

**T.C.
SAKARYA UYGULAMALI BİLİMLER ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ**

**OTOMATİK KALİBRASYONLU ELEKTRO-MEKANİK ONLINE
PH ve EC ÖLÇER SİSTEM TASARIMI VE GERÇEKLEMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Mehmet Ali HAZAR

**Enstitü Anabilim Dalı : ELEKTRİK-ELEKTRONİK
MÜHENDİSLİĞİ**
Tez Danışmanı : Dr. Öğr. Üyesi Selçuk COŞKUN

Ocak 2024

T.C.
SAKARYA UYGULAMALI BİLİMLER ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

OTOMATİK KALİBRASYONLU ELEKTRO-MEKANİK ONLİNE
PH VE EC ÖLÇER SİSTEM TASARIMI VE GERÇEKLEMESİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Mehmet Ali HAZAR

Enstitü Anabilim Dalı : ELEKTRİK-ELEKTRONİK
MÜHENDİSLİĞİ

Bu tez 19/01/2024 tarihinde aşağıdaki jüri üyeleri tarafından oy birliği ile kabul edilmiştir.

JÜRİ	BAŞARI DURUMU
Jüri Başkanı: Dr. Öğr. Üyesi Selçuk COŞKUN	BAŞARILI
Üye: Prof. Dr. İhsan PEHLİVAN	BAŞARILI
Üye: Doç. Dr. Muhammed Kürşad UÇAR	BAŞARILI

BEYAN

Tez içindeki tüm verilerin akademik kurallar çerçevesinde tarafımdan elde edildiğini, görsel ve yazılı tüm bilgi ve sonuçların akademik ve etik kurallara uygun şekilde sunulduğunu, kullanılan verilerde herhangi bir tahrifat yapılmadığını, başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunulduğunu, tezde yer alan verilerin bu üniversite veya başka bir üniversitede herhangi bir tez çalışmasında kullanılmadığını beyan ederim.

Mehmet Ali HAZAR

19/01/2024

TEŞEKKÜR

Yüksek lisans eğitiminin boyunca değerli bilgi ve deneyimlerinden yararlandığım, her konuda bilgi ve desteğini almaktan çekinmediğim, araştırmanın planlanmasından yazılmasına kadar tüm aşamalarında yardımlarını esirgemeyen, teşvik eden, aynı titizlikte beni yönlendiren değerli danışman hocam. Dr. Öğr. Üyesi Selçuk COŞKUN'na teşekkürlerimi sunarım.

Laboratuvar olanakları konusunda ve çalışmanın bütün süreçlerinde anlayış ve yardımlarını esirgemeyen Sakarya Uygulamalı Bilimler Üniversitesi Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölüm Başkanı Prof. Dr. İhsan PEHLİVAN'na teşekkür ederim.

Ayrıca bu çalışmanın maddi açıdan desteklenmesine olanak sağlayan Sakarya Uygulamalı Bilimler Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri (BAP) Komisyon Başkanlığına (Proje No: 150-2023) teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

TEŞEKKÜR	i
İÇİNDEKİLER	ii
KISALTMALAR	iv
SİMGELER	v
TABLolar LİSTESİ.....	vi
ŞEKİLLER LİSTESİ.....	vii
ÖZET.....	viii
ABSTRACT	ix

BÖLÜM 1.

GİRİŞ	1
1.1. Kalibrasyonun Önemi	3
1.2. Literatür Araştırması	7
1.3. Tezin Amacı	9

BÖLÜM 2.

SİSTEM TASARIM BİLEŞENLERİ.....	11
2.1. Mekanik Sistem Bileşenleri	11
2.1.1. Mekanik ana gövdeler	11
2.1.2. Hareket mekanizmaları	11
2.1.3. Step motorlar	12
2.1.4. Kalibrasyon ve ölçüm istasyonları	14
2.2. Elektronik Sistem Bileşenleri	15
2.2.1. PH Metre	15
2.2.1.1. pH metre çeşitleri ve kullanım alanları	16
2.2.2. EC Metre	17
2.2.2.1. EC metre çeşitleri ve kullanım alanları	18
2.2.3. Sıcaklık Sensörü	19
2.2.4. Nem Sensörü	20
2.2.5. CO2 Sensörü	22
2.2.6. Su Akış Sensörü	23
2.2.7. Ağırlık Sensörü	24
2.2.8. Proximity Sensör	26
2.2.9. Step Motor Sürücü	27

2.3. Bilgisayar Sistem Bileşenleri	29
2.3.1. Tek kart bilgisayarlar	29
2.3.2. Kameralar	30
BÖLÜM 3.	
MATERYAL VE YÖNTEM.....	32
3.1. Sistemin Mekanik Tasarımı	33
3.2. Sistemin Elektronik Tasarımı	35
3.2.1. Pic18f45k22 tabanlı elektronik kontrol kartı	36
3.2.2. ESP32 tabanlı elektronik kontrol kartı	39
3.2.3. Nextion HMI insan makine arayüzü	43
3.3. Sistemin Bilgisayar Programı Tasarımı	45
BÖLÜM 4.	
SONUÇ VE ÖNERİLER.....	48
4.1. Sonuçlar	48
4.2. Öneriler	50
KAYNAKLAR	51

KISALTMALAR

ARM	: Acorn RISC Machine
CAD	: Computer-Aided Design
CO ₂	: Karbondioksit
°C	: Santigrat Derece
DC	: Direct Current
EC	: Elektriksel Kondüktivite
ESP	: Extra Sensory Perception
GB	: Gigabayt
HDMI	: High Definition Multimedia Interface
HEVC	: High Efficiency Video Coding
Hz	: Hertz
IoT	: Internet of Things
IR	: Infrared
kg	: Kilogram
mA	: MiliAmper
mm	: Milimetre
MPa	: Megapascal
Nm	: Newton Metre
NTC	: Negative Temperature Coefficient
PIC	: Peripheral Interface Controller
PTC	: Positive Temperature Coefficient
PWM	: Pulse Width Modulation
pH	: Potansiyel Hidrojen
s	: Saniye
UART	: Universal Asynchronous Receiver Transmitter
USB	: Universal Serial Bus
V	: Voltaj

SİMGELER

Mk	: Kalibrasyon eğrisi
pHr	: Referans sıvısının pH değeri
Vr	: Referans değeri ölçülürken elektrodun ölçtüğü gerilim
pHg	: Ölçülen pH değeri
Vg	: Elektrodun ölçtüğü değer
Nk	: Kalibrasyon denklemi
$pH1$: 2. referans sıvısının pH değeri
$pH2$: 2. referans sıvısının pH değeri
$V1$: 1. referans sıvısı ölçülürken elektrotların ölçtüğü gerilim
$V2$: 2. referans sıvısı ölçülürken elektrotların ölçtüğü gerilim
$V0$: Elektrodun sıcaklığa bağlı standart gerilimi
R	: Genel gaz sabiti
T	: Kelvin cinsinden sıcaklık
Z	: İyonik yük
F	: Faraday sabiti
Ma	: Ölçüm iyonu aktivitesi

TABLÖLAR LİSTESİ

Tablo 4.1 : Kalibrasyon öncesi ve kalibrasyon sonrası pH ve EC değerleri..... 50



ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 1.1: Topraksız Tarım ile Marul Yetiştiriciliği	2
Şekil 1.2: Topraksız Tarım pH ve EC Otomasyon Sistemi Örneği	3
Şekil 1.3: Tek Noktalı Kalibrasyon Eğrisi	4
Şekil 1.4: Çift Noktalı Kalibrasyon Eğrisi	5
Şekil 1.5: Sıcaklığa Göre Elektrotlarda Ölçülen Değerin Değişimi	6
Şekil 1.6: pH Değerinin Sıcaklığa Göre Değişimi	7
Şekil 2.1: Sigma Profilden Yapılmış Gövde Resim Değişecek	11
Şekil 2.2: 2 Eksen Hareket Mekanizması	12
Şekil 2.3: Nema 17 Step Motor	14
Şekil 2.4: Tank Tipi pH Metre	17
Şekil 2.5: Tank Tipi EC Metre	19
Şekil 2.6: DS18B20 Su Geçirmez Sıcaklık Sensörü	20
Şekil 2.7: AM2315 Nem ve Sıcaklık Sensörü	21
Şekil 2.8: MH-Z19 Karbondioksit Sensörü	23
Şekil 2.9: YF-S201 Su Akış Sensörü	24
Şekil 2.10: 1kg Yük Hücresi	26
Şekil 2.11: SN04-N NPN Proximity Sensör	27
Şekil 2.12: TB6600 4A Step Motor Sürücü	29
Şekil 2.13: Raspberry Pi 4 Tek Kart Bilgisayar	30
Şekil 2.14: Raspberry Pi HQ Kamera	31
Şekil 3.1: Sistemin Genel Blok Diyagramı	32
Şekil 3.2 Mekanik Sitemin Üç Boyutlu Görseli	35
Şekil 3.3: Pic18f45k22 Tabanlı Elektronik Kart Blok Diyagramı	36
Şekil 3.4: Pic18f45k22 Tabanlı Elektronik Kart 3D Tasarımı	37
Şekil 3.5: Pic18f45k22 Tabanlı Elektronik Kart	37
Şekil 3.6: PIC18F45K22 Mikrodenetleyici Akış Diyagram	38
Şekil 3.7: PIC18F45K22 Mikrodenetleyici Yazılımı	39
Şekil 3.8: ESP32 Tabanlı Elektronik Kart Blok Diyagramı	40
Şekil 3.9: ESP32 Tabanlı Elektronik Kart 3D Tasarımı	41
Şekil 3.10: ESP32 Tabanlı Elektronik Kart	41
Şekil 3.11: ESP32 Mikrodenetleyici Akış Diyagramı	42
Şekil 3.12: ESP32 Mikrodenetleyici Yazılımı	43
Şekil 3.13: HMI Ekran Akış Diyagramı	44
Şekil 3.14: HMI Ekran Arayüzü	45
Şekil 3.15: Bilgisayar Programı Akış Diyagramı	46
Şekil 3.16: Bilgisayar Programı Yazılımı	47
Şekil 4.1: Elektro-Mekanik Cihaz	49

OTOMATİK KALİBRASYONLU ELEKTRO-MEKANİK ONLİNE PH VE EC ÖLÇER SİSTEM TASARIMI VE GERÇEKLEMESİ

ÖZET

Artan dünya nüfusu, iklim değişikliği ve toprak verimsizliği gibi etkenler, tarım alanlarının verimini olumsuz etkileyerek gıda üretimini zorlaştırmaktadır. Bu sorunlar, topraksız tarıma olan ilgiyi, gün geçtikçe arttırmaktadır. Topraksız tarım, bitki köklerine su ve besin elementleri sağlamak için toprak kullanılmadan yapılan bir üretim yöntemidir. Akansu kültürü, bitkilerin su içerisinde yetiştirildiği bir topraksız tarım çeşididir. Bu yöntemde, çözeltinin pH ve EC değerleri sürekli olarak izlenerek bitkiye uygun değerlerde tutulmalıdır.

Mevcut topraksız tarım uygulamalarında genellikle sıvı içerisinde bulunan tank veya hat tipi pH ve EC metreler kullanılarak ölçümler yapılmaktadır. pH ve EC metreler, doğru ölçüm sağlamak için her ölçüm öncesi kalibre edilmelidir. Mevcut uygulamalarda çoğunlukla, kalibrasyon işlemi çalışanlar tarafından yapılmaktadır. Bu durum, kalibrasyon sıklığının azalması, kalibrasyon sıvılarının elektrotlar temizlenmeden kullanılması sonucu değerlerinin değişmesi, kalibrasyon işleminin düzgün yapılmaması gibi ihtimallerin doğmasına ortam oluşturmaktadır. Ek olarak elektrotların sürekli olarak çözelti içinde bulunması, kullanım ömürlerinin hızlı bir şekilde azalmasına sebep olmaktadır.

Yapılan çalışmada, manuel kalibrasyonlu cihazlara alternatif olarak tamamen otomatik iki nokta kalibrasyonlu, çözelti hattına paralel bağlanarak sürekli pH ve EC ölçümü yapabilen, programlanabilir dijital çıkışlara sahip elektromekanik bir sensör tasarlanmıştır. Ayrıca, ürün yaprak rengindeki anormal değer değişimlerini, pH ve EC değerleri ile eşleştirerek üreticiyi bilgilendiren bir görüntü işleme tabanlı sistem geliştirilmiştir.

Tasarlanan cihaz, mekanik ve elektronik sistemlerden oluşmaktadır. Mekanik sistem, alüminyum malzemeden üretilmiş ana gövde, step motor kontrollü hareketli mekanizma, kalibrasyon ve ölçüm işlemleri için 6 farklı istasyondan oluşmaktadır. Elektronik sistem, PIC18f45k22 ve ESP32 kontrollü elektronik kartları ve HMI ekranı içermektedir.

Gerçekleştirilen sistem, otomatik kalibrasyon özelliği ile doğruluğu yüksek kararlı ölçümlere olanak sağlamış, belirtilen periyotlarda ölçüm yapıp, bekleme anlarında elektrotları ideal bekleme sıvılarında konumlandığı için elektrotların kullanım ömürlerini arttırmıştır. Ek olarak ortamın nem, sıcaklık ve karbondioksit ölçümlerini yaparak kullanıcıları olası olumsuz durumlar için bilgilendirmesi sağlanmıştır.

Anahtar Kelimeler: Topraksız tarım, Akıllı tarım, Dijital tarım, pH, EC, Kalibrasyon, Mikrodenetleyici.

DESIGN AND IMPLEMENTATION OF AN AUTOMATIC CALIBRATED ELECTROMECHANICAL ONLINE PH AND EC METER SYSTEM

ABSTRACT

The increasing global population, coupled with factors such as climate change and soil infertility, adversely affects the productivity of agricultural areas, making food production more challenging. These challenges have progressively heightened interest in soilless agriculture. Soilless farming is a production method that provides water and nutrient elements to plant roots without the use of soil. Hydroponic culture is a type of soilless agriculture where plants are cultivated in water. In this method, the pH and EC values of the solution must be continuously monitored and maintained at suitable levels for the plant.

In current soilless farming applications, measurements are typically taken using tank or inline pH and EC meters immersed in liquid. pH and EC meters must be calibrated before each measurement to ensure accurate readings. In existing practices, calibration is often performed by operators. This situation creates the possibility of uncertainties such as reduced calibration frequency, changes in values due to the use of uncleaned electrodes with calibration solutions, and improper calibration procedures. Additionally, the continuous immersion of electrodes in the solution leads to a rapid decrease in their lifespan.

In the conducted study, an electromechanical sensor has been designed as an alternative to manually calibrated devices. This sensor features fully automatic two-point calibration, continuous measurement of pH and EC connected in parallel to the solution line, and programmable digital outputs. Additionally, an image processing-based system has been developed to inform the producer about abnormal changes in product leaf color by correlating them with pH and EC values.

The designed device consists of mechanical and electronic systems. The mechanical system comprises a main body made of aluminum, a step motor-controlled movable mechanism, and six different stations for calibration and measurement processes. The electronic system includes PIC18f45k22 and ESP32-controlled electronic boards and an HMI screen.

The implemented system, with its automatic calibration feature, enables high-precision and stable measurements. It conducts measurements at specified intervals and positions the electrodes in ideal storage solutions during idle times, thereby increasing the lifespan of the electrodes. Additionally, the system measures ambient humidity, temperature, and carbon dioxide levels, providing users with information about potential adverse conditions.

Keywords: Soilless farming, Smart agriculture, Digital agriculture, pH, EC, Calibration, Microcontroller.

BÖLÜM 1. GİRİŞ

Dünyadaki hızlı nüfus artışı sonucu tarım topraklarının artan nüfusun gıda gereksinimini sağlayamayacağı öngörülmektedir. Günümüzde 6.5 milyar olan dünya nüfusunun, 2050 yılında 9 milyara ulaşacağı ve yüzde 60-70 oranında daha fazla gıda gereksiniminin olacağı tahmin edilmektedir (*Topraksız Tarım*, n.d.-a),(Sadigov, 2022).

Ülkemizde olduğu gibi dünyada da birçok ülkede tarıma açılacak topraklar son sınırına dayanmıştır. Toprakların erozyon, çoraklaşma ve yerleşim yeri olarak kullanılması gibi nedenlerle tarım dışına çıkarılması gittikçe yaygınlaşmaktadır. Özellikle toprak ve su kaynakları yetersiz ülkelerin gıda açısından dışa bağımlılıktan kurtulmak istemesi, genelde ise artan nüfusun gıda gereksinimini karşılamak, su ve gübre açısından daha az girdi ile daha yüksek verim almak amacıyla topraksız tarım önemli bir alternatif olarak ortaya çıkmıştır (Shi et al., 2016),(Wei & Lu, 2022),(Joshi et al., 2022).

Son yıllarda toprak kökenli hastalık ve nematodlarla mücadelede yaygın olarak kullanılan Metil bromitin yasaklanması, topraksız kültürün yaygınlaşmasında etkili olmuştur (Alcon et al., 2010). Ek olarak günümüzde yaşanan iklim değişikliği, geleneksel yöntemle yetiştirilen bazı tarım ürünlerinin üretim veriminin hızla düşmesine de sebep olmaktadır. Bu sebeplerden dolayı, topraksız tarım uygulama sayısı hızla artmaktadır (Gruda & Fernández, 2022).

Bitki yaşamı için gerekli olan su ve besin elementlerinin gereken miktarlarda toprak olmaksızın kök ortamına verilmesine dayalı üretim şekline ‘topraksız tarım’ denir. Şekil 1.1’ de topraksız tarım ile marul yetiştiriciliğinin görseli yer almaktadır.

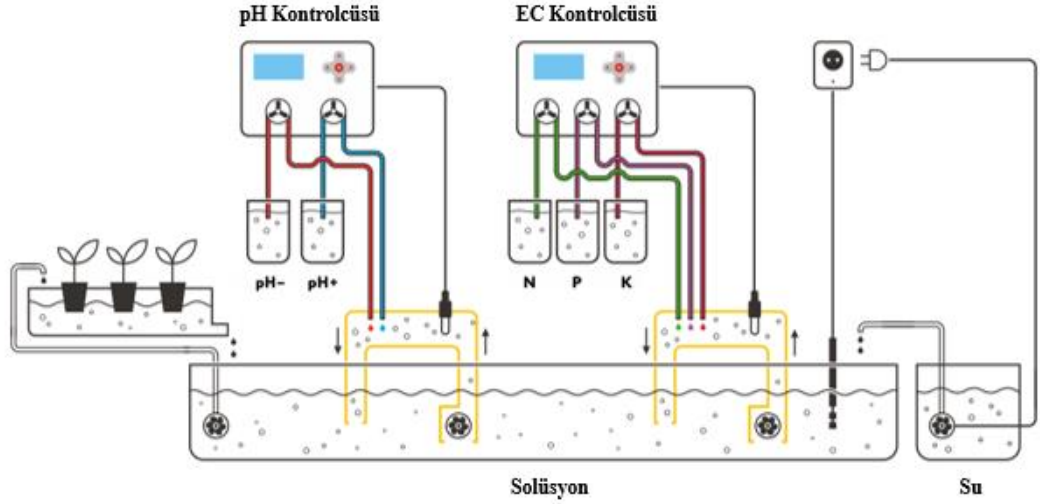
Topraksız tarım uygulamalarında besin çözeltisinin pH ve EC ölçümü bitki gelişimi açısından hayati önem taşımaktadır. Besin çözeltisinin EC ve pH 'ın doğru ve kararlı ölçülmesinde sık periyotlarda sensör kalibrasyonunun yapılmasına ihtiyaç duyulmaktadır. Mevcut sistemlerde sensör kalibrasyonlarının neredeyse tamamına yakını çalışanlar tarafından manuel olarak yapılmaktadır.

