekil 3.32. Manuel yapay aydınlatma kontrolü ekran görüntüsü

3.1.11. Geliştirilen sistemin genel görünümü

Sistem temel çevre koşulları kontrol, bitki besleme ve aydınlatma olarak üç ana sistemden oluşmaktadır. Geliştirilen sistemini oluşturan öğeler ve genel görüntüsü ve Şekil 3.33’de verilmiştir.



Şekil 3.33. Sistemin genel görünümü

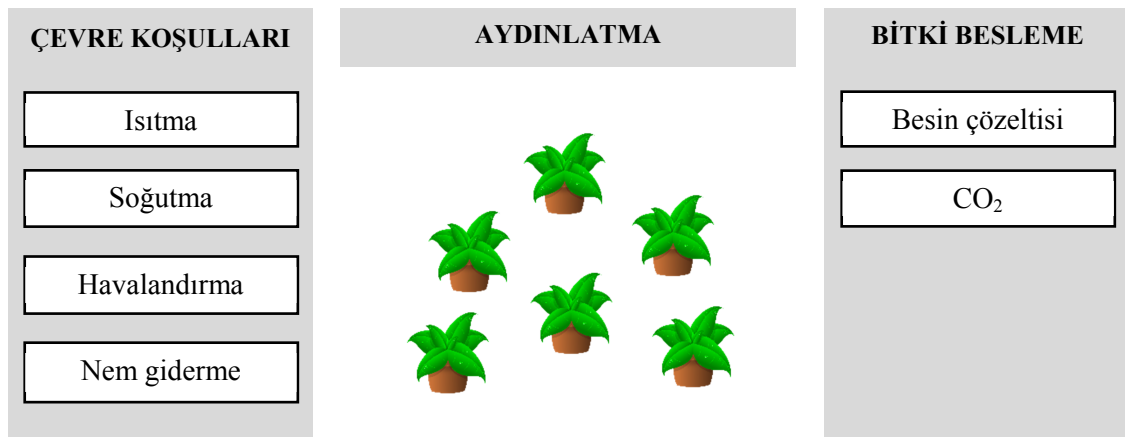
Çevre koşulları kontrol sisteminde kontrol donanımı ve sensörler bulunmaktadır. Bu sistemin görevi çevre koşulları verilerini sensörler aracılığı ile toplamak ve bu veriler ile iç ortam çevre koşullarını kontrolünü sağlamaktadır. Bu amaçla geliştirilen yazılımlar ile çevre koşullarının denetlenmesini sağlayacak donanım harekete geçirilmektedir.

Bitki besleme kontrol sistemi ise, iç ortamda elektriksel iletkenlik, pH ve besin çözeltisi seviyesini ölçen sensörlerden alınan veriler ile bitki istekleri doğrultusunda besin ihtiyacının karşılanması için stok çözülden pompalama ve besin çözeltisinin dolaşımını sağlayan donanımları kontrol etmektedir.

Aydınlatma kontrol birimi, LED'ler, iç ortam aydınlatma sensörü ve aydınlatma kontrol kartından oluşmaktadır. Bu birim iç ortamda istenilen dalga boyunda, istenilen şiddette aydınlatma için kontrol donanımını harekete geçirmektedir. Ayrıca vejetasyon süresince yazılımda tanımlanmış olarak foto periyod sürelerine göre aydınlatma sisteminin kontrol edilmesinden sorumludur.

3.2. Yöntem

Açık kaynak donanım ve yazılım (AKDY) sistemi çevre koşulları, aydınlatma ve bitki besleme olmak üzere 3 temel alt sistemden oluşmaktadır (Şekil 3.34). Çevre koşulları kontrol sisteminde ısıtma, soğutma, havalandırma ve nem giderme kontrolleri, aydınlatma sisteminde ihtiyaca göre ayarlanabilen şiddette aydınlatma işlemleri kontrol edilmektedir. Bitki besleme sistemi ile önceden belirlenmiş bitki besin ihtiyaçlarına göre bitki besleme ve pH kontrolü yapılabilmektedir. Her alt sistemde kullanılan donanım ve yazılım ile ilgili bilgiler bu bölümde alt başlıklarda verilmiştir.



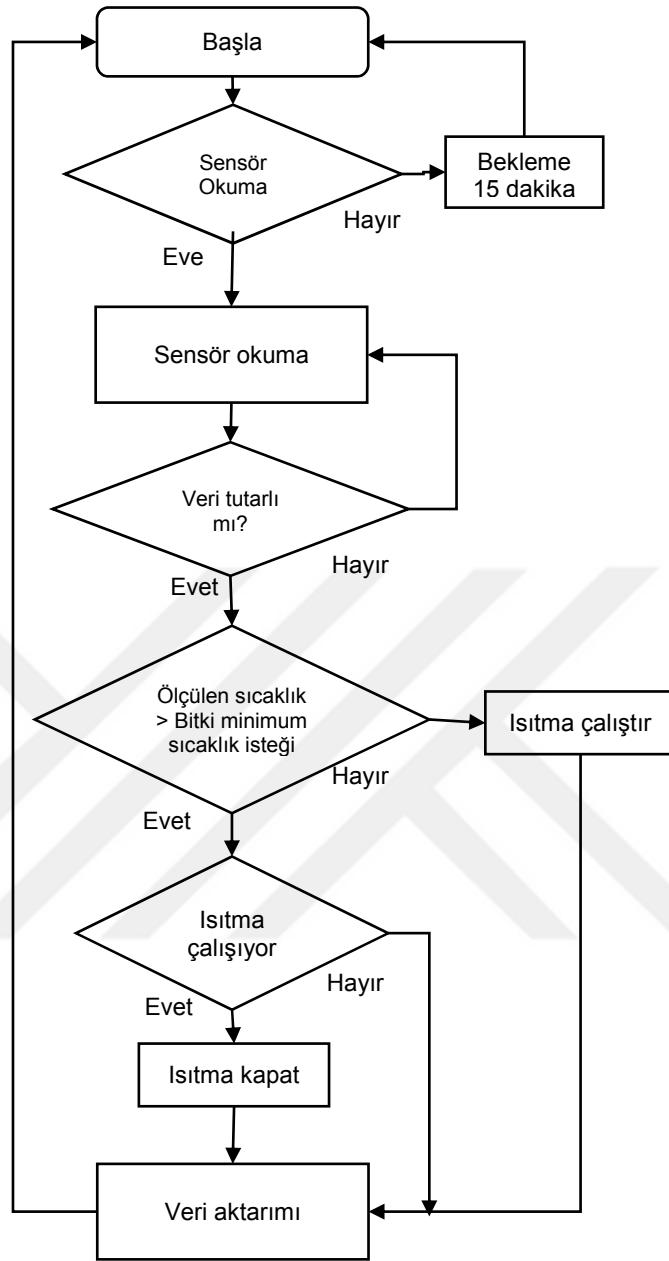
Şekil 3.34. Bitki yetiştirme ortamı sistem modeli

3.2.1. Çevre koşulları kontrol alt sistemi

Bu sistemde ısıtma, soğutma, havalandırma ve nem giderme olmak üzere 4 farklı işlem yapılmaktadır. Yetiştirilecek bitki türüne göre daha önceden web ara yüzü ile veri tabanına tanımlanmış olan bitki iklim istekleri, iç ortam sayısal sensörlerle ölçülen değerlerle karşılaştırılarak ısıtma yapılıp yapılmayacağına karar verilmektedir. Sensör ölçüm değeri ile bitki isteği arasında $\pm\%15$ 'luk bir fark belirlenerek sistemin küçük değişikliklerde açılıp kapanması önlenmiştir. Buna göre sistemin ısıtmaya başlama sıcaklığı olarak bitki iklim isteği minimum değeri, ısıtmayı durdurma sıcaklığı ise Denklem 3.1'e göre yapılmaktadır.

$$I_{dur} = t_{min} + (t_{min} \times \frac{15}{100}) \quad (3.1)$$

Denklemden I_{dur} Isıtma sisteminin durma sıcaklık değerini, t_{min} ise bitki iklim isteği minimum sıcaklık değerini göstermektedir. Isıtma sisteminin akış şeması Şekil 3.35'de verilmiştir.



Şekil 3.35. Isıtma sistemi yazılım modülü akış şeması

Aynı şekilde veri tabanında tanımlanmış olan bitki iklim isteği maksimum sıcaklık değerine ulaşılması durumunda ise soğutucu rölesi sistem tarafından aktif hale getirilmektedir. Soğutma işlemi durma sıcaklığı ise Denklem 3.2'ye göre belirlenmiştir.

$$S_{başla} = t_{maks} - \left(t_{maks} \times \frac{15}{100} \right) \quad (3.2)$$

Denklemden $S_{başla}$ soğutma sisteminin durma sıcaklık değerini, t_{maks} ise bitki iklim isteği maksimum sıcaklık değerini göstermektedir.

Havalandırma sistemi ise oransal nem ve iç ortam sıcaklığı olmak üzere 2 farklı sensör verisine dayalı olarak çalışmaktadır. Bitki iklim isteği maksimum nem değerine yaklaşıldığında havalandırma sistemi çalışmaktadır. Maksimum değere yaklaşım hızı ihmal edilerek oransal neme bağlı olarak havalandırma çalışma değeri Denklem 3.3'e, havalandırma durma değeri ise Denklem 3.4'e göre hesaplanmaktadır.

$$H_{RHbasla} = RH_{maks} - (RH_{maks} \times \frac{15}{100}) \quad (3.3)$$

$$H_{RHdur} = RH_{min} + (RH_{min} \times \frac{15}{100}) \quad (3.4)$$

Denklemlerde H_{RHdur} havalandırma sisteminin durma nem değerini, $H_{RHbasla}$ havalandırma sisteminin başlama nem değerini, RH_{min} ise bitki iklim isteği minimum oransal nem değerini göstermektedir. Havalandırma sistemi sıcaklık yükselmesine bağlı olarak da aktif hale getirilmektedir. Bu amaçla ihtiyaç duyulan başlama ve durma sıcaklık değerleri ise Denklem 3.5 ve Denklem 3.6'ya göre hesaplanmaktadır.

$$H_{Tbasla} = t_{maks} - (t_{maks} \times \frac{15}{100}) \quad (3.5)$$

$$H_{Tdur} = t_{min} + (t_{min} \times \frac{15}{100}) \quad (3.6)$$

Denklemlerde H_{Tdur} havalandırma sisteminin durma sıcaklık değerini, H_{Tbasla} havalandırma sisteminin başlama sıcaklık değerini, t_{maks} ise bitki iklim isteği maksimum sıcaklık değerini göstermektedir.

Nem gidericiler, iç ortam sıcaklığından daha düşük sıcaklığı sahip (çiğlenme noktası sıcaklığı) bir yüzey üzerinde nemim yoğunlaştırulup suyun faz değiştirmesi esasına göre çalışan sistemlerdir. Sistemin çalışma ve durma oransal nem değerleri Denklem 3.7 ve Denklem 3.8'e göre hesaplanmıştır.

$$NG_{RHbasla} = RH_{maks} - (RH_{maks} \times \frac{10}{100}) \quad (3.7)$$

$$NG_{RHdur} = RH_{min} + (RH_{min} \times \frac{30}{100}) \quad (3.8)$$

İç ortamda bitki yüzeylerinde nem yoğunlaşması olup olmayacağını belirlemek için iç ortam çiğlenme noktası sıcaklığının bilinmesi gerekmektedir. Tasarlanan sistemde bulunmamasına rağmen ileriki aşamalarda ek sensörlerin sisteme tanımlanması mümkün olabileceğinden, kontrol yazılımında çiğlenme noktası sıcaklık değeri hesaplama modülü eklenmiştir. Bu modül ile iç ortamda çiğlenme noktası sıcaklığını, ölçülen sıcaklık ve oransal nem değerlerinden giderek Denklem 3.9'a göre hesaplayabilmektedir (Sensirion, 2008).

$$AH(t, RH) = 216.7 \times \left[\frac{\frac{RH}{100\%} \times A \times \exp\left(\frac{m \times t}{T_n + t}\right)}{273.15 + t} \right] \quad (3.9)$$

Denklemden, t sıcaklık (°C), RH oransal nem (%) ve m , T_n ve A sabit değerler olmak üzere, m : 17.62, T_n : 243.12 °C ve A : 6.112 hPa'dır.

3.2.2. Aydınlatma kontrolü alt sistemi

İç ortam aydınlatma kontrolü bu alt sistem ile sağlanmaktadır. Sistemde vejetasyon dönemi boyunca bitkinin ihtiyaç duyacağı miktar ve şiddette yapay aydınlatma yapılabilmektedir. Veri tabanına bitki kaydı eklenirken fotoperiyodizm seçeneği ile uzun gün, kısa gün ve nötr olmak üzere üç farklı bitki aydınlatma isteği girilmektedir. Buna göre bitkinin fotoperiyodizm özelliğine göre aydınlatma süreleri Çizelge 3.2'de verilen sürelerde yapılmıştır.

Çizelge 3.2. Sistemde tanımlanan bazı bitkiler için fotoperiyot süreleri

Fotoperiyot	Bitkiler	Başlangıç	Bitiş	Toplam (saat)
Uzun gün	Marul, turp, dereotu, ıspanak,	06.00	22.00	16
Kısa gün	Kasımpatı, çilek, sütleğen	08.00	18.00	10
Nötr	Domates, kabak, fasulye	06.00	20.00	14

Işık miktarı (belirli bir zaman dilimindeki yoğunluk) ve kalite (spektral dağılım), bitki büyümesi üzerinde belirleyici etkiye sahiptir (Dorais, 2003).

Fotosentetik Aktif Radyasyon (PAR), 400 ve 700 nm arasında dalga boyları olarak kabul edilen, bitkilerin fotosentezi için faydalı dalga boylarında radyasyon tanımlamak için kullanılan bir kavramdır (Sager ve ark., 1997).

Daha kısa dalga boylarında, fotonlar çok fazla enerji taşır ve bitki hücrelerine zarar verebilir. Daha uzun dalga boylarındaki enerji ise, fotosentezi tetiklemek için yetersizdir (Benis ve ark., 2017).

PAR, fotosentez için doğal ve yapay veya ışığın mevcut olduğu her bir zaman periyodunda bir bitkiye ulaşan fotonların toplam sayısının kümülatif ölçümü olarak $mol.m^{-2}.gün$ cinsinden ifade edilir ve Günlük Işık İntegrali (DLI) olarak da adlandırılır (Benis ve ark., 2017). Bitkilerin optimum gelişimi için gerekli PAR değerleri Dorais (2003) tarafından verilmiştir.

Kontrollü ortamlarda, gün boyunca en uygun büyümeyi elde etmek ve bitkinin ihtiyaç duyduğu PAR değerine ulaşmak için mevcut gün ışığındaki PAR genellikle ilave yapay ışıkla (özellikle kış mevsiminde daha kısa olduğu zamanlarda) tamamlanır. Bu durumda bitkinin optimal büyüme koşulları için ihtiyaç duyduğu ek PAR miktarı aşağıdaki Denklem 3.10 ile hesaplanır (Benis ve ark., 2017).

$$PAR_s = PAR_D - PAR_C \quad (3.10)$$

PAR_C : bitkinin optimal büyümesi için gerekli ışık ($mol.m^{-2}/gün$)

PAR_D : bitkilerin gölgesinde ölçülen günışığı ($mol.m^{-2}/gün$)

PAR_s : bitkinin optimal büyüme koşullarına ulaşmak için gün ışığına ek olarak ihtiyaç duyulan ek yapay aydınlatmadır ($mol.m^{-2}.gün$).