Topraksız tarımda üretim verimini en çok etkileyen faktörlerin başında gelen besin çözültisinin pH ve EC değerlerinin ölçüm doğruluğunun, çalışanların performansına bağlı olması, topraksız tarım üretim performansını ve kalitesini olumsuz etkilemektedir.



Şekil 1.1: Topraksız Tarım ile Marul Yetiştiriciliği (*Topraksız Tarım*, n.d.-a)

Güncel literatür çalışmaları incelendiğinde, topraksız tarımda bitki yetiştiriciliğinin en önemli parametrelerinden ilki besin çözültisinin ürün çeşidine ve bitki gelişim evresine göre uygun pH ve EC değerlerinde olması konusu vurgulandığı görülmektedir. Çalışmalarda ortak görüş olarak, pH ve EC ölçümlerinin doğruluğu ve ölçüm sıklığının üretim kalitesini ve verimini arttırdığı belirtilmiştir. Ayrıca, pH ve EC ölçümü için kullanılan cihazların maksimum doğruluğu için sık periyotlarda kalibrasyon ihtiyacı vurgulanmıştır. Şekil 1.2' de topraksız tarım pH ve EC otomasyon sisteminin örneği yer almaktadır.



Şekil 1.2: Topraksız Tarım pH ve EC Otomasyon Sistemi Örneği (Topraksız Tarım, n.d.-b)

1.1. Kalibrasyonun Önemi

Kalibrasyon, bir ölçüm cihazının ölçüm doğruluğunu değerlendirmek ve ihtiyaç durumunda düzeltmek amacı ile uygulanan bir işlemdir. Bu işlem, ölçüm cihazının hassasiyetini, tekrarlanabilirliğini ve doğruluğunu sağlayarak ölçüm güvenilirliğini arttırmak amacı ile uygulanmaktadır. Cihazları kalibre etmek için farklı yöntemler kullanılmaktadır.

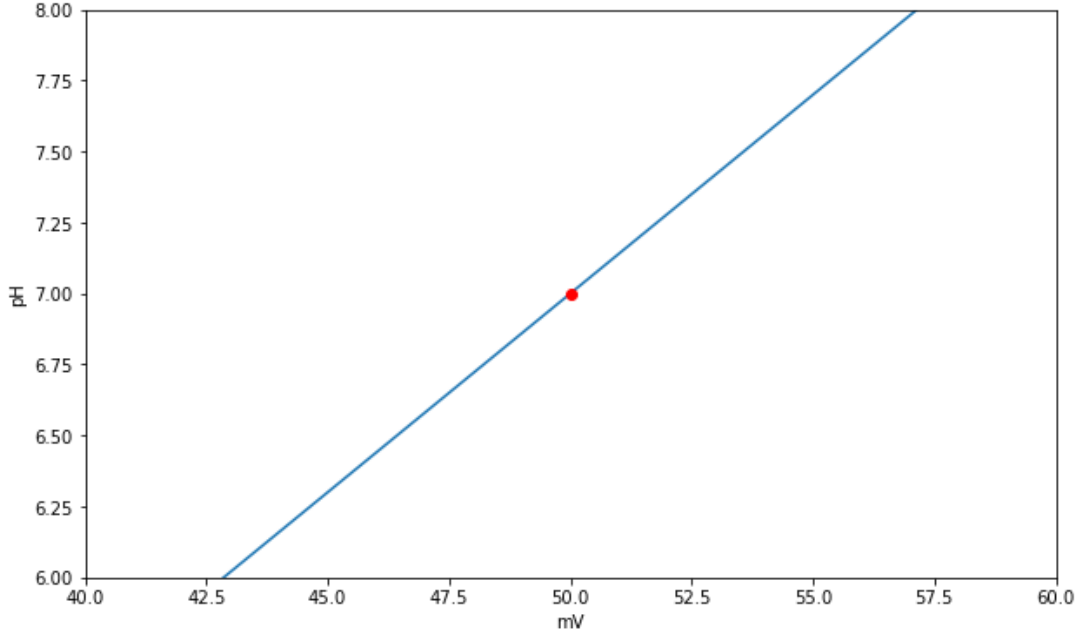
Tek noktalı kalibrasyonda, belirli bir referans değer ölçümü yapılır. Ölçüm cihazının ölçtüğü değer ile referans değer karşılaştırılır ve hata tespit edilir. Hatanın düzeltilmesi için hesaplanan eğriye kalibrasyon eğrisi adı verilir. Hesaplanan eğri, ölçüm cihazının diğer ölçümlerinde düzeltme kat sayısı olarak kullanılır ve kalibrasyonlu ölçüm gerçekleştirilir (Sako & Micke, 2019).

Aşağıda tek noktalı kalibrasyon yapılırken kalibrasyon sabitinin nasıl hesaplandığı belirtilmiştir. M_k Kalibrasyon eğrisini, pH_r referans sıvısının pH değerini, V_r referans sıvısı ölçülürken elektrotların ölçtüğü gerilimi, V_g ölçülmek istenilen sıvı ölçülürken elektrotların ölçtüğü gerilimi ve pH_g ise pH metrenin kalibrasyon sonrası hesapladığı pH değerini ifade etmektedir (Barron et al., 2005).

$$M_k = \frac{pH_r}{V_r} \quad (1.1)$$

$$pH_g = M_k \times V_g \quad (1.2)$$

Tek noktalı kalibrasyon yöntemi ile kalibre edilmiş ölçüm cihazlarının, elektrotların ölçtüğü gerilimlere göre hesaplamaları Şekil 1.3' te gösterilmiştir.



Şekil 1.3: Tek Noktalı Kalibrasyon Eğrisi

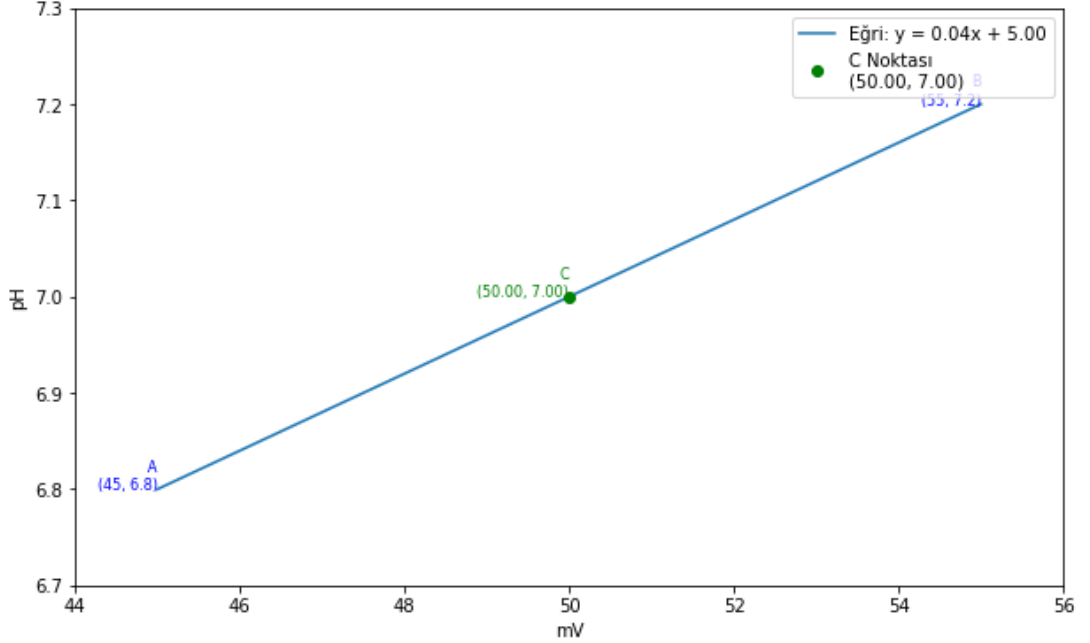
Ancak bu yöntem, yalnızca belirli bir noktadaki doğruluk üzerinden hesaplama yapmaktadır. Bu sebeple ölçülecek değerler belirlenen noktadan uzaklaştıkça, ölçüm cihazının hata oranının artması kaçınılmazdır. Sabit bir değer ölçülmeyeceği ancak belirli bir aralıkta ölçüm yapılacağı tahmin edilen sistemlerde çift noktalı kalibrasyon oldukça yaygın kullanılan bir yöntemdir. 2 adet referans değer belirlenir ve ölçümü yapılır. Ölçüm cihazının bu iki noktada ölçtüğü değer ile referans değeri karşılaştırılarak hata tespit edilir. Hatanın düzeltilmesi için iki noktadaki ölçüm değerleri hesaplanır ve bir sabit çarpan veya bir denklem elde edilir. Elde edilen sonuç, diğer ölçümlerde de kullanılarak kalibrasyonlu ölçüm gerçekleştirilir.

Aşağıda tek noktalı kalibrasyon yapılırken kalibrasyon sabitinin nasıl hesaplandığı belirtilmiştir. Nk Kalibrasyon denklemini, pH1 1. referans sıvısının pH değerini, pH2 2. referans sıvısının pH değerini, V1 1. referans sıvısı ölçülürken elektrotların ölçtüğü gerilimi, V2 2. referans sıvısı ölçülürken elektrotların ölçtüğü gerilimi, Vg ölçülmek istenilen sıvı ölçülürken elektrotların ölçtüğü gerilimi ve pHg ise pH metrenin kalibrasyon sonrası hesapladığı pH değerini ifade etmektedir.

$$Nk = \frac{pH_1 - pH_2}{V_1 - V_2} \quad (1.3)$$

$$pHg = Nk \times Vg \quad (1.4)$$

Çift noktalı kalibrasyon yöntemi ile gerçekleştirilen kalibrasyon sonucunda ölçüm cihazının hesaplamaları Şekil 1.4' te gösterilmiştir.



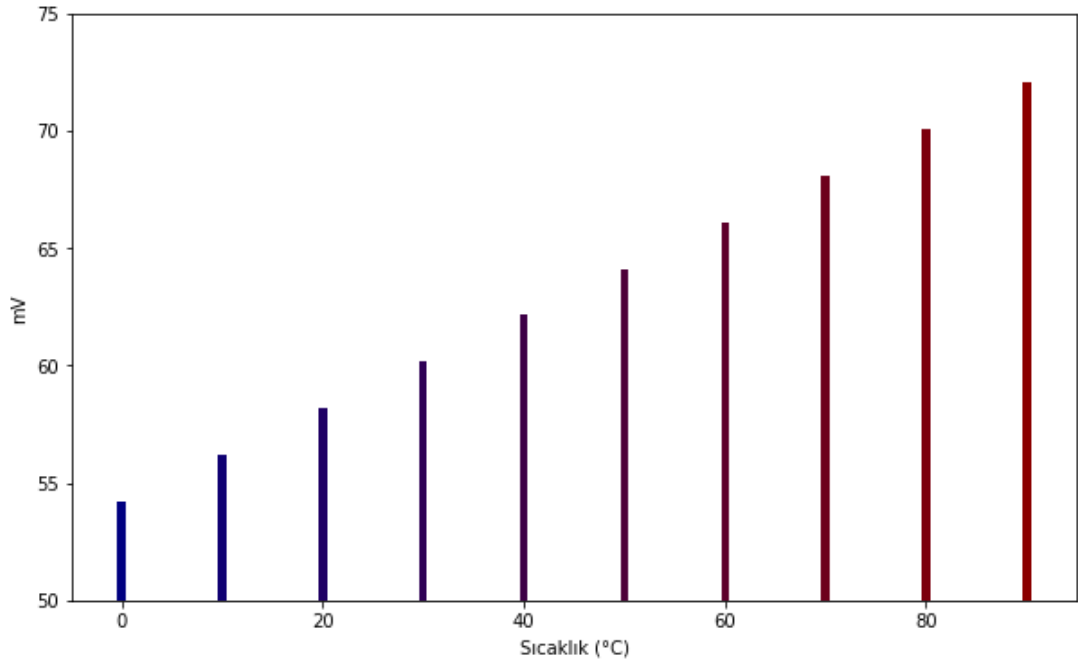
Şekil 1.4: Çift Noktalı Kalibrasyon Eğrisi

Ancak, bu yöntem kullanılırken, seçilecek referans değerleri ölçüm güvenilirliği için oldukça önemlidir. Seçilecek referans değerleri ölçülecek değere göre değişim göstermektedir. Ölçülecek değer seçilecek 2 referans değerinin arasında bir değer olması ölçüm hassasiyeti ve güvenilirliği açısından önemlidir. Bu sebeple çift noktalı kalibrasyon yöntemi uygulanacak sistemlerde, ölçüm yapılacak değer aralığı tahmin edilebilir olmalıdır, aksi takdirde referans alınan değerlerden uzaklaştıkça ölçüm hassasiyeti ve kalibrasyon güvenilirliği azalacaktır. pH değeri, sıcaklığa göre değişiklik gösterdiği için sıcaklık parametresi kalibrasyon hesaplamasına dahil edilmelidir. İdeal bir pH elektrotunun sıcaklığa tepkisi Nernst denklemi ile tanımlanmaktadır. Bu denkleme göre, pH değeri hesaplanırken elektrottan ölçülen gerilimin sıcaklığa bağlı değişimi hesaplanır (Khamis et al., 2018).

Aşağıda Nernst denklemi ile elektrotların ölçtüğü gerilimin nasıl hesaplandığı belirtilmiştir. V ölçülen gerilimi, V0 elektrodun sıcaklığa bağlı standart gerilimini, R genel gaz sabitini, T Kelvin cinsinden sıcaklığı, Z iyonik yükü, F faraday sabitini ve aM ölçüm iyonu aktivitesini ifade etmektedir.

$$Vg = V0 - 2.3 \times \left(\frac{R \times T}{Z \times F} \right) \times \log (aM) \quad (1.5)$$

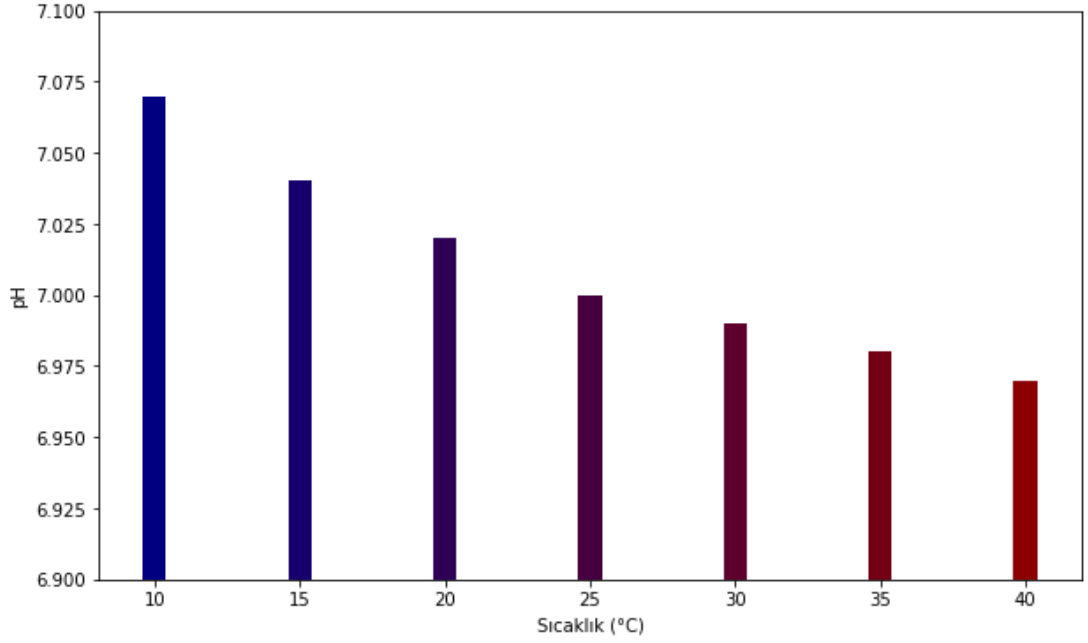
Elektrottan ölçülen gerilimin sıcaklığa bağlı değişimi Şekil 1.5' teki gibidir.



Şekil 1.5: Sıcaklığa Göre Elektrotlarda Ölçülen Değerin Değişimi (Barron et al., 2005)

Bu sebeple, sıcaklık değeri değiştikçe referans değeri olarak kullandığımız değer de değişiklik gösterecektir. Bu durumu göz önüne alarak sıcaklık değerini kalibrasyon ve ölçüm esnasında göz önünde bulundurmamak, hem hassas bir kalibrasyon yapmak hem de ölçüm doğruluğunun güvenilir olması adına son derece önemlidir.

Şekil 1.6' da pH değeri 25°C' de 7 olarak bilinen bir çözeltinin sıcaklığa göre değişimi yer almaktadır.



Şekil 1.6: pH Değerin Sıcaklığa Göre Değişimi (Barron et al., 2005)

Akan su kültüründe yetiştirilecek bitkiler için gerekli pH ve EC değerleri bilinmektedir. Sürekli ölçüm yapılması, ölçülecek pH ve EC değerlerinin referans noktasından uzaklaşmasını engellemektedir. Bundan dolayı çalışmada, pH ve EC metreler için çift noktalı kalibrasyon yöntemi uygun görülmüştür.

1.2. Literatür Araştırması

Son yıllarda, topraksız tarımda ürüne göre besin çözeltisinin pH ve EC değerlerinin önemi, ölçüm doğruluğu için kalibrasyon ihtiyacının önemi ve otomatik kalibrasyon ihtiyacı hakkında yapılan çalışmaların sayısı hızla artmaktadır.

Dr. T Arumugam ve arkadaşları, 2021 yılında yaptıkları topraksız tarım çalışmasında, kullanılan solüsyonun EC ve pH değerlerini sürekli takip eden ve otomatik dozajlamalı bir dijital sistem üretim çıktıları ile geleneksel üretilen bir sistemin çıktıları karşılaştırmışlardır. Çalışmada, dijital sistem kullanılarak yapılan üretimin birçok alanda daha verimli olduğunu tablolar ile belirtmişlerdir. Ayrıca dijital sistemin yüksek verimde üretim yapması için, sistemde kullanılan pH ve EC metre kalibrasyonlarının önemine de vurgu yapmışlardır (Arumugam et al., 2021).