PAR_D 'yi hesaplamak için, 1×1 m çözünürlüğe sahip, seçilen ürüne göre değişen ve yukarı doğru bakan aydınlatma sensörleri, bitki kanopisinin en üst noktasına yerleştirilir. Simülasyon, yılın her bir saati için, her sensör noktası için günışığı aydınlatma değerlerini (lüks olarak) üretir. Fotosentetik Foton Akı Yoğunluğu ($PPFD$) olarak adlandırılan ve $\mu mol/m^2/s$ olarak ifade edilen, her saniyedeki bir yüzey tarafından alınan 400-700 nm aralığında fotonların sayısını kullanarak PAR nicelleştirilir. Bu nedenle, mevcut gün ışığı aydınlatma değerlerini lux'ten $\mu mol/m^2/s$ 'ye dönüştürmek için Denklem (3.11) uygulanır (Benis ve ark., 2017).

$$PPFD = \text{Aydınlanma}(Illuminance) \times \frac{1 \text{ PPF gunışığı}}{k \text{ lux}} \quad (3.11)$$

Aydınlanma : günışığı aydınlatma değeridir (lx)

k : güneş ışığını fotosentetik foton akısını (PPF) lux'e dönüştürme sabiti (54) (Thimijan ve ark., 1983)

$PPFD$: Fotosentez Foton Akı Yoğunluğu ($\mu\text{mol.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$) 'dir.

Daha sonra, bu değerler PAR'a dönüştürülür:

$$PAR_D = PPF D \times \frac{86400 \text{ s}}{1 \text{ day}} \times \frac{1 \text{ mol}}{10^6 \mu\text{mol}} \quad (3.12)$$

PAR_D : her bir foto periyotta bitkiye ulaşan mevcut gün ışığından fotonların sayısıdır ($\text{mol.m}^{-2}/\text{gün}$).

Bitkilerin fotosentez için kullandıkları birim alana gelen güneş enerjisi şiddeti W.m^{-2} olarak ölçülmektedir. Ancak bu amaçla piyasada bulunan sensörler yüksek maliyetli olduğundan, tasarlanan sistemde düşük maliyetli ve aydınlatma şiddetini ölçen sensörler kullanılmıştır. Bu sebeple ihtiyaç duyulan PAR değerine karşılık gelen aydınlatma şiddeti lüks olarak ölçülmüş ve dönüşümler yapılmıştır. Bu hesaplama için ANVICA (2018) ise Denklem 3.13'e göre bir dönüşüm yapmaktadır.

$$Q = K.L \quad (3.13)$$

Q : Işık enerjisi (W.m^{-2})

K : $0.0147 \text{ W.m}^{-2} \text{ lm}$ (555 nm dalga boyunda)

L : Aydınlatma şiddeti (lüx)

Tasarlanan sistemde veri tabanında kaydedilmiş bitki istekleri doğrultusunda ihtiyaç duyulan aydınlatma şiddeti ve ışık dalga boyu değerlerine göre aydınlatma yapılmıştır. İç ortamda sensörlerle ölçülen aydınlatma şiddeti 5 dakika aralıklarla kaydedilmiştir.

3.2.3. Bitki besleme kontrolü alt sistemi

Bitki besleme alt sistemi, bitki istekleri doğrultusunda daha önceden hazırlanan stok çözeltilerin sulama suyuna veya bitki havuzuna verilmesini kontrol etmektedir. Araştırmada kullanılan marul bitkisi için hazırlanan stok çözeltilere ait içerik Çizelge 3.3'de verilmiştir.

Çizelge 3.3. Stok çözeltindeki elementler

Makro elementler	
Nitrik asit (%100)	% 22 N
Fosforik asit (%100)	% 32 P
Kalsiyum nitrat	% 16.9 Ca- % 11.9 N
Potasyum nitrat	% 38 K - % 13 N
Amonyum sülfat	% 21 N
Amonyum nitrat	% 33 N
Magnezyum nitrat	% 9 Mg - % 11 N
Mono potasyum fosfat (MKP)	% 28 K - % 23 P
Mono amonyum fosfat (MKP)	% 27 P - % 12 N
Potasyum sülfat	% 42 K - % 18 S
Magnezyum sülfat	% 10 Mg - % 13 S

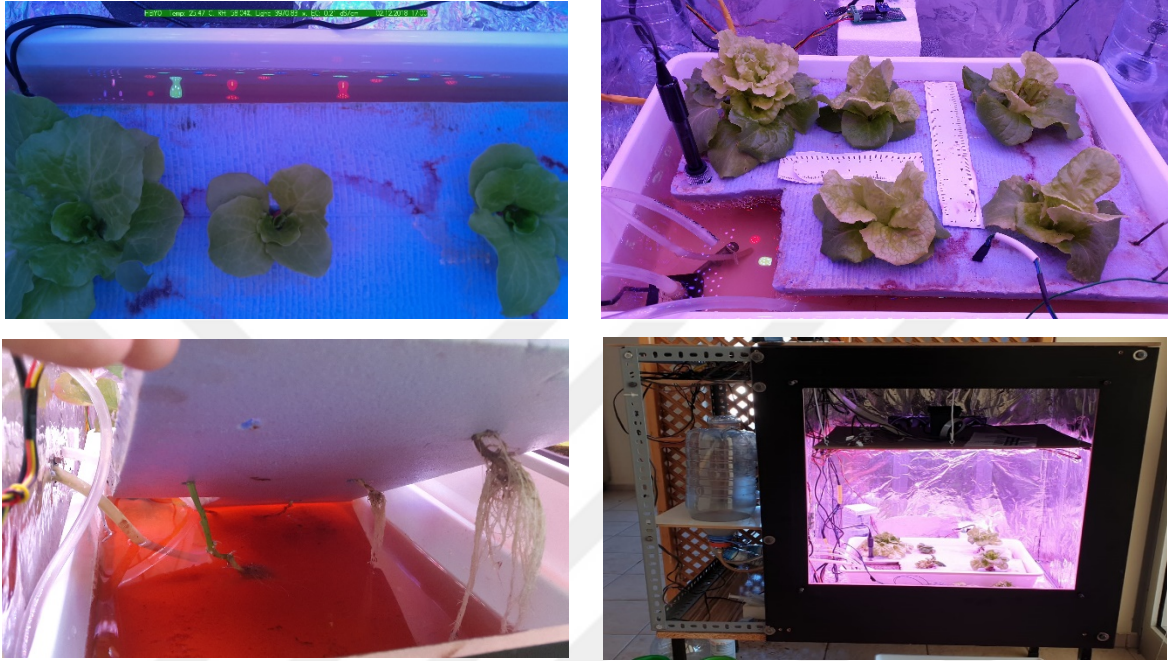
Havuz suyu içerisindeki besin miktarı elektriksel iletkenlik (EC) değerine göre tespit edilmiş ve bitki beslemesi bu EC değerine göre yapılmıştır. EC değeri isteği bitki gelişimine göre değişim göstermektedir. Veri tabanında önceden her bir bitki türü için tanımlanmış olan minimum ve maksimum EC değerleri ile vejetasyon süresi temel parametre olarak kullanılmıştır. Marul bitkisi için vejetasyon süresince haftalara göre uygulanan EC değerleri Çizelge 3.4’de verilmiştir.

Çizelge 3.4. Vejetasyon süresince besin çözeltisi EC değerleri

Dikimden sonraki haftalar	1-2	2-4	4-6	>6
EC (dS.cm ⁻¹)	0.6	0.8	1.0	1.2

4. BULGULAR VE TARTIŞMA

Tasarlanan sistem 31 Mart 2018 – 30 Mayıs 2018 tarihleri arasında test edilmiştir. Bu dönem içerisinde durgun su yetiştirme yöntemi ile sensörlerin veri okuma performansları gözlenmiştir. Şekil 4.1’de test sürecinde görüntüler verilmiştir.



Şekil 4.1. Tasarlanan sistemin test sürecinden görüntüler

Sensörlerden elde edilen veriler, HOBO U9 referans cihazı ile ölçülen verilerle karşılaştırılmıştır. Bu amaçla Bağımlı Örneklem (Paired Sample) T testi yapılmış ve sıcaklık ölçümlerine ilişkin sonuçlar Çizelge 4.1’de verilmiştir.