S. Ragaveena ve arkadaşları, 2021 yılında hazırladıkları bir inceleme makalesinde, topraksız tarımda yetiştirilen bir bitkinin büyümesi ve gelişmesini takip ederken solüsyonun EC ve pH değer takibinin hayati önem taşıdığını ifade etmişlerdir. Çalışmada, çoğu bitkinin sağlıklı büyümesi için pH değerinin belirli bir aralıkta olması

gerektiđi ve EC deęerinin de belirli bir deęerden dūřuk olması gerektiđine vurgu yapmıřlardır (Ragaveena et al., 2021).

Srivani P. ve arkadaşları, 2019 yılında hidroponiklerde kontrollü çevre tarım sistemlerinin verimli bir şekilde uygulanabileceğini iddia ettikleri çalışmada, bitki gelişiminin bŸyŸk ŐlŸde pH ve EC 'ye bağlı olduğunu ifade etmişlerdir. Çalışmada, EC ve pH değerlerinin dŸzenli olarak izlenmesi ve bitkilerin bŸyŸmesi için gerekli değerlerin ayarlanmasının Önemli olduğu vurgulanmıştır. EC değerinin belirli aralıklarında, daha kaliteli ŸrŸnlerin ortaya çıktığı belirtilmiştir (Srivani et al., 2019).

Agung Putra P. ve arkadaşları, 2015 yılında topraksız tarımda su verimliliğini ve ŸrŸn kalitesini inceledikleri çalışmada, topraksız tarımın, geleceğin tarım endŸstrisinin itici gŸcŸ olacağını iddia etmişlerdir. Yapılan bu inceleme sonucunda, topraksız tarımda EC değerinin belirli aralıklarda tutulmasının ŸrŸn verimine doğrudan etkisi olduğunu şekiller ile belirtmişlerdir. Çalışmada, bitki yetiştiriciliğinde pH değerinin belirli aralıklarda tutulmasının da bitkinin sağlıklı bŸyŸmesi için Önemli olduğuna vurgu yapmışlardır (Putra & Yuliando, 2015).

Saraswathi Y. ve arkadaşları, 2022 yılında yaptıkları çalışmada akıllı tarımda pH kontrolŸnŸn çok kritik olduğunu belirtmiş, sera işletmecilerinin pH'ı izlemesinin ve kontrol etmesinin Önemli olduğunu belirtmişlerdir. Çalışma, pH ŐlŸmŸ yapılırken kullanılan pH elektrot kalibrasyonunun ŐlŸm doğruluğu ile doğrudan bağlantısına dikkat çekip kalibrasyonun Őnemini vurgulanmıştır (Yadav & Swamy, 2022).

Jung-Jeng Su ve arkadaşları, 2020 yılında nesnelere interneti ile atık su arıtma sistemi kurulumunda, pH ve EC sensŸrleri ile yapılan ŐlŸmleri kalibrasyon Öncesi ve sonrası şeklinde kıyaslamışlardır. Yapılan ŐlŸmlerde kalibrasyonun ŐlŸlen değerlere doğrudan etkisi oluşturulan tablolar ile vurgulanmıştır (Su et al., 2020).

Yun-Wei Lin ve arkadaşları, 2021 yılında sensŸrler tarafından Ÿretilen hatalı verileri tespit etmek ve bu sorunu Ÿzlemek için bir mekanizma Önermişlerdir. Yapılan alışmada Őnerilen mekanizma sensŸrlerden gelen hatalı bilgiler doğrultusunda arızaları tespit etmek ve kalibrasyon yapmak amacı ile akıllı tarımda test edilmiştir. SensŸrlerden doğru bilgi almanın Önemine değinen çalışmada yapılan testler ile arızaları tespit edilmiş ve kalibrasyon yapılmıştır (Y. W. Lin et al., 2021).

Yi-Bing Lin ve arkadaşları, 2019 yılında akıllı tarım için arıza tespiti ve kalibrasyon için IoT tabanlı bir sistem tasarlamışlardır. Çalışmada, sensŸrlerden alınan bilgilerin

doğruluğunun akıllı sistemler için önemi vurgulanmış, aynı fabrikada üretilen sensörlerin bile birbirinden farklı sonuçlar verebileceğine değinilmiştir. Çalışmada hem analitik analiz ve simülasyon deneyleri yapılmış olup, hemde potansiyel bir arızada çok fazla yanlış alarm vermediği tespit edilmiştir (Y. B. Lin et al., 2019).

Aisha Mehboob ve arkadaşları, 2019 yılında yaptıkları hidroponiklerde EC ve pH otomasyon ve kontrol sisteminde, EC ve pH değerlerini sürekli takip eden ve otomatik bir şekilde istenilen değerde tutan bir sistem tasarlamışlardır. EC ve pH değerinin sabit tutulmasının öneminin vurgulandığı çalışmada, EC ve pH değerini değiştiren bir solüsyon ilave edildiğinde sistem belirli bir süre içerisinde solüsyonu tekrar istenilen değerde sabitlemiştir (Mehboob et al., 2019).

Sean Tagle ve arkadaşları, 2018 yılında topraksız tarım için otomatik veri toplayan bir mekanizma önermişlerdir. Çalışmacılar, topraksız tarımın geleneksel tarımdan daha karmaşık olduğu gerekçesi ile arıza olasılıklarının daha yüksek olduğunu belirterek, sistemdeki arızaları kolayca teşhis etmek ve sorunları gidermek için önerdikleri arduino tabanlı çalışmada, sistemdeki sensörlerin kalibrasyonunada dikkat çekmişlerdir. Çalışma esnasında kullanılacak pH sensörlerini 2 ayrı değerdeki pH solüsyonuna daldırarak ve ardından arduino IDE programında yazdıkları yazılım aracılığı ile kalibre ettiklerini belirtmişlerdir (Tagle et al., 2018).

Yapılan çalışmada özgün olarak, manuel kalibrasyonlu pH ve EC ölçen cihaz tasarımlarının aksine, tamamen otomatik iki nokta kalibrasyonlu, çözelti hattına paralel olarak bağlanıp sürekli pH ve EC ölçümü yapabilen; ölçülen değerlere göre programlanabilir dijital çıkışlara sahip; ortam sıcaklığını, nemini ve karbondioksit oranını ölçen özgün elektromekanik bir sensör tasarımı ve gerçekleştirilmesi yapılmıştır. Ek olarak ölçüm doğruluğunu pekiştirmek için ürün yaprak rengini görüntü işleyerek takip eden ve anormal değer değişimlerini pH ve EC değerleri ile eşleştirerek üreticiyi bilgilendiren tek kart bilgisayar donanımında çalışacak görüntü işleme tabanlı bir sistem de tasarlanmıştır.

1.3. Tezin Amacı

Çalışmada, topraksız tarımda kullanılmak üzere tamamen otomatik iki nokta kalibrasyonlu, çözelti hattına paralel olarak bağlanıp sürekli pH ve EC ölçümü yapabilen, ölçülen değerlere göre programlanabilir dijital çıkışlara sahip, ürün yaprak

rengini görüntü işleyerek takip edip anormal değer değişimlerinde uyarı verebilen elektromekanik bir sensör tasarımı ve gerçekleştirilmesi amaçlanmaktadır.

Çalışmanın hedefleri aşağıdaki gibi sıralanabilir;

1. Sensörün kalibrasyon ve EC, pH ölçüm haznelerinin tasarımı ve üretiminin yapılması.
2. Sensörün iki eksenle motorlar ile hareketlendirilen EC, pH ölçüm problemlerini taşıyacak mekanik sistemin tasarımı ve üretiminin yapılması.
3. Sensörün otomatik kalibrasyondan önce EC, pH problemlerini temizleyecek mekanik sistemin tasarımı ve üretiminin yapılması.
4. Sensörü kontrol edecek mikro denetleyici tabanlı elektronik donanım tasarımı ve üretiminin yapılması.
5. Sensörün yazılım tasarımlarının yapılması.
6. Sensörün entegrasyonu, devreye alınması, saha testleri ve iyileştirmelerin yapılması.
7. Sensörün ölçüm doğruluğunu pekiştirmek için görüntü işleme tabanlı yaprak renk takip eden sistemin yapılması.
8. Sensörün tanıtımı ve kullanma talimatlarını içeren web sayfa tasarımının yapılması.

BÖLÜM 2. SİSTEM TASARIM BİLEŞENLERİ

Tasarlanan sistem, mekanik, elektronik ve bilgisayar sistem bileşenlerinden oluşmaktadır.

2.1. Mekanik Sistem Bileşenleri

Mekanik sistem, alüminyum sigma profilden imal edilmiş mekanik ana gövde, pH ve EC elektrotlarını step motor yardımı ile hareket ettiren hareketli mekanizma, kalibrasyon ve ölçüm işlemleri için gerekli olan 6 farklı istasyondan oluşmaktadır.

2.1.1. Mekanik ana gövdeler

Mekanik ana gövde, hafif, paslanmaz ve montaj kolaylığı sebebi ile 30mm x 30mm sigma alüminyum profiller kullanılarak tasarlanmış ve imal edilmiştir. Ana gövde, ölçüm istasyonlarını çevresel etkilerden korurken istasyonlardaki bakım ve değişim işlemlerinin kolay yapılabilmesi için kapaklı bir formda dizayn edilmiştir. Şekil 2.1 'de tasarlanan sisteme ait mekanik gövde görülmektedir.

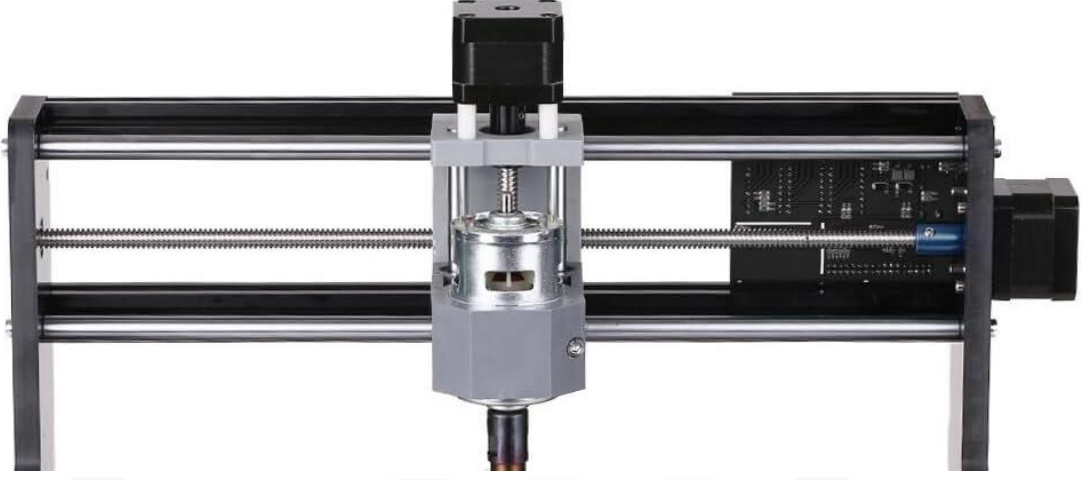


Şekil 2.1: Sigma Profilden Yapılmış Gövde Resim Değişecek

2.1.2. Hareket mekanizmaları

pH ve EC elektrotlarını istasyonlar arası taşımak için X ve Z ekseni olmak üzere 2 ekseninde 2 civa mili üzerinde sonsuz vida mili ile hareket sağlayan mekanik bir sistem

tasarımı yapılmıştır. Şekil 2.2 'de tasarlanan sisteme ait hareket mekanizmaları görünmektedir.



Şekil 2.2: 2 Eksen Hareket Mekanizması

2.1.3. Step motorlar

Step motorlar, bir çok endüstriyel ve otomasyon uygulamalarında kullanılan, güvenilir pozisyon kontrolü sağlayan cihazlardır. Belirli adımlar ile dönen genellikle açık ve kapalı döngü ile çalışmaktadırlar. Ancak step motorların sürülme teknikleri etkili bir şekilde çalışabilmesi için oldukça önemlidir (Wang & Cao, 2020), (Jabeen et al., 2015).

Step motorları sürmek için mikrodenetleyici kullanmak oldukça yaygındır. Mikrodenetleyiciler, step motor sürücü devresi yardımı ile step motorun yönünü ve döneceği adım sayısını kontrol etmektedir. Mikrodenetleyici programlanarak, step motorun döneceği adım sayısı ve dönme hızı ayarlanabilmektedir.

Step motor sürücü devreleri kullanmak, step motorların daha güvenilir bir şekilde kontrol edilmesini sağlamaktadır. Bu devrelerin ürettiği sinyaller, step motorun adım açısını ve hızını ayarlamaktadır.

Step motorları kullanırken, konum geri bildirimini oldukça önemlidir. Step motorun gerçek konumu bir encoder yardımı ile tespit edilir ve istenilen konum ile karşılaştırılır. Bu yöntem ile güvenilir bir konum kontrolü sağlanmaktadır (Lai et al., 2018).

Çalışmada kullanılacak step motorun, istenilen performansı verebilmesi için doğru motor tercihi elzemdir. Step motorlar seçilirken dikkat edilmesi gereken bazı parametreler mevcuttur (Ricci & Meacci, 2018).

Tork gereksinimi, seçilecek olan step motor için oldukça önemli bir parametredir. Yükün ağırlığı, sürtünme ve moment gibi değişkenler torku belirlemektedir. Seçilen step motorun belirlenen tork gereksinimini karşılaması gerekmektedir.

Hız gereksinimi, yapılacak çalışmaya göre göz önünde bulundurulması gerekmektedir. Step motorların hızı, adım açıları ve çalışma gerilimi gibi değişkenlere bağlıdır. Çalışmada gerekli olan hız step motor seçimi için önemlidir.

Adım açısı, bir tur dönüşü kaç parçaya böldüğünü belirtmektedir. Adım açıları, küçüldükçe daha hassas hareket kontrolü sağlanabilmektedir. Bu sebep ile çalışmanın hassasiyet gereksinimleri belirlenerek uygun adım açısına sahip bir step motor seçilmelidir.

Boyut ve montaj, seçilecek olan step motorun boyutları ve montaj şekli, kullanılacak olan alana uygun olması gerekmektedir.

Çalışma ortamı, step motorun çalışacağı ortamın sıcaklık ve nem seviyesi gibi faktörlere uygun olması gerekmektedir. Zorlu çalışma ortamlarında, uygun step motor seçilmelidir (Bakhri & Ertugrul, 2016).

Güvenilir konum kontrolü, doğru ve tekrarlanabilen hareket, sabit pozisyonda kalma yeteneği, düşük maliyet ve düşük güç tüketimi gibi özelliklerinden dolayı bu çalışmada Şekil 2.3 'te görülen Nema 17 step motor tercih edilmiştir.

Nema 17 Step motorun teknik özellikleri aşağıdaki gibidir.

1. Mil uzunluğu: 16mm
2. Mil çapı: 5mm
3. Kasnak: 16mm GT2 Kasnak
4. Adım açısı: 1.8°
5. Akım tüketimi: 1.5A/faz
6. Maksimum tork: 0.4 Nm
7. Boyut: 42x42x34mm



Şekil 2.3: Nema 17 Step Motor

2.1.4. Kalibrasyon ve ölçüm istasyonları

Tasarlanan sistemde, otomatik kalibrasyon ve elektrotların ömür uzunluğunu sağlamak için 6 farklı istasyon kullanılmıştır. İstasyonlar plastik kutulardan oluşturulmuştur.

Bu istasyonlar sırasıyla;

1. pH ve EC elektrotların ömür uzunluğu için bekleme çözeltisi istasyonu.
2. Elektrot temizleme istasyonu.
3. Elektrotların basınçlı hava yardımıyla kurulama istasyonu.
4. pH ve EC 1. kalibrasyon istasyonu.
5. pH ve EC 2. kalibrasyon istasyonu.
6. Hat ölçüm istasyonu.

2.2. Elektronik Sistem Bileşenleri

Elektronik sistem, başta pH metre ve EC metre olmak üzere, sıcaklık sensörleri, nem sensörü, CO2 sensörü, su akış sensörleri, ağırlık sensörü, proximity sensörleri, step motor sürücüleri ve bu bileşenleri kontrol eden özgün olarak tasarlanmış Pic18f45k22 ve ESP32 tabanlı iki elektronik kontrol kartlarından oluşmaktadır.

2.2.1. PH metre

pH metre, bir çözeltinin bazlık veya asitlik seviyesini ölçmek için kullanılır. Temel olarak, bir sıvının ne kadar asidik veya bazik olduğunu gösterir. Bu seviye, çözeltinin içindeki hidrojen iyonlarının konsantrasyonunu ifade eder (Aralekallu et al., 2017).

pH ölçümü, 0 ile 14 arasında bir ölçekle ifade edilir. 0 seviyesi, hidrojen iyonlarının en yoğun olduğu durumdur ve en asidik durumu belirtir. 14 seviyesi ise, hidrojen iyonlarının yoğunluğunun en az yoğun olduğu durumdur ve en bazik durumu belirtir.

Ölçüm elektrodu, sıvıya daldırılır ve sıvıdaki hidrojen iyonlarının aktivitesi ölçülür. Referans elektrodu, sabit bir hidrojen iyon konsantrasyonuna sahip bir çözelti içerisinde bulunur ve bu referans çözelti ile ölçüm çözeltisi arasındaki potansiyel fark ölçülür. pH metre bu potansiyel farkı kullanarak sıvının pH değerini hesaplar.

pH metrenin güvenilir ölçümler yapabilmesi için, kalibrasyon işlemi hayati bir öneme sahiptir. Kalibrasyon, ölçüm sisteminin doğruluğunu ve hassasiyetini doğrulamak anlamına gelir. Referans elektrodu, sabit pH değerine sahip bir çözelti içine daldırılır ve bu referans çözeltisi ile ölçüm çözeltisi arasındaki fark ölçülerek pH metrenin kalibre edilmesi sağlanır. Ayrıca, kalibrasyon işlemi, elektrotların doğru çalışıp çalışmadığını da kontrol eder. Bu durum ölçümün güvenilirliğini artırır.

pH metrenin ömrü de oldukça önemlidir. pH metrenin ömrü çeşitli parametrelere bağlıdır. pH metrenin, kalitesi, kullanım sıklığı, çevresel koşullar, düzenli kalibrasyon ve elektrotların hassas ve dengeli koşullarda tutulması bunlardan bazılarıdır.

pH metrenin kalitesi, elektrot kalitesi, hassas ölçüm kabiliyeti, hızlı yanıt verme ve dayanıklılığına göre tespit edilebilmektedir. Elektrot kalitesi, elektrotlar yüksek kalitede malzemelerden üretilmiş ve iyi bir şekilde kaplanmış olmalıdırlar. Dayanıklılık, pH metrenin çevresel koşullara ve kimyasallara karşı dirençli olması uzun ömürlü olabilmesi için önemlidir.