Çizelge 4.1 Sıcaklık ölçüm değerleri istatistiksel analiz sonuçları

	Ortalama	Std. Sapma	Std. Hata Ort.	95% Güven aralığında Fark		T	df	P
				Alt	Üst			
Referans ve SI7021	-0,02682	0,37880	0,02158	-0,06929	0,01565	-1,242	307	0,215
Referans ve BME280	-2,11747	0,68022	0,03876	-2,19374	-2,04120	-54,631	307	0,000

Çizelge 4.1 incelendiğinde sistemde kullanılan SI7021 sensörü ile referans sensör ölçümleri ortalamaları arasında önemli bir fark olmadığı görülmektedir ($P>0.05$). Çaylı ve ark. (2018) açık kaynak donanımlarla yaptığı çalışmada SI7021 sensörü için maksimum hatanın %2.5'den küçük olduğunu ve güvenle kullanılabileceğini bildirmiştir. Bulgular Çaylı ve ark. (2018) tarafından verilen sonuçlarla benzerlik göstermektedir.

Ancak BME280 sensörü ile yapılan ölçümlerin ortalamaları ile referans cihaz ölçümleri ortalamaları arasındaki farkın istatistiksel olarak önemli olduğu görülmektedir ($P<0.001$).

Oransal nem ölçüm değerleri ile referans cihaz ölçüm değerleri arasındaki ilişkilerde araştırılmış ve analiz sonuçları Çizelge 4.2'de verilmiştir.

Çizelge 4.2 Oransal nem sensör ölçüm değerleri istatistiksel analiz sonuçları

	Ortalama	Std. Sapma	Std. Hata Ort.	95% Güven aralığında Fark		T	df	P
				Alt	Üst			
Referans ve SI7021	0,00909	0,32554	0,01855	-0,02741	0,04559	0,490	307	0,624
Referans ve BME280	10,94234	1,47084	0,08381	10,77743	11,10726	130,563	307	0,000

Çizelge 4.2 incelendiğinde referans ölçüm ile SI7021 sensörü ölçümlerinin ortalamaları arasında arasındaki farkın önemsiz ($P>0.05$), BME280 sensörü ile yapılan ölçümler ile referans ölçüm ortalamaları arasındaki farkın ise önemli olduğu görülmektedir ($P<0.001$).

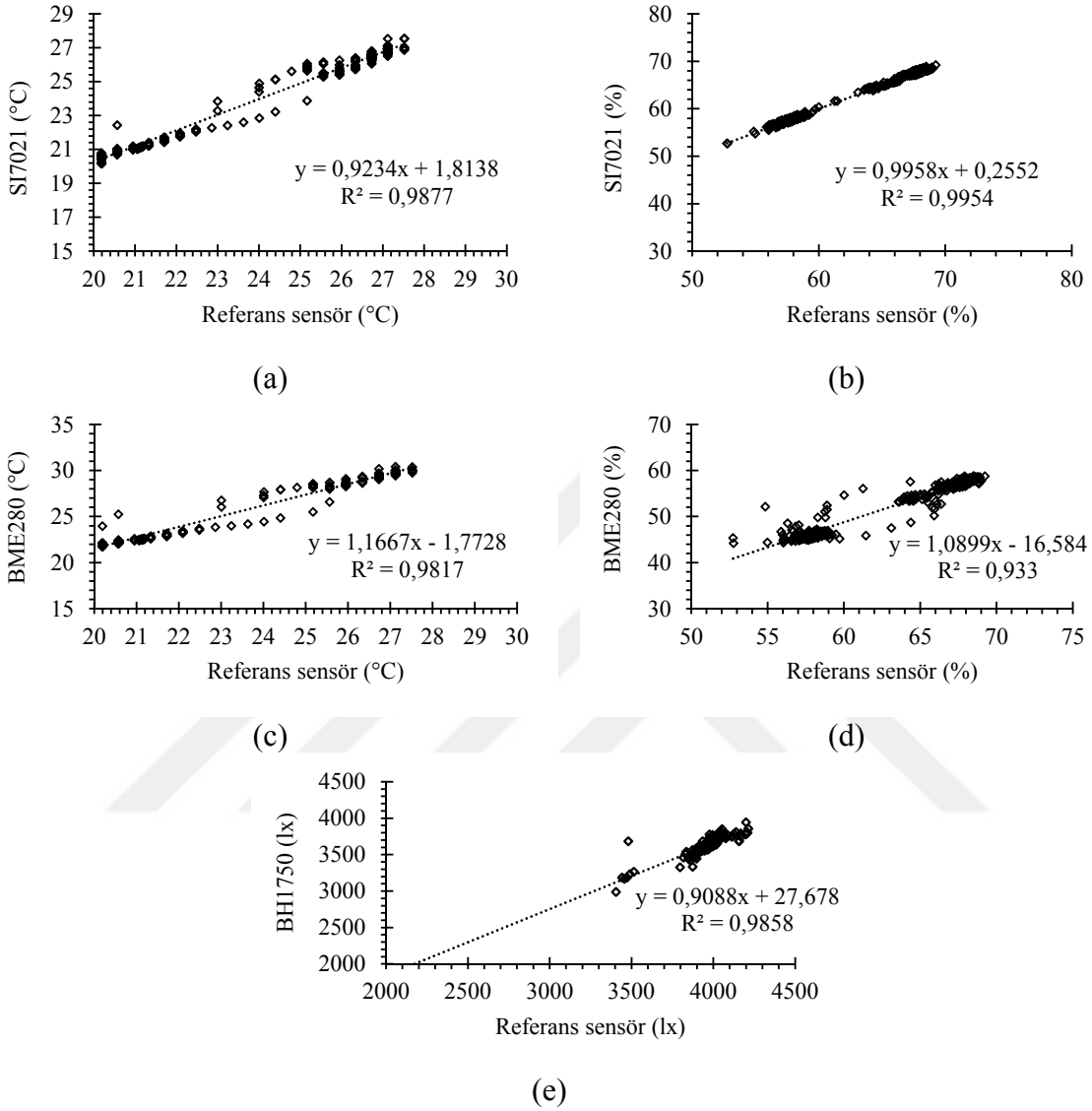
Aydınlatma şiddeti ölçümü için kullanılan sensör ile referans aydınlatma ölçüm sensörüne ait istatistik analiz sonuçları Çizelge 4.3'de verilmiştir.

Çizelge 4.3. Aydınlatma şiddeti ölçüm değerleri istatistiksel analiz sonuçları

	Ortalama	Std. Sapma	Std. Hata Ort.	95% Güven aralığında Fark		T	df	P
				Alt	Üst			
Referans ve BH1750	-143,39727	281,66346	16,04927	-174,97775	-111,81679	-8,935	307	0,000

Çizelge 4.3 incelendiğinde ölçülen değerler ile referans ölçüm değerleri ortalamaları arasındaki farkın da önemli olduğu görülmektedir ($P<0.001$).

Referans ve kullanılan sensörlere ait regresyon grafikleri de Şekil 4.2’de verilmiştir.



Şekil 4.2. Referans ve araştırma kullanılan sensör regresyon grafikleri

(a) SI7021 sıcaklık (b) SI7021 oransal nem (c) BME280 sıcaklık (d) BME280 oransal nem (e) BH1750 aydınlatma şiddeti