Kullanım sıklığı, düzenli olarak kullanılan bir ölçüm cihazı daha sık aşınma ve yıpranmaya maruz kalır. pH metrenin düzenli aralıklarla kullanılması ve kullanılmayan zamanlarda uygun şekilde korunması gerekmektedir. Uzun süre kullanılmayan pH metrenin elektrotları kuruyabilir.

Bekleme sıvısı, elektrotların hassas ve dengeli koşullarda tutulabilmesi için oldukça önemlidir. Elektrotların nemini korur, kurumasını engeller ve hidrojen iyon dengesini korur. Ayrıca, bekleme sıvısı elektrotları kontaminasyondan korur ve uzun ömürlü olmasına yardımcı olur. Ek olarak elektrotların neminin dengede tutulması, kontaminasyonun önlenmesi ve hidrojen iyon dengesinin korunması kalibrasyon işlemlerinin daha hızlı ve etkili olmasını sağlar.

2.2.1.1. pH metre çeşitleri ve kullanım alanları

Ölçüm ihtiyaçları ve uygulama alanlarına göre çeşitli pH metreler bulunmaktadır.

Genel kullanıma yönelik pH metreler, laboratuvarlar ölçümleri ve endüstriyel ölçümler gibi geniş bir alanda kullanılmaktadır.

Taşınabilir pH metreler, taşıma ve kullanım kolaylığına ihtiyaç duyan gıda endüstrisi ve su analizi gibi alanlarda tercih edilir.

Tank tipi pH metreler, sıvının içinde bulunan bir boruya veya tanka doğrudan monte edilerek kullanılmaktadır. Dayanıklılık, yüksek hassasiyet, veri kaydı, sıcaklık toleransı ve otomatik kalibrasyon ihtiyacı duyulan endüstriyel süreçlerde tercih edilmektedir. Ancak sürekli sıvı ile temas halinde bulunduğundan dolayı, aşınma, kirlenme, elektronik hasar, korozyon ve kalibrasyonun bozulması gibi kullanım ömrünü ve ölçüm güvenilirliğini azaltan problemler kaçınılmazdır.

Çalışmada, sürekli ölçüm sıvısında bulundurulmayarak kullanım ömrünü ve otomatik kalibrasyon sistemi ile ölçüm güvenilirliğini artırarak Şekil 2.4'te görülen tank tipi pH metre tercih edilmiştir.



Şekil 2.4: Tank Tipi pH Metre

2.2.2. EC metre

EC ölçümü, bir sıvının elektriksel iletkenliğini değerlendirmek amacı ile yapılan bir ölçümdür (Hibino et al., 2022).

EC metrenin elektrodu bir sıvıya daldırılır, elektrot, sıvıya bir elektrik akımı uygular ve sıvı içinde bulunan iyonlar veya tuzlar, bu akımı ileterek elektriksel iletkenlik ölçümü yapar. Ayrıca, EC metreler, sıvının elektriksel iletkenliğini ölçerek iyon konsantrasyonlarını ve tuzluluğu da belirlemektedir.

EC ölçümlerinin güvenilirliği için kalibrasyon oldukça önemlidir. Referans elektrodu, sabit EC değerine sahip bir çözelti içine daldırılır ve bu referans çözeltisi ile ölçüm çözeltisi arasındaki fark tespit edilerek EC metrenin kalibrasyonu sağlanır. Ayrıca, kalibrasyon işlemi, elektrotların doğru çalışıp çalışmadığını da kontrol eder. Bu durum ölçümün güvenilirliğini artırır.

EC metrenin ömrünü etkileyen bazı parametreler düzenli kalibrasyon, kalite, kullanım sıklığı ve elektrotların hassas ve dengeli koşullarda bulunmasıdır.

Kalibrasyon, güvenilir ölçümler yapabilmek için hayati önem taşımaktadır ve düzenli olarak kalibrasyon yapılması gerekmektedir.

EC metrenin kalitesini, elektrot kalitesi, hassasiyet ve dayanıklılık gibi parametreler belirlemektedir. EC metrede kullanılan elektrotlar, ölçümlerin güvenilirliğini doğrudan etkilemektedir. Kaliteli elektrolara sahip EC metreler daha uzun ömürlüdür ve istikrarlı sonuçlar sağlamaktadırlar. Hassasiyet, ölçüm yapılırken küçük değişiklikleri algılamak ile ilgilidir. Yüksek hassasiyet daha kesin sonuçlar sağlamaktadır. Dayanıklılık, EC metrenin üretildiği malzemeler ve tasarımı ile doğrudan ilişkilidir. Yüksek dayanıklılığa sahip bir EC metre daha uzun süreli bir kullanım sağlamaktadır.

Kullanım sıklığı, düzenli olarak kullanılan bir EC metrede aşınmalar meydana gelebilir. Düzenli kullanılan bir EC metre kullanılmayan zamanlarda doğru koşullarda bekletilmesi kullanım ömrünün uzatılmasını sağlayabilir.

Bekleme sıvısı, elektrotların nemli kalması, kontaminasyondan korunması ve tuz birikintilerinin önlenmesi için oldukça önemlidir. Bekleme sıvısının düzenli kullanımı, EC metrelerin güvenilir ölçüm yapabilmesi ve uzun süre verimli bir şekilde çalışabilmesini sağlamaktadır.

2.2.2.1. EC metre çeşitleri ve kullanım alanları

EC metreler, genellikle ölçüm aralıkları ve kullanım alanlarına göre çeşitlendirilirler.

Taşınabilir EC metreler, saha çalışmalarında kullanılmaktadırlar. Genellikle su kalitesini takip etmek ve sulama suyunun iletkenliğinin ölçüldüğü çalışmalarda ön plana çıkmaktadırlar.

Tank tipi EC metreler, tank tipi pH metrelerde olduğu gibi, sıvının içinde bulunan bir boruya veya tanka doğrudan monte edilerek kullanılmaktadır. Dayanıklılık, yüksek hassasiyet, veri kaydı, sıcaklık toleransı ve otomatik kalibrasyon ihtiyacı duyulan endüstriyel süreçlerde tercih edilmektedir. Ancak sürekli sıvı içerisinde bulunmanın getirdiği aşınma, kirlenme, elektronik hasar, korozyon ve kalibrasyon bozulması gibi sebeplerden meydana gelen kullanım ömrünün azalması ve ölçüm doğruluğunun tehlikeye girmesi tank tipi EC metreler içinde geçerlidir.

Çalışmada, sürekli ölçüm sırasında bulundurulmayarak kullanım ömrünü ve otomatik kalibrasyon sistemi ile ölçüm güvenilirliğini artırarak Şekil 2.5'te görülen tank tipi EC metre tercih edilmiştir.



Şekil 2.5: Tank Tipi EC Metre

2.2.3. Sıcaklık sensörü

Sıcaklık, topraksız tarım için son derece önemli bir parametredir. İdeal sıcaklık seviyesi, bitki büyümesi ve verimliliği açısından oldukça önemlidir (Shamshiri et al., 2018). Bu sebeple topraksız tarım yapılacak ortamda sıcaklık ölçümü, çalışmanın ana hedefi olan bitkilerin büyümesi ve verimliliği açısından gerekli görülmüştür.

Sıcaklık sensörleri, ortamdaki sıcaklık değişikliklerini algılayarak bu değişimleri elektriksel sinyallere dönüştüren cihazlardır. Farklı prensipler ile çalışan çeşitli sıcaklık sensörleri bulunmaktadır.

Termistörler, değişen sıcaklığın etkisi ile elektriksel dirençlerindeki değişimi ölçmektedirler. Pozitif sıcaklık katsayısı (PTC) ve negatif sıcaklık katsayısı (NTC) olmak üzere ikiye ayrılırlar (Sahoo et al., 2014).

Kızılötesi (IR) sıcaklık sensörleri, nesnelerin yüzeylerinden yayılan kızılötesi radyasyonu algılayıp bu radyasyonun yoğunluğuna bağlı olarak sıcaklığı tespit ederler (Ng et al., 2005).

Sistem tasarımında, gerekli hassasiyet, boyut, güç tüketimi ve çalışma aralığı göz önünde bulundurularak termistör kullanarak sıcaklık ölçen biri çözelti sıcaklığını ölçmek , diğeri ise kalibrasyon sıvılarının sıcaklığını ölçmek üzere Şekil 2.6' da görüntüsü verilen 2 adet su geçirmez DS18B20 sensörü kullanılmıştır.

1. Besleme Gerilimi: 3V – 5.5V
2. Akım Tüketimi: 0.4 mA
3. Çalışma Aralığı: -10 °C - +85 °C
4. Ölçüm Doğruluğu: ± 0.5 °C



Şekil 2.6: DS18B20 Su Geçirmez Sıcaklık Sensörü

2.2.4. Nem sensörü

Nem seviyesinin kontrol edilmesi, bitki köklerinin gelişimi ve bitkinin sağlıklı büyümesi için oldukça önemlidir. Düşük nem seviyesi bitki köklerinde kurumaya ve buna bağlı olarak besin yetersizliğine sebep olurken, yüksek nem seviyesi de mantar

hastalıkları ve çürümeye sebep olabilmektedir. Bu sebepten dolayı topraksız tarım seralarında ortamın nem takibi önemlidir (Chia & Lim, 2022).

Nem sensörleri, ortamdaki nem seviyesini ölçmek için kullanılan elektronik cihazlardır. Çeşitli elektronik yapıya sahip nem sensörleri bulunmaktadır.

Kapasitif nem sensörleri, iki iletken levha arasındaki kapasiteyi ölçerek nem seviyesini tespit ederler. Nem seviyesindeki yükselme kapasiteyi arttırırken nem seviyesindeki düşüş kapasiteyi azaltmaktadır (Liu, 2015).

Dirençli nem sensörleri, nem seviyesine göre değişen direnci tespit ederek nem seviyesini ölçmektedirler. Nemin artışı direnç değerini düşürürken, nemin düşüşü direnç değerini arttırmaktadır.

Optik nem sensörleri, nem seviyelerinin ışık üzerindeki etkisi ile ölçüm yapmaktadırlar. Nem seviyesi değiştikçe ışığın saçılma özelliği de değişim göstermektedir (Bo et al., 2015).

Piezoelektrik nem sensörleri, nem seviyesinin mekanik titreşimler üzerindeki etkisini kullanarak nem seviyesini ölçmektedirler. Piezoelektrik malzemelerde, nem seviyesindeki değişim kristal yapıların rezonans frekansını değiştirmektedir (Gu et al., 2016).

Çalışma koşulları göz önünde bulundurulduğunda içerisinde kapasitif nem ve sıcaklık sensörü bulunduran , ortamın sıcaklık ve nem seviyesini ölçmek için Şekil 2.7 'de bulunan AM2315 I2C modülü kullanılmıştır.



Şekil 2.7: AM2315 Nem ve Sıcaklık Sensörü

2.2.5. CO₂ sensörü

Bitki yetiştiriciliğinde, verimliliğe ciddi etki eden bir diğer parametre de karbondioksit seviyesidir. Olumlu ürün yetişmesi için karbondioksit seviyesinin korunması gerekmektedir (Iddio et al., 2020). Bu sebeple bitki yetiştirilecek alanın karbondioksit seviyesi de sürekli olarak takip edilmesi gerekmektedir.

Karbondioksik sensörleri, ortamdaki karbon dioksit gazının konsantrasyonunu ölçmek için kullanılan elektronik cihazlardır. Farklı yöntemler ile karbon dioksit ölçen sensörler mevcuttur.

İnfraruj karbon dioksit sensörleri, CO₂ gazının absorpsiyonunu kullanarak ölçüm yapmaktadırlar. Hassas ölçümler yapabilmeleri öne çıkan özelliklerinden bir tanesidir (Zhang et al., 2010).

Kimyasal karbon dioksit sensörleri, CO₂ gazı ile kimyasal reaksiyonlara giren özel kimyasallar kullanılarak ölçüm yapılmaktadır. Yüksek hassasiyet gerektiren ölçümlerde pek tercih edilmezler (Rezk et al., 2020).

Optik karbon dioksit sensörleri, CO₂ gazının optik özellikleri yardımı ile çalışmaktadırlar. Dalga boyu değişiklikleri veya floresan özelliklerin yardımı ile karbon dioksit ölçümü yapmaktadırlar (Behera et al., 2015).

Kapasitif karbon dioksit sensörleri, CO₂ gazının dielektrik sabitindeki değişimi kullanarak ölçüm yapmaktadırlar. CO₂ gazının konsantrasyonundaki değişimin dielektrik sabitine etkisi tespit edilmektedir (Rezk et al., 2020).

Sistemin ihtiyaçları göz önünde bulundurulduğunda İnfraruj teknolojisi ile çalışan Şekil 2.8 'de görülen MH-Z19 CO₂ sensörü tercih edilmiştir.

Aşağıda MH-Z19 CO₂ sensörüne ait teknik özellikler yer almaktadır.

1. Çalışma Voltajı: 3.6-5.5 VDC
2. Ortalama Akım: 18 mA
3. Ara yüz seviyesi: 3.3v
4. Ölçüm aralığı: 0 ~% 0,5 VOL isteğe bağlı
5. Çıkış Sinyali: UART – PWM
6. Yanıt Süresi: 60 s
7. Çalışma Nemi: 0-95%
8. Boyut: 33mm x 20mm x 9mm



Şekil 2.8: MH-Z19 Karbondioksit Sensörü

2.2.6. Su akış sensörü

Sürekli sıvı akışı olan bir elektro-mekanik ölçüm sisteminde sıvı akışının durması taşmalara sebep olabilmektedir. Elektronik sistemler hassasiyetleri sebebi ile sıvı ile temas etmeleri durumunda arızalar meydana gelebilir. Bu sebeple ölçüm yapılan istasyonun giriş ve çıkış hattında sıvı akışı kontrol edilmelidir. Ölçüm yapılacak istasyonun tahliyesinde sıvı akışı durduğunda sistem bir arıza tespit edecek ve giriş vanasını kapatacaktır. Böylelikle taşmaların önüne geçilecek, kirlilik ve elektronik arızalar engellenmiş olacaktır.

Su akış sensörleri, akan suyun hareketini izlemek ve ölçmek için kullanılan elektronik bir cihazdır. Farklı prensipler ile ölçüm yapan su akış sensörleri mevcuttur.

Türbin debimetre, bir tüp veya boru içinden akan sıvının debisini ölçmektedir. Akan sıvını sensörün içerisinde bulunan turbinin dönmesini sağlar. Turbinin dönüş hızı tespit edilerek sıvının akış hızı ölçülmektedir (Džemić et al., 2018).

Manyetik indüktanslı debimetre, Faraday'ın indüksiyon kanununu kullanarak hesaplama yapmaktadırlar. Suyun akış hızını, manyetik alanın değişimine dayalı olarak ölçmektedirler (Hu et al., 2012).

Termal su akış sensörleri, su akış hızının sensördeki sıcaklığa etkisi ile hesap yapmaktadırlar. Suyun akış hızı, sensörün ısınma veya soğuma durumuna göre tespit edilmektedir (Okamoto et al., 2022).

Çalışmada su akış sensörü, ölçüm istasyonuna bağlı borularda kullanılacaktır. Kullanım amacı ve kullanılacak yer göz önünde bulundurularak Şekil 2.9 'da görülen bir türbin debimetre olan YF-S201 su akış sensörü tercih edilmiştir.

Aşağıda YF-S201'e ait teknik özellikler yer almaktadır.

1. Yüksek performanslı sızdırmazlık
2. Çalışma Gerilimi: 5-24 V DC
3. Çalışma Akımı: 15 mA (5 V DC)
4. Çıkış Türü: Dijital
5. Su basıncı: $\leq 1.75\text{MPa}$



Şekil 2.9: YF-S201 Su Akış Sensörü

2.2.7. Ağırlık sensörü

Ph ve EC metrelerin ölçüm yapabilmesi için, ölçülecek sıvıların belirli bir seviyede olması gerekmektedir. Sıvılar gerekli seviyenin altına düştüğünde elektrotlar ölçüm yapamayacak veya hatalı ölçüm yapacaklardır. Ayrıca bekleme sıvılarının da

elektrotların ölçüm yeteneğini koruyabilmesi için belirli bir seviyede olması gerekmektedir. Dolayısı ile istasyonlardaki sıvı seviyeleri kontrol edilmelidir.

Çalışmada yapılan elektro-mekanik sistemin insan kontrolünden bağımsız ve hata payının düşük olması amaçlanmaktadır. Bu sebep ile kalibrasyon sıvılarının ve bekleme sıvılarının olduğu istasyonlardaki sıvı miktarlarının da düzenli olarak takibi ağırlık sensörleri ile yapılmaktadır. Ağırlık sensörleri istasyonların altına yerleştirilecek ve sürekli olarak istasyonlarda bulunan sıvıların ağırlıkları ölçülecektir. Belirlenen ağırlık seviyesinin altında değer ölçüldüğünde, sıvı miktarının azaldığı anlaşılacak ve sıvı doldurulması gerektiği uyarısını verilecektir.

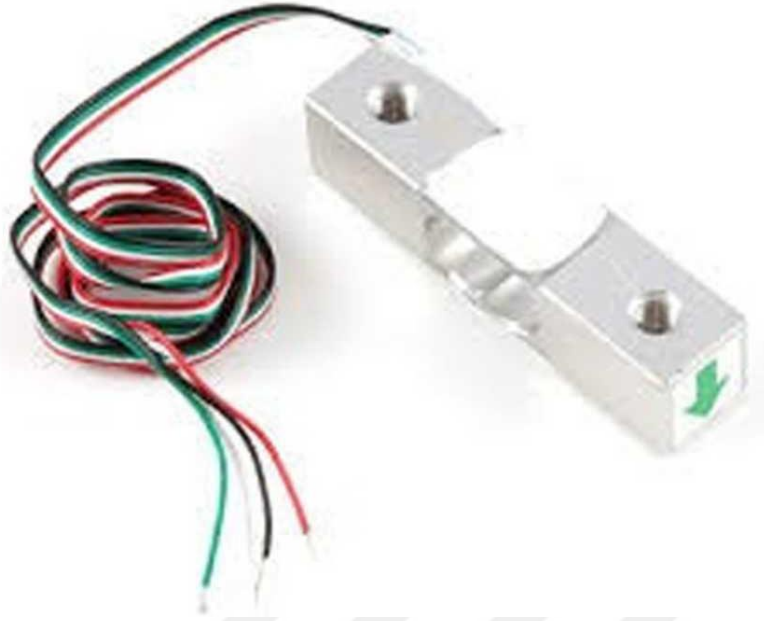
Ağırlık sensörleri, bir nesnenin veya yükün ağırlığını ölçmek için kullanılan elektronik cihazlardır. Farklı çalışma prensiplerine sahip çeşitli ağırlık sensörleri bulunmaktadır.

Yük hücresi, genellikle bir çerçeve veya sensör elemanı ile tasarlanmaktadır. Yük uygulandığında kullanılan çerçeve veya sensör elemanında deformasyon gerçekleşir, gerçekleşen deformasyon gerilme ölçerler yardımı ile tespit edilir. Gerilme ölçerlerdeki direnç değişimine göre ağırlık ölçümü gerçekleştirilmektedir (Ulyanida et al., 2022).

Piezoelektrik ağırlık sensörleri, uygulanan yükün kristal yapının elektriksel özelliklerine olan etkisi hesaplanarak yükün ağırlığı ölçülmektedir (Zhao et al., 2019).

Çalışmanın ihtiyaçları göz önünde bulundurularak, ağırlık sensörü olarak Şekil 2.10 'da görülen en fazla 1 kg ölçebilen yük hücresi tercih edilmiştir. Tercih edilen yük hücresinin teknik özellikleri aşağıda yer almaktadır.

1. Yük Hücresi Ölçüm Kapasitesi: 1 kg
2. Ayırıcı Giriş Gerilimi : $\pm 40\text{mV}$
3. Veri Hassasiyeti: 24 bit
4. Yenileme Frekansı: 80 Hz
5. Çalışma Gerilimi: 4.8 – 5.5V
6. Çalışma Akımı: $<10\text{ mA}$
7. Kart Boyutu: 34.5mm x 20.5mm x 1.1mm
8. Loadcell Boyutu: 80mm x 12.7mm x 12.7mm



Şekil 2.10: 1kg Yük Hücresi

2.2.8. Proximity sensör

Proximity sensörleri, bulunduğu noktanın yakınlarındaki cisimleri temassız algılamak için kullanılmaktadır. Belirli bir mesafedeki cisimleri tespit edebilmektedirler.

Çeşitli tespit yöntemlerine sahip proximity sensörleri mevcuttur.

Kızılötesi proximity sensörler, kızılötesi ışık kullanarak bir cismin varlığını algılamaktadırlar. Mevcut cismin ışığı yansıtması veya engellemesi durumunda sensör bu değişiklik yardımı ile cismi tespit etmektedir (Bertuletti et al., 2017).

Ultrasonik proximity sensörler, ses dalgalarını kullanarak cisimleri tespit etmektedirler. Sensör tarafından gönderilen ses dalgaları bir cisim tarafından yansıtıldığında cisim tespit edilir. Ayrıca ses dalgasının yansıma süresini ölçerek cismin mesafesini de belirleyebilmektedir (Bertuletti et al., 2017).

Endüktif proximity sensörler, girdap akımlarını kullanarak temassız bir şekilde bir nesneyi algılayabilir veya yaklaşımını tespit edebilmektedir. Girdap akımı kayıplarından dolayı bobin direncindeki artış ile bir nesnenin mesafesi tespit edilebilmektedir (Mizuno et al., 2009).

Çalışmanın ihtiyaçları göz önünde bulundurulduğunda, proximity sensör olarak Şekil 2.11 'de görülen SN04-N kullanılması tercih edilmiştir.

SN04-N NPN NO 4mm (Mesafe Dedektörü) yakınlık sensörü, anti vibrasyon, toz, su ve yağ önleme, ters güç koruması, kısa devre koruması gibi özelliklere sahip olup 4 mm içinde metal bir nesnenin varlığını algılar. SN04-N teknik özellikleri aşağıdaki gibidir.

Çalışma Gerilimi (V): 10 - 30

Akım Tüketimi Maksimum: 5 mA

Boyutlar: 18 x 18 x 36 (LxWxH) mm

Algılama mesafesi: 4 mm



Şekil 2.11: SN04-N NPN Proximity Sensör

2.2.9. Step motor sürücü

Step motor sürücüleri, motorlara güç sağlayıp, motorların hızlarını, torklarını ve dönüş açılarını kontrol edilmesini sağlamaktadırlar. Ayrıca motor sürücüleri, motorları aşırı akım veya aşırı ısınma gibi arızaya sebep olabilecek durumlar için koruma mekanizmasına sahiptirler.

Step motor sürücüleri ve kontrol kartları, step motorların konumlandırılmasındaki hassasiyeti arttırmak ve kontrol edilmesini sağlamak amacı ile kullanılmaktadırlar. Bunlara ek olarak aşırı yük ve güç koruması sunmak ve entegrasyonu sağlayarak çoklu step motorların senkronize hareketini sağlamak amacı ile kullanılmaktadır.

Doğru motor sürücüsünün seçimi, motorun verimli ve güvenli bir şekilde çalışmasının yanı sıra çalışma gereksinimlerini karşılamının kritik bir parçasıdır. Motor sürücüsü seçerken dikkate almanız gereken önemli özellikler bulunmaktadır.

Motorun elektriksel özellikleri, seçilen sürücünün çalışmada kullanılacak step motorun elektriksel özelliklerine uygun olmalıdır. Motorun çalışma gerilimi, akım gereksinimi ve adım çözünürlüğü sürücü seçerken dikkate alınmalıdır.

Çalışma gerilimi, step motor sürücüleri step motorun çalışma geriliminden daha yüksek bir gerilim ile beslenmesi, step motorların tork, adım hassasiyeti ve enerji verimliliği açısından daha olumlu ve güvenilir çalışmasını sağlamaktadır.

Akım kapasitesi, step motor sürücüsünün, step motorun ihtiyaç duyduğu akımı sağlayabilmesi gerekmektedir. Step motorun ihtiyaç duyduğu akımın karşılamaması durumunda, verimsiz bir çalışma gerçekleşir.

Adım çözünürlüğü, Step motor sürücüsünün adım çözünürlüğü, step motorun hassas kontrol edilmesini sağlamaktadır. Yüksek hassasiyete ihtiyaç duyulan uygulamalarda adım çözünürlüğü oldukça önemlidir. Koruma ve güvenlik, step motorun ve sistemin korunması için step motor sürücüsünün aşırı ısınma, aşırı akım ve kısa devre koruması gibi özellikleri olmalıdır.

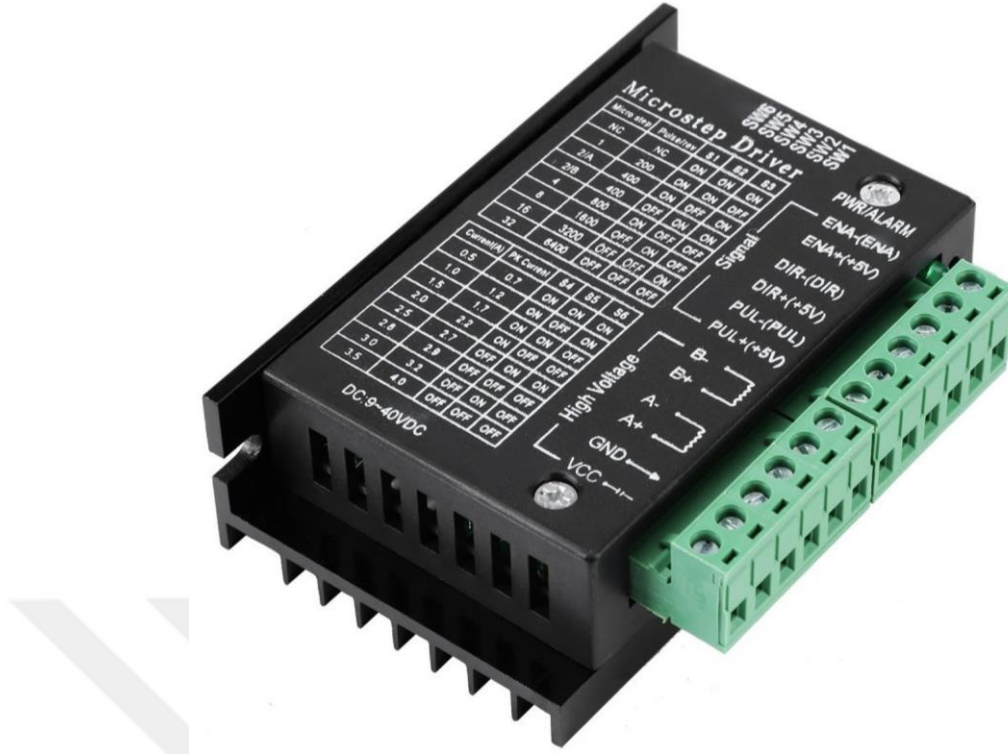
Çalışmada, seçilen step motorları sürmek için step motor sürücü olarak Şekil 2.12 'de görülen TB6600 4A step motor sürücü seçilmiştir. Aşağıda TB6600 4A step motor sürücüyeye ait teknik özellikler bulunmaktadır.

Voltaj: 9 - 40 VDC

Çalışma Sıcaklığı: -10 °C - 45 °C

Maksimum sürücü akımı: 4A

Boyut: 96 x 58 x 28 mm



Şekil 2.12: TB6600 4A Step Motor Sürücü

2.3. Bilgisayar Sistem Bileşenleri

Bilgisayar sistem bileşenleri, birer adet tek kart bilgisayar ve kameradan oluşmaktadır.

2.3.1. Tek kart bilgisayarlar

Tek kart bilgisayarlar, tüm temel bilgisayar donanımlarının tek bir kart üzerine entegre edilmiş kompakt cihazlardır. İşlemci, bellek, depolama, giriş çıkış bağlantıları gibi özelliklerin hepsini bir arada sunmaktadırlar. Genellikle Linux tabanlı işletim sistemi kullanırlar ve kullanıcılara programlama, veri analizi, haberleşme gibi bilgisayarların temel işlevlerini yerine getirebilirler. Tek kart bilgisayarların düşük maliyeti, düşük enerji tüketimi ve taşınabilir olmaları sebebi ile ideal bir seçenektirler.

Bu özellikler doğrultusunda, çalışmada tek kart bilgisayar ile entegre bir şekilde kullanılacak elektronik cihazlar ve elektro-mekanik cihazın ihtiyaçları göz önünde bulundurularak Raspberry Pi serisinin bir üyesi olan Şekil 2.13 'de Raspberry Pi 4 seçilmiştir. Raspberry Pi 4'ün teknik özellikleri aşağıda listelenmiştir.

1. 1.5 GHz dört çekirdekli ARM Cortex-A72 CPU 64-bit SoC Broadcom 2711
2. 4GB LPDDR4 RAM

3. 4k60 HEVC video
4. VideoCore VI Grafikleri
5. 5V-3A çalışmasını destekleyen USB-C güç girişi
6. Gerçek Gigabit Ethernet
7. 2 adet mikro HDMI bağlantı portu 4K video
8. 2 adet USB 3.0 ve 2 x USB 2.0 portları
9. Bluetooth 5.0 BLE



Şekil 2.13: Raspberry Pi 4 Tek Kart Bilgisayar

2.3.2. Kameralar

Çalışmada yapılacak görüntü işleme teknikleri için, kamera seçimi oldukça önemlidir. Yüksek çözünürlük, daha fazla ayrıntıyı tespit etmeye olanak tanımakla birlikte büyük veri dosyaları gerektirir ve işlem gücü gereksinimlerini artırır. Düşük çözünürlük, işlenen görüntüdeki ayrıntıları kaçırmaya sebep olabilir. Ancak depolaması ve işlem gücü gereksinimleri daha düşüktür. Bunların yanı sıra kullanılacak olan kameranın ve görüntü işleme yazılımının uyumu da önemli bir parametredir.

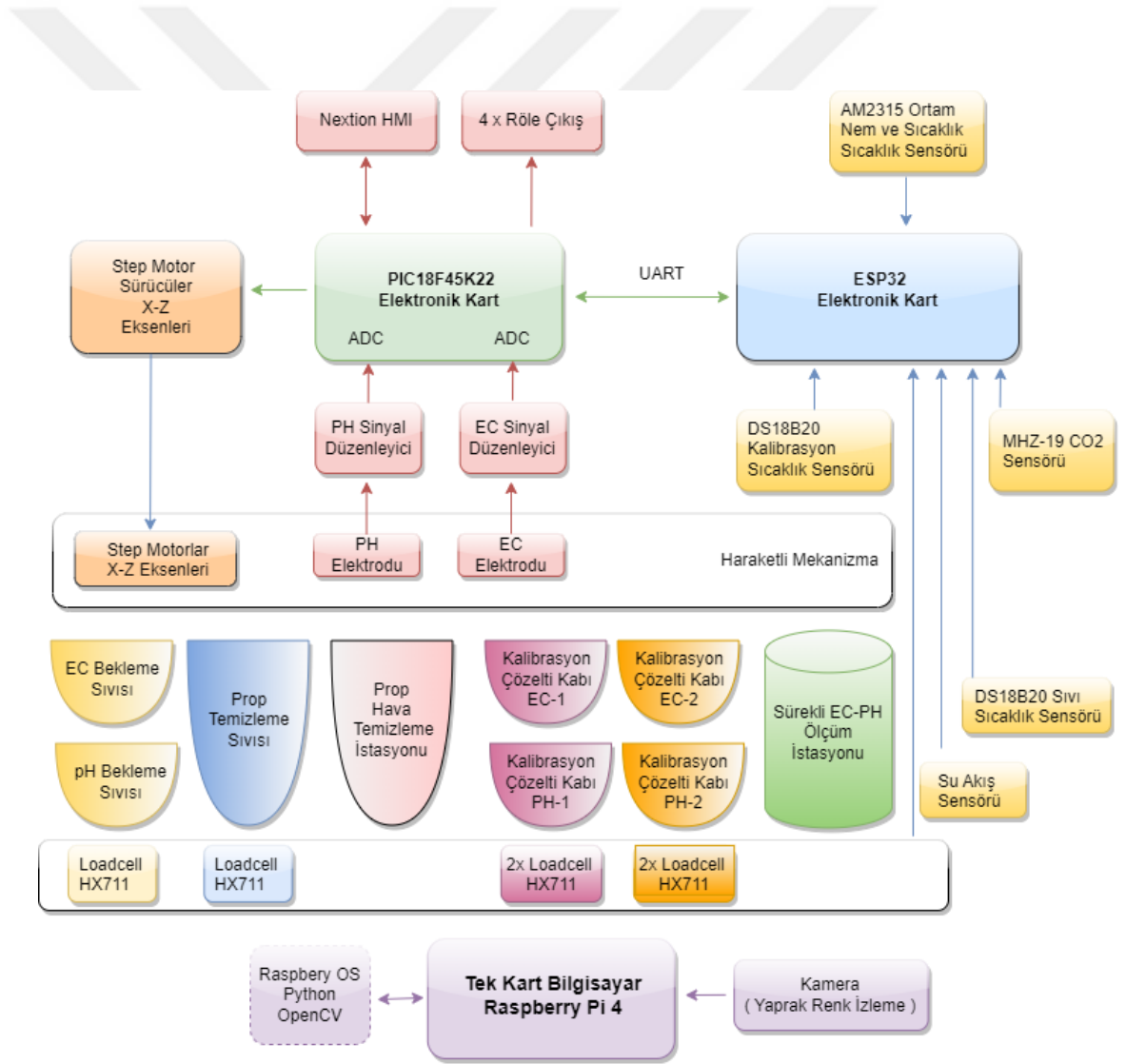
Çalışmada, görsel kalitesi ve kameranın elektronik donanım ile entegrasyonu göz önünde bulundurularak, düşük maliyet ve yeterli performans sebebi ile Şekil 2.14' de yer alan Raspberry Pi HQ kamera kullanılması tercih edilmiştir.



Şekil 2.14: Raspberry Pi HQ Kamera

BÖLÜM 3. MATERYAL VE YÖNTEM

Bu bölüm, otomatik kalibrasyonlu elektro-mekanik sistemin tasarım detaylarını açıklamaktadır. Şekil 3.1 'de genel blok diyagramı verilen sistem, özgün tasarlanan elektronik kontrol kartları, mekanik sistem , HMI Ekran, tek kart bilgisayar, kamera ve sensörlerden oluşmaktadır.



Şekil 3.1: Sistemin Genel Blok Diyagramı

Tasarlanan sistem, otomatik pH ve EC kalibrasyonu yapmak üzere altı farklı istasyondan oluşmaktadır. Her bir istasyonun belirli bir görevi yerine getirmesi, sistemdeki pH ve EC ölçümlerinin doğruluğunu ve güvenilirliğini artırmak için oldukça önemlidir.

Sistem, kullanılan pH ve EC elektrotların ömrünü uzatmak amacıyla bekleme sıvısı içeren bir istasyonla başlamaktadır. Bu istasyon, elektrodun beklemesi sırasında optimum koşulları sağlayarak elektrotların kullanım ömrünü artırmayı hedeflemektedir. Ardından, içinde saf su bulunan temizleme istasyonu devreye girer ve kalibrasyondan önce elektrotların temizlenmesi sağlanır. Bu adım, doğru ve güvenilir ölçümler elde etmek için elektrotların hassas yüzeylerini arındırmaktadır.

Daha sonra, hava kurutma istasyonu, elektrotların üzerinde kalan saf su damlalarını etkili bir şekilde temizleyerek ölçüm sırasında hatalı sonuçları önlenmesine ve ölçüm doğruluğunun sağlanmasında önemlidir. Ardından, çift nokta kalibrasyonu için iki ayrı istasyon devreye girer. Birinci kalibrasyon istasyonu, elektrodun pH ve EC değerlerini ayarlamak için gerekli olan birinci kalibrasyon sıvılarını içerir. İkinci kalibrasyon istasyonu ise ikinci kalibrasyon sıvılarını içerir. Bu adımlar, ölçümlerin standartlara uygun olmasını sağlayarak güvenilir sonuçlar elde etmeyi amaçlamaktadır.

Son olarak, hat ölçüm istasyonu, kullanıcının ölçüm yapmak istediği çözeltinin bulunduğu istasyon olup, tüm kalibrasyon süreçlerinden geçmiş olan elektrotların doğru ve güvenilir ölçümler yapmasını sağlamaktadır. Bu altı istasyonlu tasarım, otomatik kalibrasyon ve ölçüm sürecini optimize ederek, kullanıcıya güvenilir ve hassas sonuçlar sunan bir sistem sağlamaktadır.

Tasarlanan sistemin kontrolü özgün olarak tasarlanan, biri PIC18f45k22 kontrollü diğeri ise ESP32 kontrollü iki elektronik kart ile sağlanmıştır. Sistemde, elektrot ve sensörler ile ölçülen değerler HMI ekranda sisteme özel tasarlanan arayüzde gösterilmektedir. Ek olarak ölçülen değerler, RS485 haberleşme ile diğer otomasyon sistemlerine aktarılacak şekilde tasarlanmıştır.