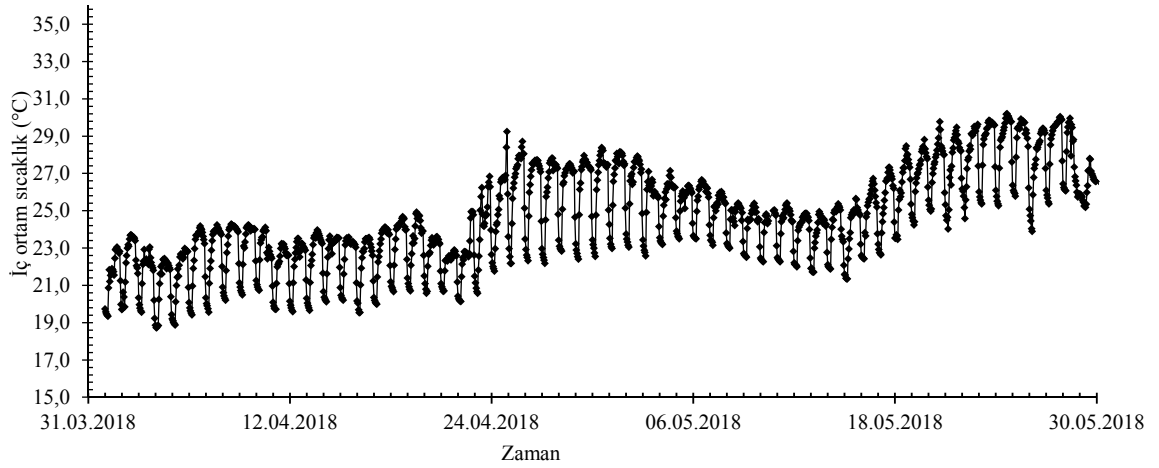
Şekil 4.2 incelendiğinde elde edilen grafikler ve R^2 değerleri ile sensörler arasındaki ilişkiler görülmektedir. Bağımlı örneklem T testinde referans sensör ile BME280 sensör sıcaklık ve oransal nem ölçüm değerleri ortalamaları arasındaki farkın önemli olmasına rağmen, aslında bu farkın çok fazla olmadığı regresyon grafiklerinden anlaşılmaktadır. Eğer istenirse grafikler üzerinde verilen denklemlerin kullanılması ile referans ölçüm sensörlerine göre bir kalibrasyon düzeltmesi de yapılabilir. Bu amaçla ihtiyaç duyulabilecek kalibrasyon denklemleri Çizelge 4.4’te verilmiştir.

Çizelge 4.4. Referans ve diğer sensörlere ait regresyon denklemleri ve R²

Sensörler	R ²	Denklem
SI7021 Sıcaklık	0,9877	$y = 0,9234x + 1,8138$
SI7021 Oransal Nem	0,9954	$y = 0,9958x + 0,2552$
BME280 Sıcaklık	0,9817	$y = 1,1667x - 1,7728$
BME 280 Oransal Nem	0,9330	$y = 1,0899x - 16,584$
BH1750 Aydınlatma Şiddeti	0,9858	$y = 0,9088x + 27,678$

Test süresi içinde sistemin veri ölçme ve kaydetme performansının değerlendirilmesi amacıyla kaydedilen veriler, tasarlanan sistemin raporlama modülü kullanılarak dışa aktarılmış ve Excel hesap tablosu programında grafikler oluşturulmuştur.

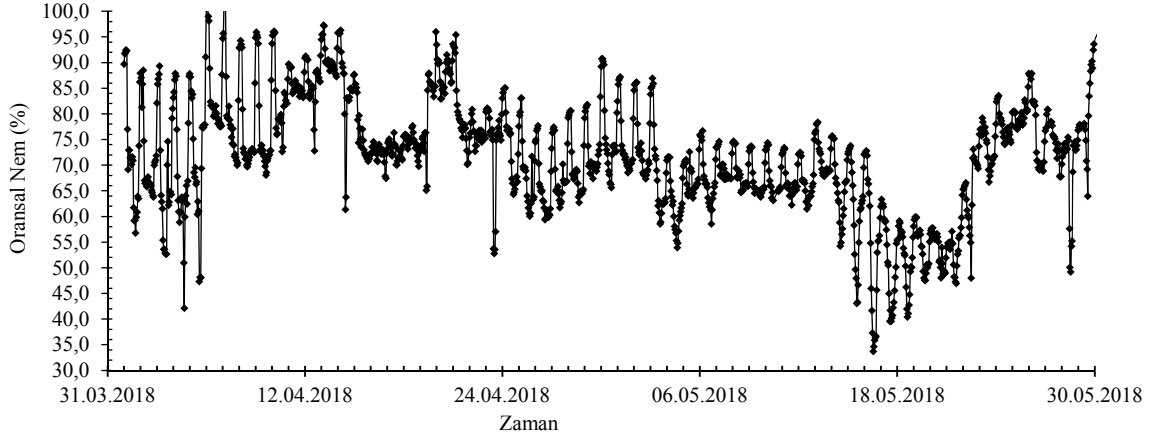
Şekil 4.3’de iç ortam sıcaklık ölçüm değerleri verilmiştir.



Şekil 4.3. Araştırma dönemi iç ortam sıcaklıkları

Şekil 4.3 incelendiğinde vejetasyon süresi boyunca ayarlanmış olan minimum 16 °C, maksimum 30 °C sıcaklık isteği değerlerinin aşılmadığı görülmektedir. Bu süre içerisinde sıcaklıklar mevsim koşullarına bağlı olarak artmış ancak belirlenen sınırlar içerisinde kalmıştır.

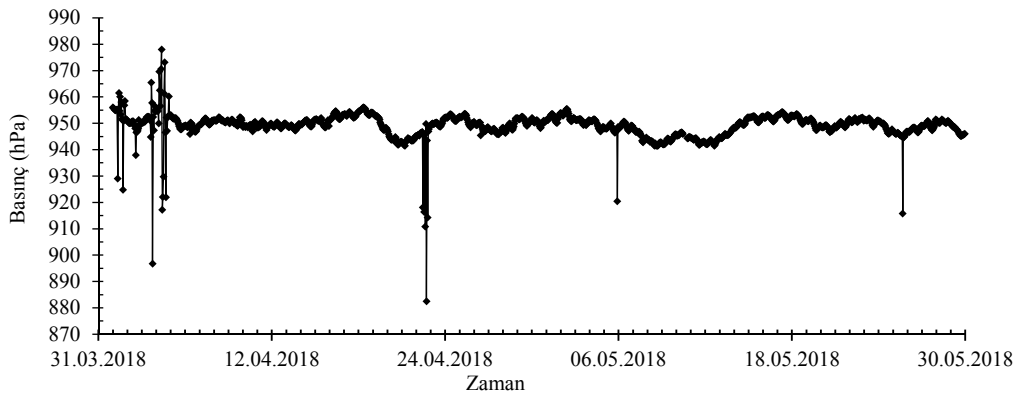
Şekil 4.4’de iç ortam oransal nem değerleri verilmiştir.



Şekil 4.4. Araştırma dönemi iç ortam oransal nem

Şekil 4.4 incelendiğinde sistemin çalıştığı dönemde veri kaydetme ve aktarımındaki herhangi bir kesinti olmadığı görülmektedir. Ölçüm değerlerinin, günlük doğal periyodik değişimlere göre bir salınım gösterdiği görülmektedir. Araştırma döneminin ilk günlerinde oransal nemin sistemde ayarlanmış aralıklar dışına çıkarak maksimum seviyelere ulaştığı görülmektedir. Bu da sistemdeki havalandırma fanlarının yüksek oransal nemin giderilmesi için yeterli olmadığını göstermektedir. Aynı şekilde araştırma döneminin son günlerine doğru oransal nem değerlerinin sistemde ayarlanan minimum değerinin altına düştüğü görülmektedir. Sistemde düşük oransal nem oluşması durumunda, ortamın nemlendirilmesi için daha etkin önlemlerin alınması gerektiği anlaşılmaktadır.

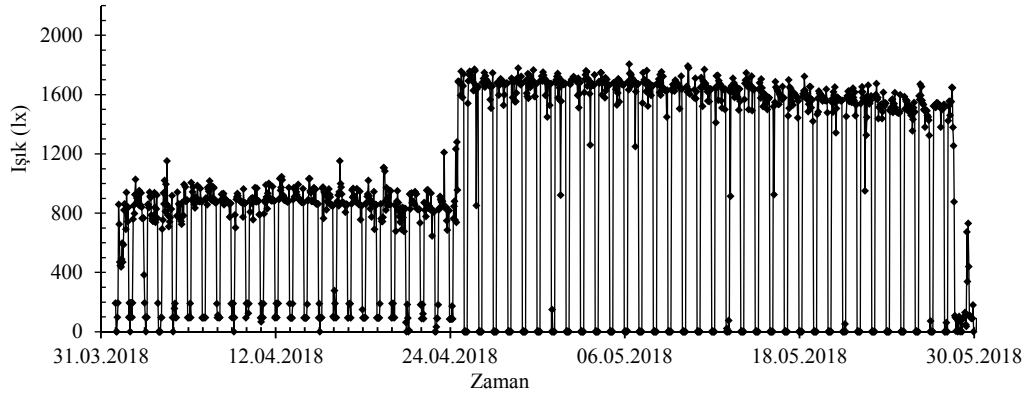
Şekil 4.5’de iç ortam hava basıncı değerleri verilmiştir. Basınç değerlerinde deniz seviyesi düzeltmesi yapılmadan gerçek basınç değerleri kullanılmıştır.



Şekil 4.5. İç ortam hava basıncı

İç ortam basınç grafiği incelendiğinde 945-960 hPa arasındaki aralıkta bir değişim gösterdiği görülmektedir. Ayrıca bazı ölçümlerde ani düşüşler görülmektedir. Bu ani düşüşlerin sebebi hatalı sensör okumaları olabilir. Bu değerlerin bazı istatistiksel yöntemlerle sistem veri tabanında kontrol edilmesi aynı zamanda hatalı okumaya neden olabilecek sistem sorunlarının araştırılması gerekmektedir.

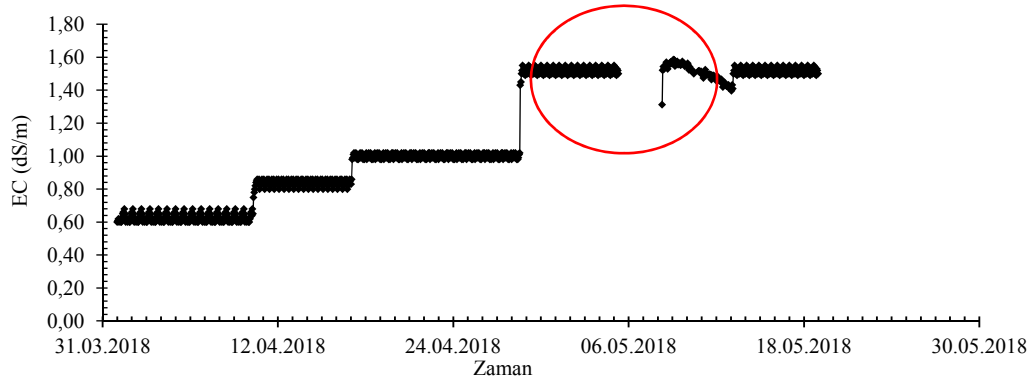
Şekil 4.6'de iç ortam aydınlatma şiddeti ölçüm sensöründen okunan ölçüm değerleri grafiklenmiştir.



Şekil 4.6. İç ortam aydınlatma şiddeti

İç ortamda LED aydınlatmanın bir dönem 800-1000 lx olarak yapıldığı, sonraki dönemde ise 1600-1800 lx aralığında yapıldığı görülmektedir. Sistemin çalıştırılmasından itibaren ilk bir aylık dönemde düşük seviyede yapılan aydınlatma sonucu bitki gelişiminin istenilen düzeyde olmadığı görülmüş ve sonrasında ilave LED donanımları ile aydınlatma şiddeti artırılmıştır. Aynı zamanda grafik üzerinde aydınlatmada foto periyod uygulandığı da görülmektedir.

Şekil 4.7'de bitki besin çözeltisi EC değerleri verilmiştir.



Şekil 4.7. Bitki besin çözeltisi EC değerleri

Şekil 4.7'deki EC değerleri grafiği incelendiğinde 0.6, 0.8, 1.0 ve 1.4 dS/m olmak üzere 4 farklı EC değeri tanımlandığı anlaşılmaktadır. Bitki gelişim dönemine göre sistemde tanımlanmış tarih aralıklarında istenen bu EC değerlerinin düzgün bir şekilde uygulandığı görülmektedir. Ancak 4'üncü dönemde 1.4 dS/m olarak set edilen EC değeri ölçümlerinde bir dönem veri alınmadığı bir dönemde istikrarsız veri alındığı görülmektedir. Bu dönemde sensörün bağlı olduğu mikroişlemci kartında, hatalı kablolama nedeniyle ortaya çıkan aşırı ısınma ile oluşan hasar ve sonrasında yeni kartın programlanarak kalibrasyonunun yapılması süreci, bu veri kesintisine ve istikrarsız veri toplanmasına neden olmuştur.



5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Yapılan bu çalışmada açık kaynak donanım ve yazılım araçları kullanılarak dış ortam iklim koşullarından bağımsız olarak kapalı ortamda hidroponik kültür ile bitkisel üretim yapılabilmesine olanak sağlayacak bir sistemin geliştirilmiştir. Geliştirilen sistem web ağı üzerinden kontrol edilerek veriler izlenebilmektedir. Algılayıcılarla ölçülen sıcaklık, oransal nem ve ışık değerleri geliştirilen yazılımlarla analiz edilerek, aydınlatma, sulama, bitki besleme, ortam hava kalitesi gibi çevresel koşullar bitki istekleri doğrultusunda kontrol edilebilmiştir.

Geliştirilen sistemde Python, PHP, MariaDB, GNU Linux işletim sistemi gibi açık kaynak yazılım araçları kullanılmıştır. Bu sayede sistem, yazılım lisanslama maliyeti açısından avantajlıdır. Açık kaynak donanım ve yazılımlar ile geliştirilen bu düşük maliyetli sistemle vejetasyon süresi boyunca bitki çevre koşullarının optimum düzeyde sağlanması mümkün olabilmektedir.

Aynı zamanda veri tabanında depolanan veriler, raporlama modülleri ile anlık ve belli zaman aralıklarında sistem web ara yüzü üzerinden görüntülenebilmekte, istenirse dışa aktarma seçeneği ile hesap tablosu yazılımlarına uyumlu olan CSV dosya formatında alınabilmektedir. Elde edilen bu veriler hem bitki büyüme ve gelişmesinin analiz edilmesinde hem de bilimsel çalışmalarda kullanılabilir.

Sistemde kullanılan sensörlerin ölçüm doğrulukları referans cihazlarla karşılaştırılmıştır. Karşılaştırma sonucunda bazı sensörlerin ölçüm doğrulukları arasında istatistiksel olarak farklılıklar bulunmuştur. Bu sebeple birden fazla sensör kullanılması veya kullanılan sensörlerin referans sensörlere göre kalibre edilmesi daha sağlıklı sonuçlar verecektir.

Bitki yetiştirme aşamasında en büyük sorunlardan birisi besin çözeltisinin pH değerinin yükselmesidir. Besin çözeltisi pH değerinin 6.0 değerine ayarlanmasından 2 gün sonra 8.0 değerine yükseldiği görülmüştür. Bu sebeple sistemde pH değeri ölçümleri sensörlerle yapılarak gerektiğinde asit çözeltisi tankından besin çözeltisine akış sağlayan bir alt sistem tasarlanmış ve sisteme eklenmiştir. Besin çözeltisi pH değerinin aynı zamanda belli aralıklarla el sensörleri ile de kontrol edilmesi önerilir.

Gelecekte sistemin tasarımı, geliştirilmesi ve test edilmesi aşamasında karşılaşılan bazı sorunların çözülmesi ve bazı yeni sensörlerin eklenmesi ile CO₂ gübrelemesi gibi ek işlevleri de yerine getirebilecektir.