3.1. Sistemin Mekanik Tasarımı

Sistemin mekanik tasarımı, hafif, paslanmaz ve montaj kolaylığı sebebi ile 30mm x 30mm sigma alüminyum profiller kullanılarak 361,50mmx600mmx350mm

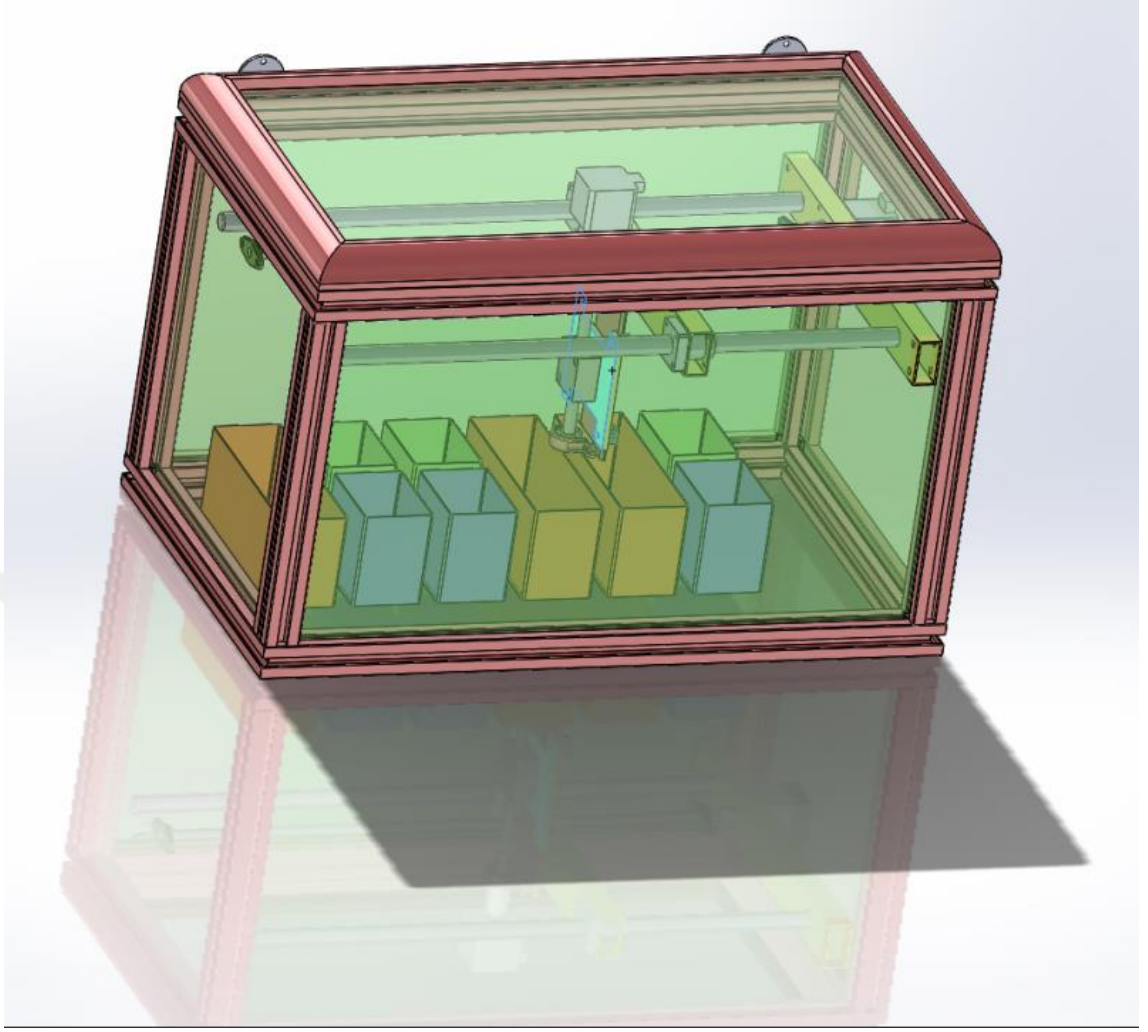
boyutlarında, ölçüm istasyonlarını çevresel etkilerden korurken istasyonlardaki bakım ve değişim işlemlerinin kolay yapılabilmesi için kapaklı bir formda tasarlanmıştır. Tasarım 2D ve 3D modellemesi için popüler bir CAD olan SolidWorks programı kullanılmıştır.

2D modelleme, tasarımın düzlemsel yüzeyler üzerinde detaylı olarak incelenmesini ve değerlendirilmesini sağlamaktadır. Bu aşama, tasarımın temel geometrisini ve ilişkilerini belirlemek için kullanılmaktadır.

3D modelleme, tasarımın üç boyutlu bir ortamda oluşturulmasını ve görselleştirilmesini sağlamaktadır. Bu, tasarımın daha gerçekçi bir şekilde incelenmesine ve üzerinde değişiklikler yapılmasına olanak tanımaktadır. SolidWorks 'ün parametrik modelleme özellikleri, tasarım değişikliklerini kolayca yönetmenizi ve tasarımın farklı açılardan incelenmesini sağlamaktadır. Şekil 3.2 'de sistemin üç boyutlu görseli verilmiştir.

Tasarlanan sistem, otomatik pH ve EC kalibrasyonu yapmak üzere altı farklı istasyondan oluşmaktadır. pH ve EC elektrotlarını bu istasyonlara taşımak için X ve Z eksenini olmak üzere 2 eksenli 2 civa milini üzerinde sonsuz vida milini hareket sağlayan mekanik bir sistem tasarımı yapılmıştır. Bu hareket, 20mm çapındaki sonsuz vida milini kullanan iki adet step motor aracılığıyla sağlanmaktadır. Sonsuz vida milini, hareketin hassas ve kontrollü bir şekilde gerçekleştirilmesine olanak tanımak için kullanılmıştır. Bu tasarım, hem dayanıklı hem de hassas bir mekanik yapı oluşturarak, ölçüm süreçlerinde yüksek performans ve güvenilirlik sağlamayı hedeflemiştir.

Kullanılan step motorlar, 1 puls döndüğünde sistemde meydana gelen 0.1 mm'lik hareket, tasarımın yüksek hassasiyetini göstermektedir. Bu, step motorunun her bir adımının, sistemin X ve Z eksenini üzerindeki ölçüm elektrotlarını 0.1 mm'lik bir çözünürlükle hareket ettirdiği anlamına gelir. Bu hassas kontrol, ölçüm süreçlerinde yüksek doğruluk ve tekrarlanabilirlik elde edilmesine olanak sağlamıştır.



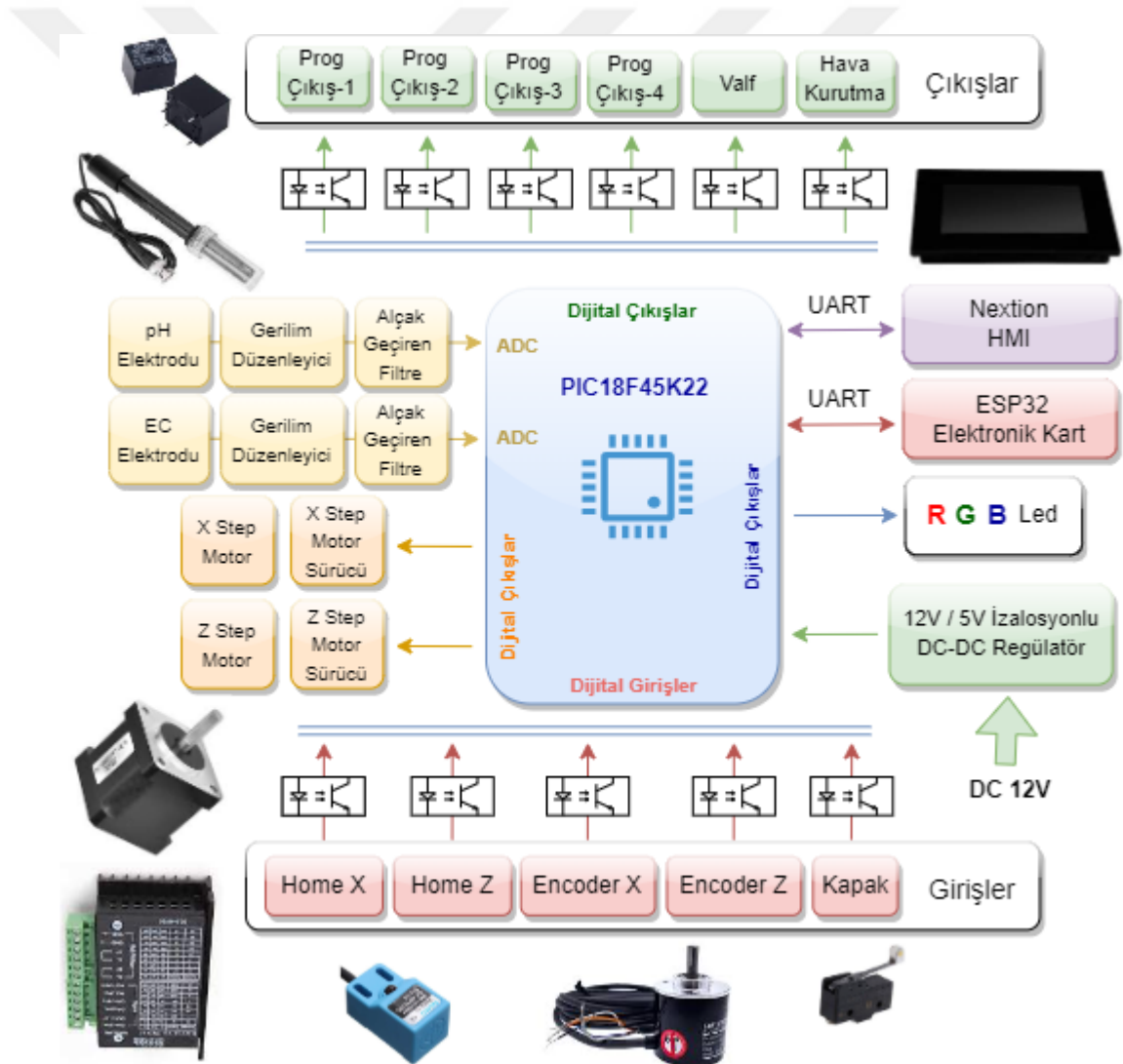
Şekil 3.2 Mekanik Sitemin Üç Boyutlu Görşeli

3.2. Sistemin Elektronik Tasarımı

Elektronik sistem tasarımı, sistemi kontrol etmek üzere PIC18f45k22 kontrollü elektronik kart, ESP32 kontrollü elektronik kart ve HMI ekran olmak üzere üç kısımdan oluşmaktadır.

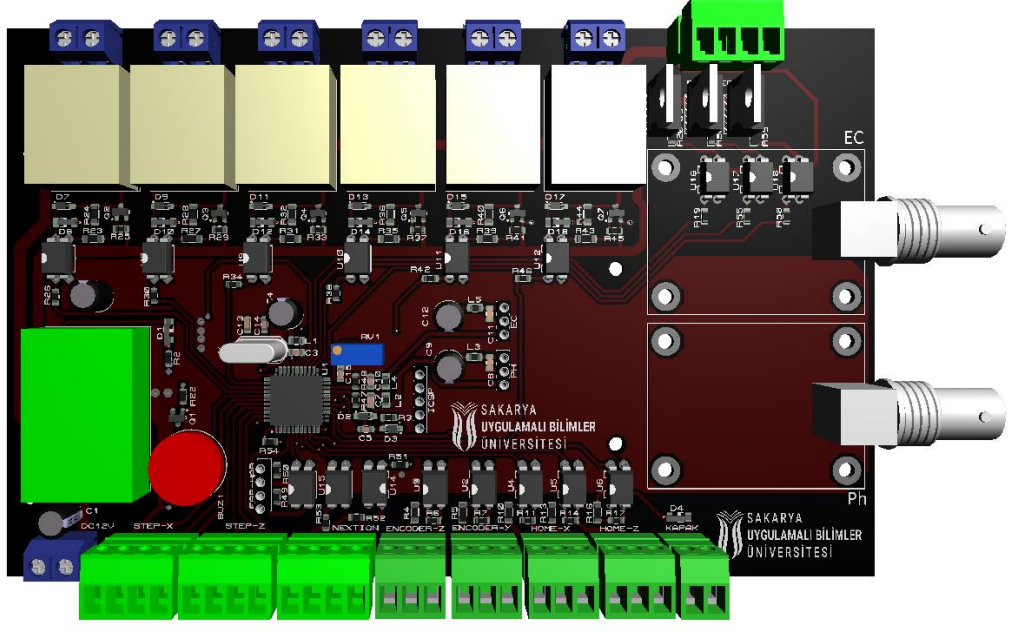
3.2.1. Pic18f45k22 tabanlı elektronik kontrol kartı

Şekil 3.3 'te genel blok diyagramı görülen elektronik kart, step motorları kontrol etmek, EC ve pH ölçümlerini yapmak, programlanabilir röle çıkışları vermek, sensörlerden okunan değerleri yorumlama ve HMI ekrana aktarmak amacı ile tasarlanmıştır. Elektronik devre 12V DC besleme gerilimi ile çalışmaktadır. Mikrodenetleyici beslemesi için izoleli DC 5V regülatör kullanılmıştır. Mikrodenetleyici pinleri ve beslemesi optokuplör devre elemanları kullanılarak dış ortamdan yalıtılmıştır. Bu sayede sistemin olası dış etkilerden korunması, kararlı ve hatasız çalışması hedeflenmiştir.

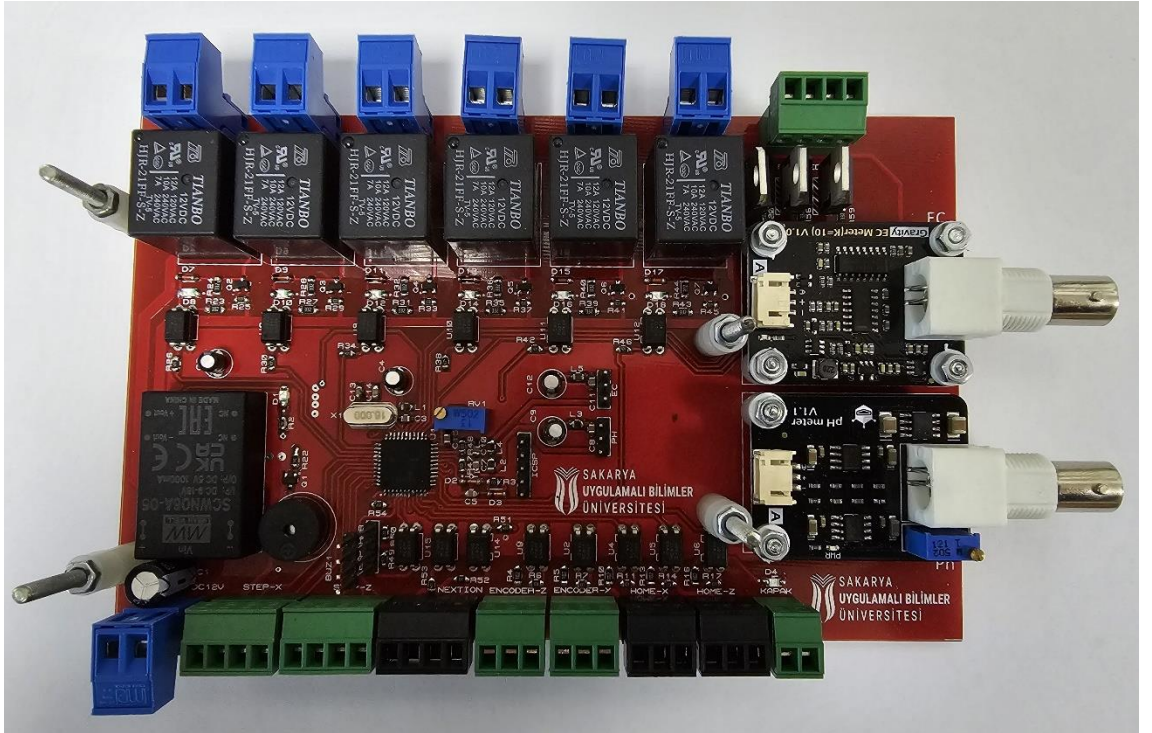


Şekil 3.3: Pic18f45k22 Tabanlı Elektronik Kart Blok Diyagramı

Şekil 3.4 'te tasarlanan devre şemasına ait PCB tasarımının 3D görseli verilmiştir. PCB tasarımı, sistemin her şartta hatasız ve kararlı çalışması için gerekli olan PCB tasarım kuralları dikkate alınarak yapılmıştır. Şekil 3.5 'te tasarlanan PCB nin gerçek görseli görülmektedir.

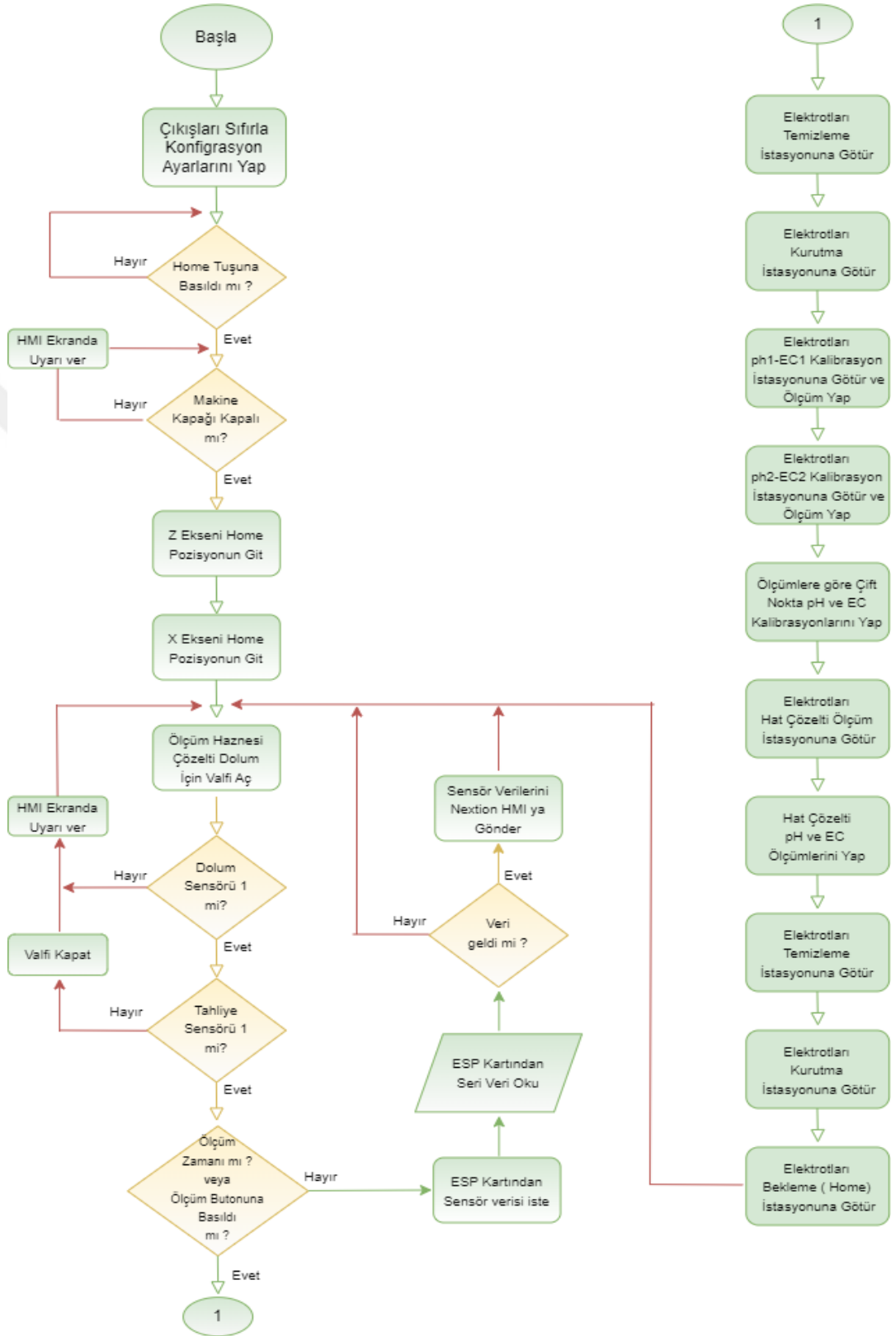


Şekil 3.4: Pic18f45k22 Tabanlı Elektronik Kart 3D Tasarımı



Şekil 3.5: Pic18f45k22 Tabanlı Elektronik Kart

Şekil 3.6 'da PIC18f45k22 mikrodnetleyicisine ait akış diyagramı gösterilmiştir.