KAYNAKLAR

- Adenle, A. A., Sowe, S. K., Parayil, G., Aginam, O., 2012. Analysis of open source biotechnology in developing countries: An emerging framework for sustainable agriculture. *Technology in Society*, 34(3), 256-269. doi: <https://doi.org/10.1016/j.techsoc.2012.07.004>
- Agovino, M., Casaccia, M., Ciommi, M., Ferrara, M., Marchesano, K., 2018. Agriculture, climate change and sustainability: The case of EU-28. *Ecological Indicators*. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2018.04.064>
- Allmaras, R. R., Wilkins, D., Burnside, O., Mulla, D., 2018. Agricultural technology and adoption of conservation practices *Advances in soil and water conservation* (pp. 99-158): Routledge.
- Altieri, M. A., 2018. *Agroecology: the science of sustainable agriculture*: CRC Press.
- ANVICA , S. D. (2018). Online Unit Converters. Retrieved 20.09.2018, 2018, from <https://www.translatorscafe.com/unit-converter/en/illumination/1-11/>
- Badami, M. G., Ramankutty, N., 2015. Urban agriculture and food security: A critique based on an assessment of urban land constraints. *Global Food Security*, 4, 8-15. doi: <https://doi.org/10.1016/j.gfs.2014.10.003>
- Baytorun, A., Dumke, C., Meyer, J., 1989. Closed System Greenhouse with Integrated Solar Desalination for Arid Regions/Ein geschlossenes Gewächshausssystem mit integrierter solarer Entsalzung für aride Gebiete. *Gartenbauwissenschaft*, 62-65.
- Baytorun, A. N., 2016. *Seralar, Sera Tipleri, Donanımı ve İklimlendirilmesi* (1 ed.). İstanbul: Nobel kitabevi.
- Benis, K., Reinhart, C., Ferrão, P., 2017. Development of a simulation-based decision support workflow for the implementation of Building-Integrated Agriculture (BIA) in urban contexts. *J Clean Prod*, 147, 589-602. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.01.130>
- Bogue, R., 2016. Robots poised to revolutionise agriculture. *Industrial Robot: An International Journal*, 43(5), 450-456. doi: doi:10.1108/IR-05-2016-0142
- Boulard, T., Roy, J.-C., Pouillard, J.-B., Fatnassi, H., Grisey, A., 2017. Modelling of micrometeorology, canopy transpiration and photosynthesis in a closed greenhouse using computational fluid dynamics. *Biosystems Engineering*, 158, 110-133. doi: <https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2017.04.001>
- Bradley, P., Marulanda, C., 2001. *SIMPLIFIED HYDROPONICS TO REDUCE GLOBAL HUNGER*.
- Çaylı, A., Akyüz, A., Baytorun, A. N., Boyacı, S., Üstün, S., Kozak, F. B., 2017. Control of Greenhouse Environmental Conditions with IOT Based Monitoring and Analysis System. *Turkish Journal of Agriculture-Food Science and Technology*, 5(11), 1279-1289.

- Çaylı, A., Akyüz, A., Baytorun, A. N., Üstün, S., Mercanlı, A. S., 2018. The Feasibility of a Cloud-Based Low-Cost Environmental Monitoring System Via Open Source Hardware in Greenhouses. *KSU J. Agric Nat*, 21(3), 323-338. doi: 10.18016/ksudobil.341513
- Date, S., 2012. Preparation and management of nutrient solution (written in Japanese: Baiyoueki no chousei, kanri). *All About Hydroponics*, 64-101.
- Deichmann, U., Goyal, A., Mishra, D., 2016. *Will digital technologies transform agriculture in developing countries?* : The World Bank.
- Despommier, D., 2013. Farming up the city: the rise of urban vertical farms. *Trends in biotechnology*, 31(7), 388-389.
- Dorais, M., 2003. *The use of supplemental lighting for vegetable crop production: light intensity, crop response, nutrition, crop management, cultural practices*. Paper presented at the Canadian Greenhouse Conference.
- Du, C.-J., Sun, D.-W., 2006. Learning techniques used in computer vision for food quality evaluation: a review. *Journal of food engineering*, 72(1), 39-55.
- Epstein, E., 1994. The anomaly of silicon in plant biology. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 91(1), 11-17. doi: 10.1073/pnas.91.1.11
- Ferreira, A. J. D., Guilherme, R. I. M. M., Ferreira, C. S. S., Oliveira, M. d. F. M. L. d., 2018. Urban agriculture, a tool towards more resilient urban communities? *Current Opinion in Environmental Science & Health*, 5, 93-97. doi: <https://doi.org/10.1016/j.coesh.2018.06.004>
- Gabriel, L., Johnson, D. M., 2004. Laboratory-scale evaluation of incandescent and compact florescent lamps for poultry house lighting. *Discovery, The Student Journal of Dale Bumpers College of Agricultural, Food and Life Sciences*, 5(1), 16-20.
- Game, I., Primus, R., 2015. Urban Agriculture. *State University of New York College of Forestry and Environmental Science*.
- Gay, J., Lessig, L. (2002). Free software, free society: selected essays of Richard M. Stallman. Retrieved 10.09.2018, from <http://www.gnu.org/philosophy/fsfs/rms-essays.pdf>
- Gheorghe, B., Păunescu, D., 2016. CURRENT ASPECTS REGARDING THE URBANIZATION, ITS INFLUENCE ON GLOBAL WARMING AND IMPORTANCE OF GREEN ROOFS IN LARGE URBAN AREAS.
- Gitelson, J., Tirranen, L., Borodina, E., Rygalov, V. Y., 1997. Impaired growth of plants cultivated in a closed system: possible reasons. *Advances in Space Research*, 20(10), 1927-1930.

- Goto, E., 2012. *Plant production in a closed plant factory with artificial lighting*. Paper presented at the VII International Symposium on Light in Horticultural Systems 956.
- Hardman, M., Larkham, P. J., 2014. The rise of the 'food charter': A mechanism to increase urban agriculture. *Land Use Policy*, 39, 400-402.
- Heuvelink, E., Bakker, M., Marcelis, L., Raaphorst, M., 2008. Climate and yield in a closed greenhouse. *Acta Horticulturae*, 801, 1083-1092.
- Hoe, N. S., 2006. *Breaking barriers: the potential of free and open source software for sustainable human development; a compilation of case studies from across the world*: Elsevier, New Delhi, IN.
- Inden, H., 2006. Nutrient uptake (written in Japanese: Youbun kyushu). *Saishin shisetsu engeigaku*, 35-40.
- Jao, R.-C., Fang, W., 2003. An adjustable light source for photo-phyto related research and young plant production. *Appl Eng Agric*, 19(5), 601.
- Karimi, V., Karami, E., Keshavarz, M., 2018. Climate change and agriculture: Impacts and adaptive responses in Iran. *Journal of Integrative Agriculture*, 17(1), 1-15. doi: [https://doi.org/10.1016/S2095-3119\(17\)61794-5](https://doi.org/10.1016/S2095-3119(17)61794-5)
- Koç, C., Vatandaş, M., Koç, A. B., 2009. LED Aydınlatma Teknolojisi ve Tarımda Kullanımı.
- Kolditz, O., Bauer, S., Bilke, L., Böttcher, N., Delfs, J.-O., Fischer, T., Görke, U. J., Kalbacher, T., Kosakowski, G., McDermott, C., 2012. OpenGeoSys: an open-source initiative for numerical simulation of thermo-hydro-mechanical/chemical (THM/C) processes in porous media. *Environmental Earth Sciences*, 67(2), 589-599.
- Kozai, T., 2013. Resource use efficiency of closed plant production system with artificial light: Concept, estimation and application to plant factory. *Proceedings of the Japan Academy, Series B*, 89(10), 447-461.
- Kozai, T., Chun, C., Ohyama, K., 2002. *Closed systems with lamps for commercial production of transplants using minimal resources*. Paper presented at the XXVI International Horticultural Congress: Nursery Crops; Development, Evaluation, Production and Use 630.
- Maia, A. G., Miyamoto, B. C. B., Garcia, J. R., 2018. Climate Change and Agriculture: Do Environmental Preservation and Ecosystem Services Matter? *Ecological Economics*, 152, 27-39. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2018.05.013>
- Martellozzo, F., Landry, J., Plouffe, D., Seufert, V., Rowhani, P., Ramankutty, N., 2014. Urban agriculture: a global analysis of the space constraint to meet urban vegetable demand. *Environmental Research Letters*, 9(6), 064025.
- Maruo, T., 2013. Response to environmental conditions and metabolism of plants (written in Japanese: Kankyo hannou to taisha). *Yasai engeigaku no kiso*, 45-47.

- McFate, K. L., 1989. *Electrical energy in agriculture*: Elsevier Science Publishers.
- Megep. 2008. *Hidroponik Sistemler*. Ankara: T.C. Milli Eğitim Bakanlığı.
- Miller, K. W., Voas, J., Costello, T., 2010. Free and open source software. *It Professional*, 12(6), 14-16.
- Nelson, G. C., Rosegrant, M. W., Koo, J., Robertson, R., Sulser, T., Zhu, T., Ringler, C., Msangi, S., Palazzo, A., Batka, M., 2009. *Climate change: Impact on agriculture and costs of adaptation* (Vol. 21): Intl Food Policy Res Inst.
- Neset, T.-S., Wiréhn, L., Opach, T., Glaas, E., Linnér, B.-O., 2018. Evaluation of indicators for agricultural vulnerability to climate change: The case of Swedish agriculture. *Ecological Indicators*. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2018.05.042>
- Olympios, C., 1999. Overview of soilless culture: advantages, constraints and perspectives for its use in Mediterranean countries. *Cahiers Options Méditerranéennes*, 31(307-324), 2.
- Opdam, J., Schoonderbeek, G., Heller, E., De Gelder, A., 2004. *Closed greenhouse: a starting point for sustainable entrepreneurship in horticulture*. Paper presented at the International Conference on Sustainable Greenhouse Systems-Greensys2004 691.
- Orhanoglu, G., Colak, G., Catak, E., Ardic, M., 2011. The effects of day length changes upon several germination parameters in several culture plants. *Biological Diversity and Conservation*, 4(2), 67-80.
- OSHW. (2018). Open Source Hardware Association. Retrieved 05.07.2018, from <https://www.oshwa.org/about/>
- Pardossi, A., Incrocci, L., Salas, M. C., Gianquinto, G., 2017. Managing Mineral Nutrition in Soilless Culture *Rooftop Urban Agriculture* (pp. 147-166): Springer.
- Pearson, C. J., 2007. Regenerative, Semiclosed Systems: A Priority for Twenty-First-Century Agriculture. *BioScience*, 57(5), 409-418. doi: 10.1641/B570506
- Popp, J., Pető, K., Nagy, J., 2013. Pesticide productivity and food security. A review. *Agronomy for Sustainable Development*, 33(1), 243-255. doi: 10.1007/s13593-012-0105-x
- Ratcliffe, M. (2015). PPM Meter. Retrieved 01.05.2018, from <https://hackaday.io/project/7008-fly-wars-a-hackers-solution-to-world-hunger/log/24646-three-dollar-ec-ppm-meter-arduino>
- Resh, H. M., 2016. *Hydroponic food production: a definitive guidebook for the advanced home gardener and the commercial hydroponic grower*: CRC Press.
- Rosenzweig, C., Gaffin, S., Parshall, L., 2006. Green roofs in the New York metropolitan region: Research report. *Columbia University Center for Climate Systems Research and NASA Goddard Institute for Space Studies*. New York, 1-59.

- Rosenzweig, C., Liverman, D., 1992. Predicted effects of climate change on agriculture: A comparison of temperate and tropical regions. *Dalam Global Climate Change: Implications, Challenges, and Mitigation Measures. Dalam SK Majumdar (Ed.) The Pennsylvania Academy of Sciences. Pennsylvania*, 342-361.
- Sager, J. C., McFarlane, J. C., 1997. Radiation, p. *Plant Growth Chamber Handbook*(340), 1-29.
- Savinko, N., 2015. The feasibility of constructing or installing a vertical farm in Suurpelto.
- Savvas, D., Ntatsi, G., Rodopoulou, M., Goumenaki, F., 2013. *Nutrient uptake concentrations in a cucumber crop grown in a closed hydroponic system under Mediterranean climatic conditions as influenced by irrigation schedule*. Paper presented at the International Symposium on Growing Media and Soilless Cultivation 1034.
- Sensirion. (2008). Humidity at a Glance Most Relevant Equations with Sample Code. Retrieved 07.04.2017, from <http://bit.ly/2ommxz3>
- Seto, K. C., Ramankutty, N., 2016. Hidden linkages between urbanization and food systems. *Science*, 352(6288), 943-945.
- Shamshiri, R., Kalantari, F., Ting, K., Thorp, K. R., Hameed, I. A., Weltzien, C., Ahmad, D., Shad, Z. M., 2018. Advances in greenhouse automation and controlled environment agriculture: A transition to plant factories and urban agriculture. *International Journal of Agricultural and Biological Engineering*, 11(1), 1-22.
- Smith, P., Gregory, P. J., 2013. Climate change and sustainable food production. *Proceedings of the Nutrition Society*, 72(1), 21-28.
- Son, J. E., Kim, H. J., Ahn, T. I., 2016. Chapter 17 - Hydroponic Systems. In T. Kozai, G. Niu M. Takagaki (Eds.), *Plant Factory* (pp. 213-221). San Diego: Academic Press.
- Sowe, S., 2011. Free and open source software sustainability and innovation: Lessons learnt from sub-saharan african. *Proceedings of International Conference on ICT for Africa*, 199-203.
- Stallman, R., 2002. *Free software, free society: Selected essays of Richard M. Stallman*: Lulu. com.
- Şimşek, A., Atilla, G., 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.
- Terabayashi, S., Asaka, T., Tomatsuri, A., Date, S., Fujime, Y., 2004. Effect of the limited supply of nitrate and phosphate on nutrient uptake and fruit production of tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill) in hydroponic culture. *J. Japan. Soc. Hort. Sci.*, 73, 195-200.
- Thimijan, R. W., Heins, R. D., 1983. Photometric, radiometric, and quantum light units of measure: a review of procedures for interconversion. *Hortscience*, 18(6), 818-822.

- Tilman, D., Cassman, K. G., Matson, P. A., Naylor, R., Polasky, S., 2002. Agricultural sustainability and intensive production practices. *Nature*, 418, 671. doi: 10.1038/nature01014
- Ting, K., Lin, T., Davidson, P. C., 2016. Integrated urban controlled environment agriculture systems *LED Lighting for Urban Agriculture* (pp. 19-36): Springer.
- Tsukagoshi, S., Shinohara, Y., 2016a. Chapter 11 - Nutrition and Nutrient Uptake in Soilless Culture Systems. In T. Kozai, G. Niu M. Takagaki (Eds.), *Plant Factory* (pp. 165-172). San Diego: Academic Press.
- Tsukagoshi, S., Shinohara, Y., 2016b. Nutrition and Nutrient Uptake in Soilless Culture Systems *Plant Factory* (pp. 165-172): Elsevier.
- Urrestarazu, M., 2013. *STATE OF THE ART AND NEW TRENDS OF SOILLESS CULTURE IN SPAIN AND IN EMERGING COUNTRIES*.
- Vadiee, A., Martin, V., 2013. Thermal energy storage strategies for effective closed greenhouse design. *Applied Energy*, 109, 337-343. doi: <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2012.12.065>
- Van Os, E., 1999. Nutrient cleaning? the Dutch approach. *Practical Hydroponics and Greenhouses*, 7-9.
- Wackernagel, M., Rees, W., 1998. *Our ecological footprint: reducing human impact on the earth*: New Society Publishers.
- Wagena, M. B., Easton, Z. M., 2018. Agricultural conservation practices can help mitigate the impact of climate change. *Sci Total Environ*, 635, 132-143. doi: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.04.110>
- Yang, X., Feng, L., Zhao, L., Liu, X., Hassani, D., Huang, D., 2018. Effect of glycine nitrogen on lettuce growth under soilless culture: a metabolomics approach to identify the main changes occurred in plant primary and secondary metabolism. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 98(2), 467-477.
- Yenigül, S. B., 2016. Büyükşehirlerde Tarımsal Alanların Korunmasında Kentsel Tarım ve Yerel Yönetimlerin Rolü. *Megaron*, 11(2), 291-299.

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Adı, soyadı : Emir Hüseyin KAYA
Uyruğu : T.C.
Doğum tarihi ve yeri : 10.10.1989, Kahramanmaraş
Medeni hali : Bekâr
Telefon : 0 (344) 280 16 38
Faks : 0 (344) 280 16 38
E-posta : emirhuseyinkaya@hotmail.com

Eğitim

Derece	Eğitim Birimi	Mezuniyet tarihi
Yüksek lisans	KSÜ /Biyosistem Müh. Bölümü	2019
Lisans	KSÜ/ Biyosistem Müh. Bölümü	2015

İş Deneyimi

Yıl	Yer	Görev
2018-	Ada Bilişim Tasarım Peyzaj	Yönetim Kurulu Başkanı

Yabancı Dil

İngilizce

Hobiler

Mühendislik bilimleri, Basketbol