Şekil 3.6: PIC18F45K22 Mikrodnetleyici Akış Diyagram

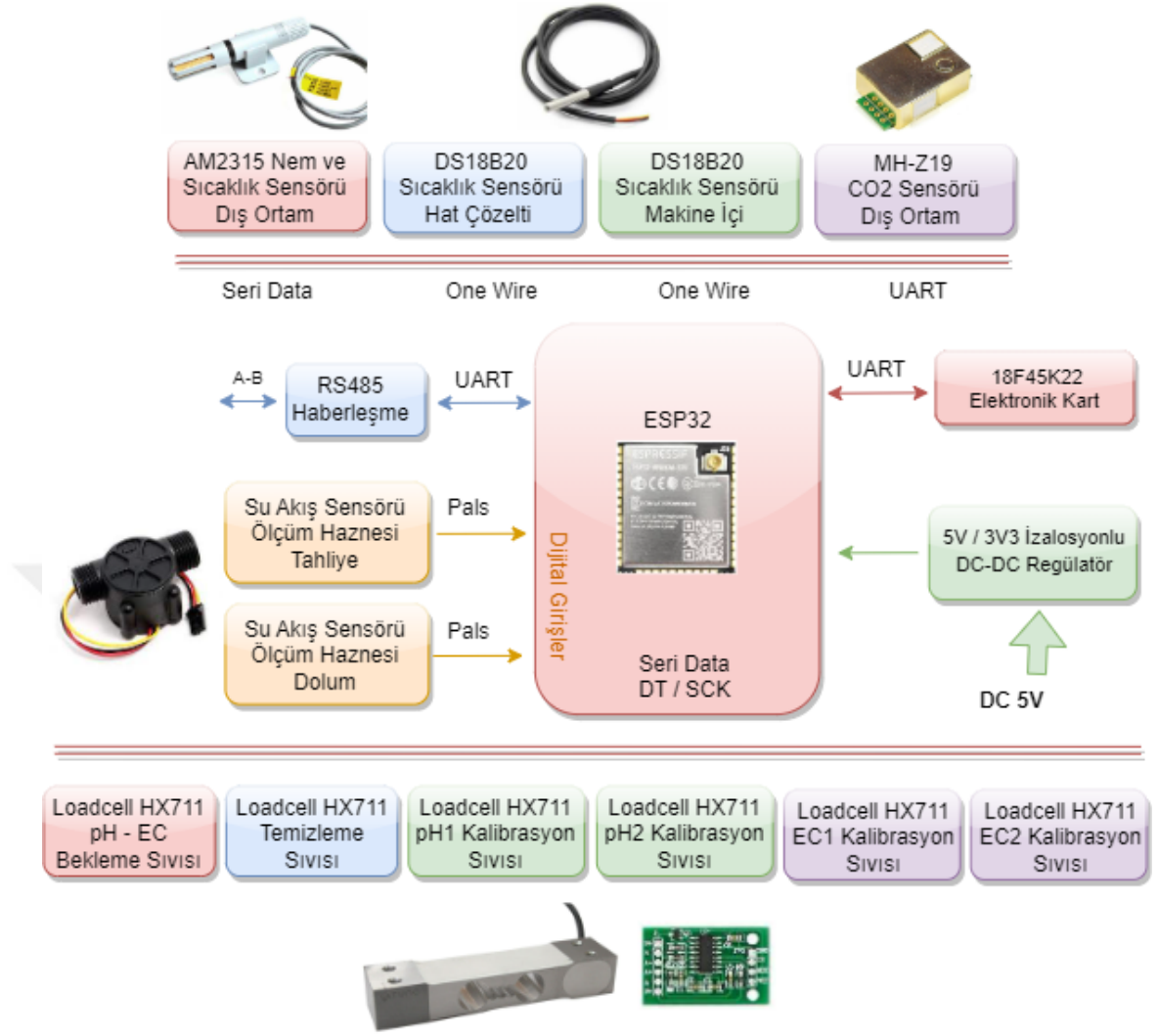
Şekil 3.7 'de PIC18f45k22 mikrodnetleyicisine, C programlama dilinde yazılmış programdan bir kesit görölmektedir.

```
Ph_EC_Metre.c
1 // Mehmet Ali HAZAR Yüksek Lisans Tezi 27.11.2023
2 // Otomatik Kalibrasyonlu pH ve EC Ölçen Elektromekanik Bir Sensör Tasarımı ve Gerçeklemesi
3 // Ph-EC Metre
4
5 #include <18F45K22.h>
6 #device adc=10
7 #fuses XT,NOMCLR,NOBROWNOUT,NOLVP,WDT,PROTECT,PUT,NOPLLEN
8 #use delay(clock=4000000,restart_wdt)
9 #use rs232(baud=9600, xmit=PIN_C6, rcv=PIN_C7, parity=N, bits=8,restart_wdt,stream=nextion)
10 #use rs232(baud=9600, xmit=PIN_D6, rcv=PIN_D7, parity=N, bits=8,restart_wdt,stream=esp32)
11 #use I2C(Master, SDA = pin_C4, SCL = pin_C3)
12 #define KEYHIT_DELAY 2
13 #priority rda,timer1
14
15 #byte PIR1 = 0xF9E
16 #byte RCREG = 0xFAE
17 #byte RCSTA1 = 0xFAB
18
19 // A0 Ph Analog Pin // A1 EC Analog Pin // A3 +Vref Analog
20 #define blue PIN_A4 // Mavi LED
21 #define out2 PIN_A5 // Çıkış Röle 2
22
23 #define homex PIN_B0 // x Ekseni Home Proximity Sensör
24 #define homez PIN_B1 // z Ekseni Home Proximity Sensör
25 #define kapak PIN_B2 // Makine Kapak Açık / Kapalı
26 #define out3 PIN_B3 // Çıkış Röle 3
27 #define out4 PIN_B4 // Çıkış Röle 4
28 // PIN B5 Y Ekseni Encoder Timer3 External Input
29
30 // PIN C0 Z Ekseni Encoder Timer1 External Input
31 #define out1 PIN_C1 // Çıkış Röle 1
```

Şekil 3.7: PIC18F45K22 Mikrodnetleyici Yazılımı

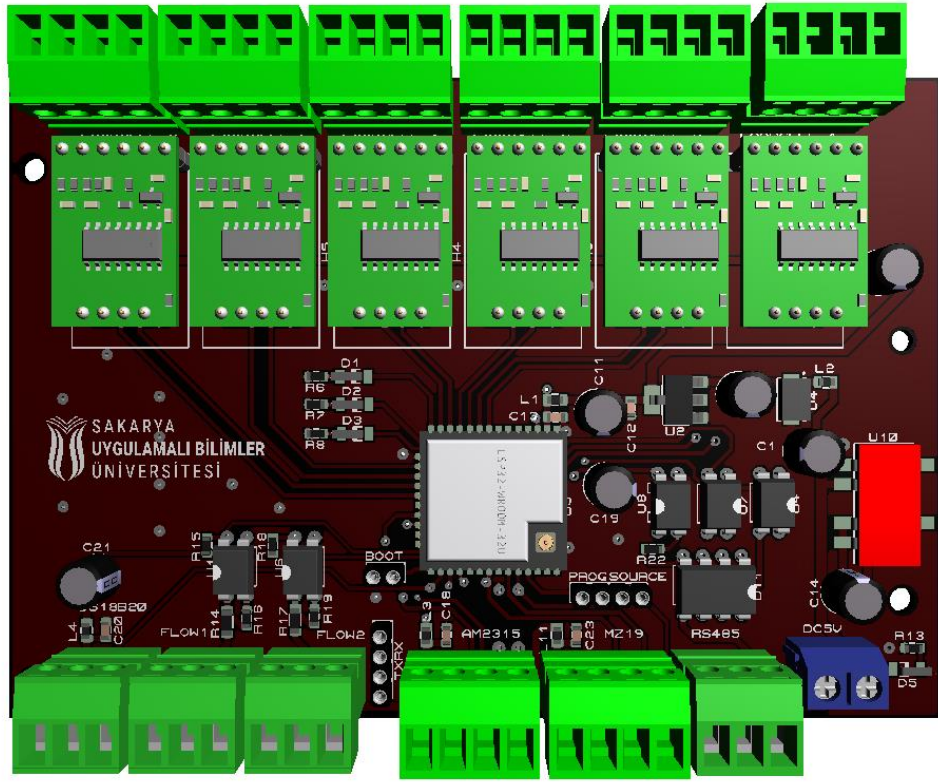
3.2.2. ESP32 tabanlı elektronik kontrol kartı

Şekil 3.8 'de genel blok diyagramı görülen elektronik kart, kalibrasyon istasyonlarındaki sıvıların seviyesini yük hücreleri kullanarak ölçmek, dış ortamın nem ve sıcaklığını ölçmek, kalibrasyon sıvılarının sıcaklığını ölçmek, ölçüm yapılacak çözeltinin sıcaklığını ölçmek, dış ortam karbondioksit seviyesini ölçmek, çözelti haznesindeki sürekli hat akışını takip etmek için su akış basıncını takip etmek, ölçülen değerleri diğer elektronik karta seri haberleşme ile aktarmak ve ölçülen değerleri RS485 ile diğer otomasyon ünitelerine aktarmak üzere tasarlanmıştır. Elektronik devre, 5V DC besleme gerilimi ile çalışmaktadır. Mikrodnetleyici beslemesi için DC 3.3V regülatör kullanılmıştır. Mikrodnetleyici pinleri ve beslemesi, optokuplör devre elemanları kullanılarak dış ortamdan izole edilmiştir. Bu önlem, sistemin olası dış etkilerden korunmasını, kararlı ve hatasız çalışmasını hedeflemiştir.

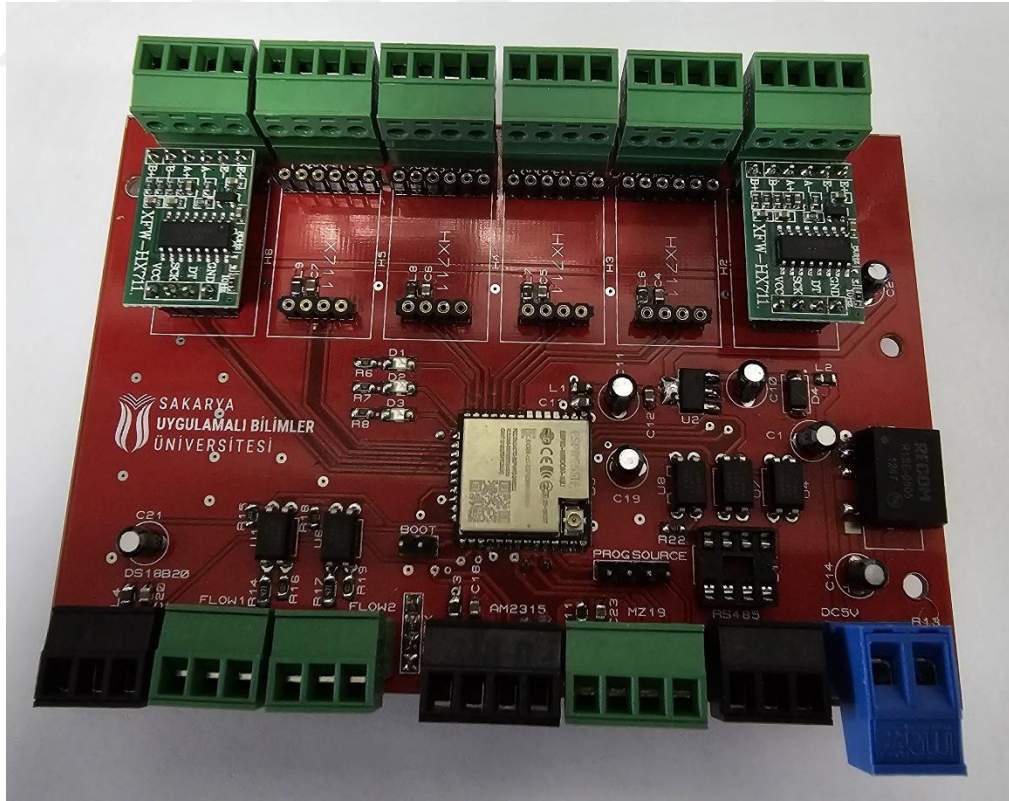


Şekil 3.8: ESP32 Tabanlı Elektronik Kart Blok Diyagramı

Şekil 3.9 'da tasarlanan devre şemasına ait PCB tasarımının 3D görseli verilmiştir. PCB tasarımı, sistemin her şartta hatasız ve kararlı çalışması için gerekli olan PCB tasarım kuralları dikkate alınarak yapılmıştır. Şekil 3.10 'da tasarlanan PCB nin gerçek görseli görülmektedir.

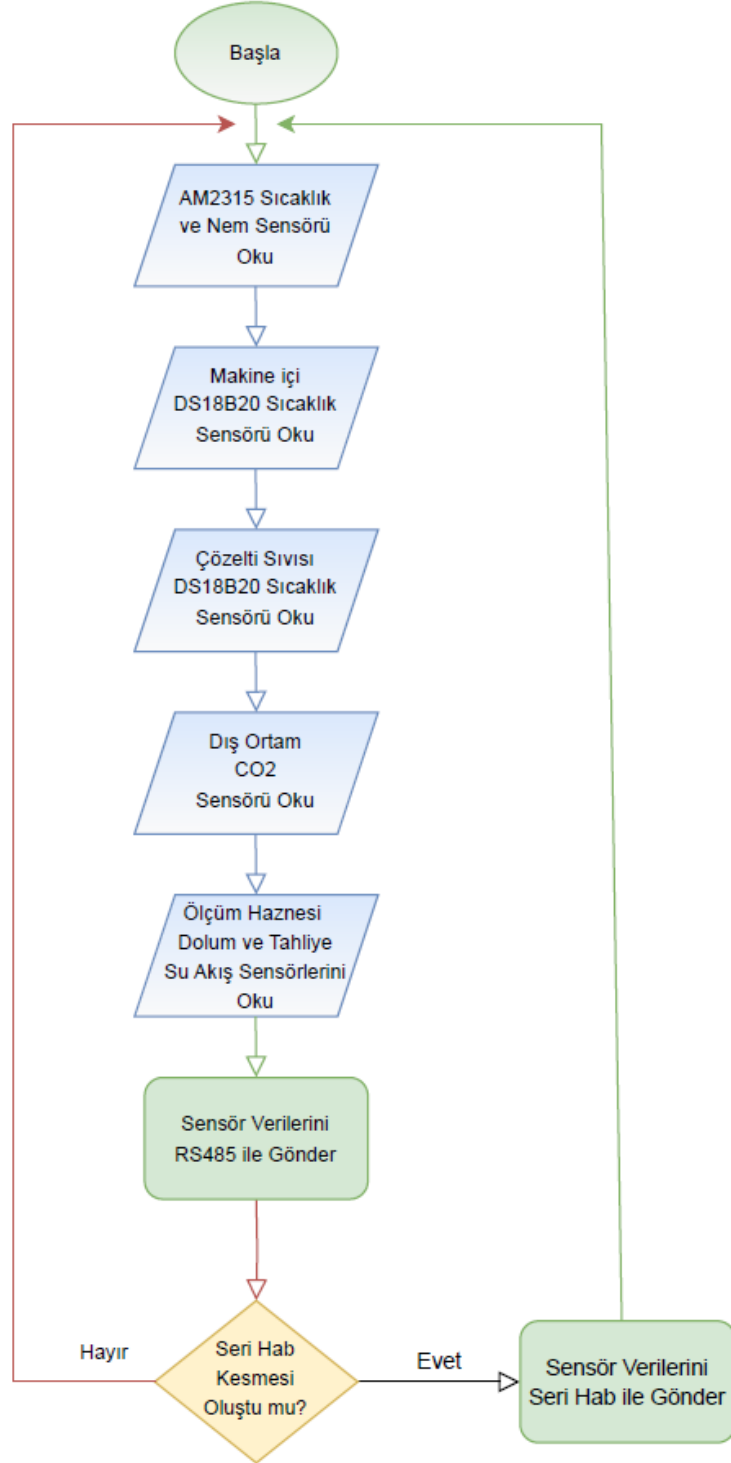


Şekil 3.9: ESP32 Tabanlı Elektronik Kart 3D Tasarımı



Şekil 3.10: ESP32 Tabanlı Elektronik Kart

Şekil 3.11 'de ESP32 mikrodenetleyicisine ait akış diyagramı gösterilmiştir.



Şekil 3.11: ESP32 Mikrodenetleyici Akış Diyagramı

Şekil 3.12 'de ESP32 mikrodenetleyicisine, C programlama dilinde yazılmış programdan bir kesiti görülmektedir.

```

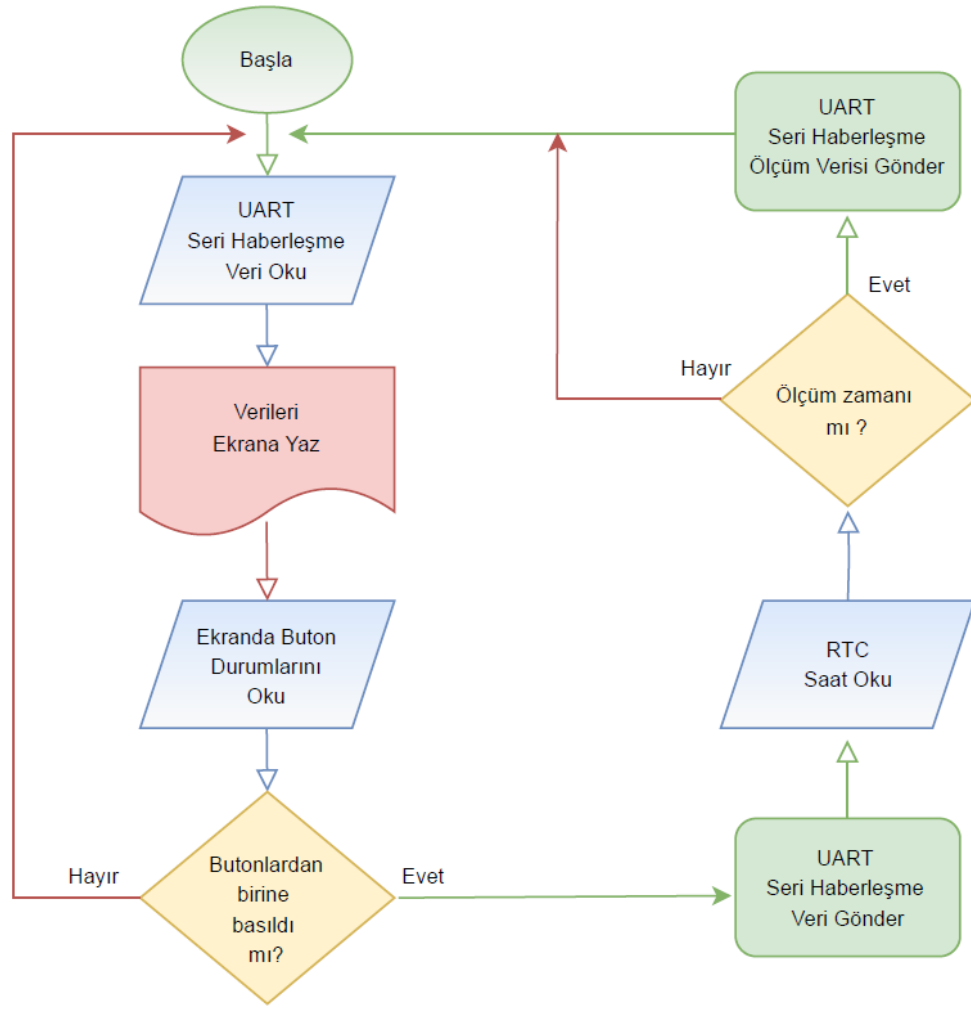
esp32_sensors.ino
1
2 // Mehmet Ali HAZAR Yüksek Lisans Tezi 27.11.2023
3 // Otomatik Kalibrasyonlu pH ve EC Ölçen Elektromekanik Bir Sensör Tasarımı ve Gerçekleşmesi
4 // ESP32
5
6 #include <OneWire.h>
7 #include <DallasTemperature.h> // DS18B20 Sıcaklık Sensörü
8 #include <Adafruit_AM2315.h> // AM2315 Nem ve Sıcaklık Sensörü
9 #include "HX711.h" // LOADCELL
10 #include <Mhz19.h> // Mhz19 Karbondioksit Sensörü
11 #include <SoftwareSerial.h>
12
13 #define SDA_PIN 21
14 #define SCL_PIN 22
15 Adafruit_AM2315 am2315;
16 const int oneWireBus = 4;
17 #define DOUT 23
18 #define CLK 19
19 HX711 scale(DOUT, CLK);
20
21 OneWire oneWire(oneWireBus);
22 DallasTemperature sensors(&oneWire);
23 float weight;
24 float calibration_factor = 20000;
25 float temperature, humidity;
26
27 void setup() {
28
29   Serial.begin(115200);
30   sensors.begin();
31   scale.set_scale();
32   scale.tare(); //Reset the scale to 0
33   long zero_factor = scale.read_average(); //Get a baseline reading
34   Serial.print("Zero factor: "); //This can be used to remove the need to tare the scale. Useful in permanent scale projects.
35   Serial.println(zero_factor);
36   Serial.println("AM2315 Test!");
37
38   if (! am2315.begin()) {
39     Serial.println("Sensor not found, check wiring & pullups!");
40

```

Şekil 3.12: ESP32 Mikrodenetleyici Yazılımı

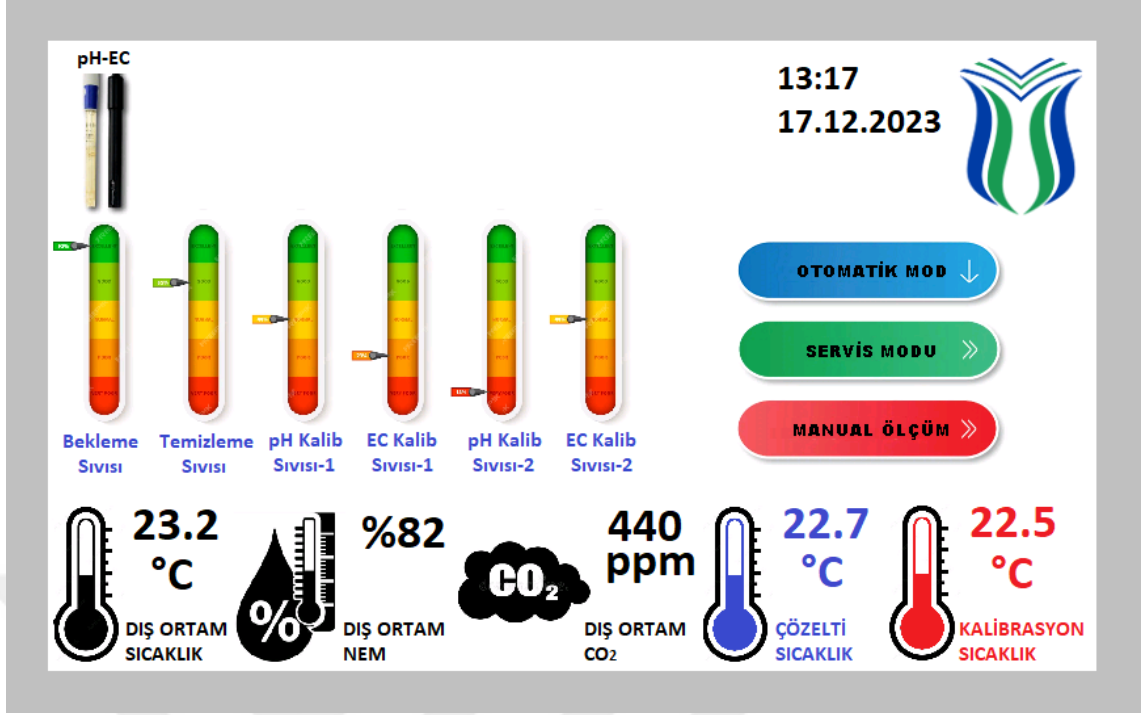
3.2.3. Nextion HMI insan makine arayüzü

HMI ekran sistemdeki sensör ölçümlerini, işlem durumlarını göstermek ve dokunmatik butonlar ile işlemleri kontrol etmek üzere programlanmıştır. Yapılan çalışmada Nextion 7 inc kapasitif dokunmatik ekran kullanılmıştır. Şekil 3.13 'de Nextion HMI 'ye ait akış diyagramı gösterilmiştir.



Şekil 3.13: HMI Ekran Akış Diyagramı

Şekil 3.14 'te Netion HMI ekrana ait kendi editöründe tasarlanmış arayüz görülmektedir.



Şekil 3.14: HMI Ekran Arayüzü

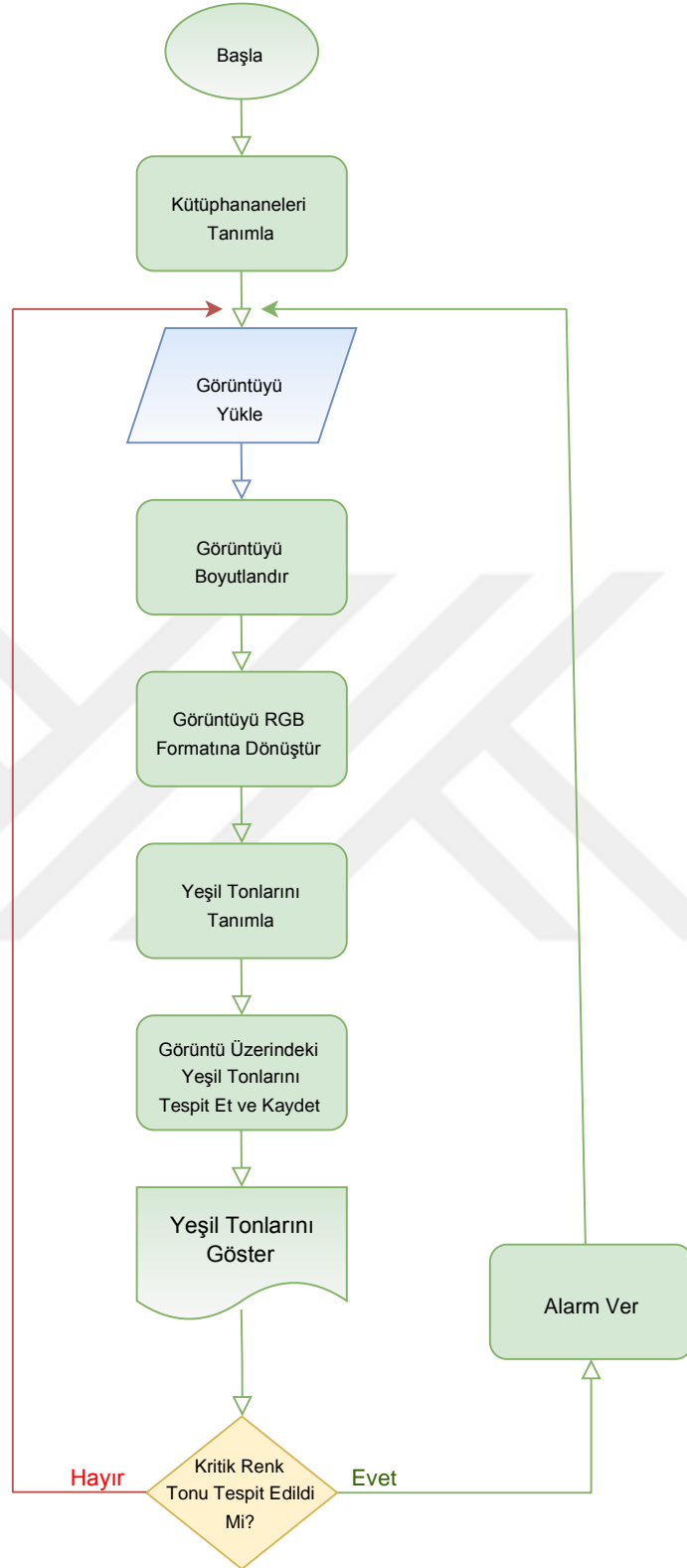
3.3. Sistemin Bilgisayar Programı Tasarımı

Bitkilerin beslendiği akan su kültüründeki ve bitkinin yetiştiği ortamın değerlerindeki değişimler bitkilerin yapraklarında renk değişikliklerine sebebiyet vermektedir (Irawati et al., 2023).

Sistemin bilgisayar programı, bitki yapraklarındaki bu anormal değişiklikleri tespit etmek ve elektro-mekanik cihazdaki bir arıza durumunu tespit etmek amacı ile kullanılmaktadır.

Bitki yaprakları bu sistem ile sürekli izlenecek ve anormal değişimlerde uyarı verecek şekilde tasarlanmıştır.

Şekil 3.13' de sistemin bilgisayar programının akış diyagramı gösterilmiştir.



Şekil 3.15: Bilgisayar Programı Akış Diyagramı

Şekil 3.14' de bilgisayar programının, Python dilinde yazılmış programdan bir kesiti yer almaktadır.

```

1  """
2  Mehmet Ali HAZAR Yüksek Lisans Tezi 27.11.2023
3  Otomatik Kalibrasyonlu pH ve EC Ölçen Elektromekanik Bir Sensör Tasarımı ve Gerçeklemesi
4  Bilgisayar Programı
5  """
6  import cv2
7  import numpy as np
8  import winsound
9
10 image = cv2.imread('path_to_your_image.jpg') # Görüntüyü yükle
11
12 image = cv2.resize(image, (300, 300)) # Görüntüyü yeniden boyutlandır
13
14 image = cv2.cvtColor(image, cv2.COLOR_BGR2RGB) # Görüntüyü RGB formatına dönüştür
15
16 green_ranges = [ # yeşil tonlarını tanımla
17     [(0, 0, 0), (10, 255, 10)], # Yeşil Ton 1
18     [(0, 10, 0), (20, 255, 20)], # Yeşil Ton 2
19     [(0, 20, 0), (30, 255, 30)], # Yeşil Ton 3
20     [(0, 30, 0), (40, 255, 40)], # Yeşil Ton 4
21     [(0, 40, 0), (50, 255, 50)], # Yeşil Ton 5
22     [(0, 50, 0), (60, 255, 60)], # Yeşil Ton 6
23     [(0, 60, 0), (70, 255, 70)], # Yeşil Ton 7
24     [(0, 70, 0), (80, 255, 80)], # Yeşil Ton 8
25     [(0, 80, 0), (90, 255, 90)], # Yeşil Ton 9
26     [(0, 90, 0), (100, 255, 100)], # Yeşil Ton 10
27     [(0, 100, 0), (110, 255, 110)], # Yeşil Ton 11
28     [(0, 110, 0), (120, 255, 120)], # Yeşil Ton 12
29     [(0, 120, 0), (130, 255, 130)], # Yeşil Ton 13
30     [(0, 130, 0), (140, 255, 140)], # Yeşil Ton 14
31     [(0, 140, 0), (150, 255, 150)], # Yeşil Ton 15
32     [(0, 150, 0), (160, 255, 160)], # Yeşil Ton 16
33     [(0, 160, 0), (170, 255, 170)], # Yeşil Ton 17
34     [(0, 170, 0), (180, 255, 180)], # Yeşil Ton 18
35     [(0, 180, 0), (190, 255, 190)], # Yeşil Ton 19
36     [(0, 190, 0), (200, 255, 200)], # Yeşil Ton 20
37     [(0, 200, 0), (210, 255, 210)], # Yeşil Ton 21
38     [(0, 210, 0), (220, 255, 220)], # Yeşil Ton 22
39     [(0, 220, 0), (230, 255, 230)], # Yeşil Ton 23
40     [(0, 230, 0), (240, 255, 240)], # Yeşil Ton 24
41     [(0, 240, 0), (250, 255, 250)], # Yeşil Ton 25
42     [(0, 250, 0), (255, 255, 255)], # Yeşil Ton 26
43     [(10, 0, 10), (20, 255, 20)], # Yeşil Ton 27
44     [(20, 0, 20), (30, 255, 30)], # Yeşil Ton 28
45     [(30, 0, 30), (40, 255, 40)], # Yeşil Ton 29
46     [(40, 0, 40), (50, 255, 50)], # Yeşil Ton 30
47     [(50, 0, 50), (60, 255, 60)], # Yeşil Ton 31
48     [(60, 0, 60), (70, 255, 70)], # Yeşil Ton 32
49     [(70, 0, 70), (80, 255, 80)], # Yeşil Ton 33
50     [(80, 0, 80), (90, 255, 90)], # Yeşil Ton 34

```

Şekil 3.16: Bilgisayar Programı Yazılımı

Bilgisayar programının yazılımı yazılırken, görüntü işleme görevi için OpenCV kütüphanesi, hesaplamalar için numpy kütüphanesi ve alarm sistemi için winsound kütüphanesi kullanılmıştır.

BÖLÜM 4. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu bölümde, çalışmadan elde edilen sonuçlar ve bu çalışmadan elde edilen kazanımlar ile geleceğe dair öneriler yer almaktadır.

4.1. Sonuçlar

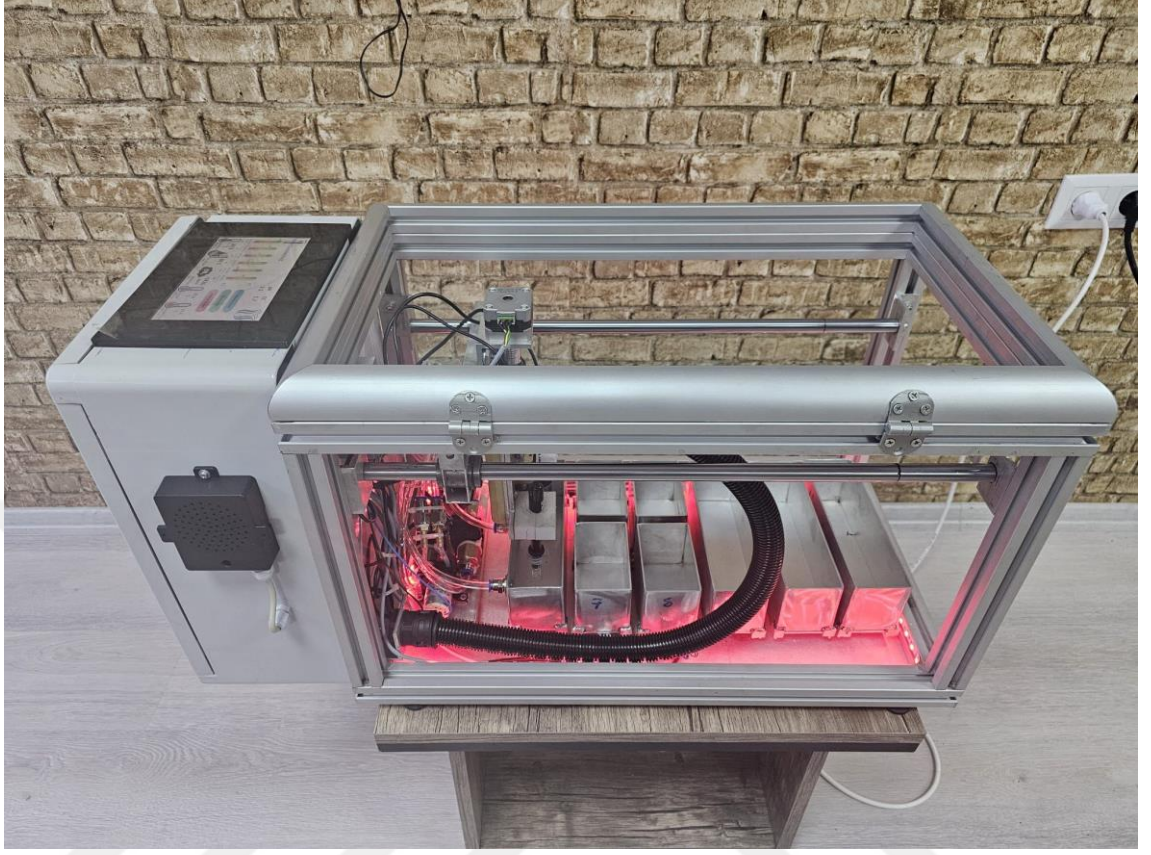
Yapılan çalışmada, uygun olmayan veya seyrek sıklıkta yapılan kalibrasyon işlemlerinden kaynaklı hatalı pH ve EC ölçüm problemlerin önüne geçen ; pH ve EC elektrotların ömrünü uzatan ; ek olarak ortam sıcaklık, nem ve karbondioksik değerlerini yüksek doğrulukta ölçen elektro mekanik bir sistem tasarlanmıştır.

Sistemin mekanik bölümü, hafif, paslanmaz , dış ortam etkilerine dayanıklı , hareketli mekanizma hassasiyeti yüksek, teknik servis ihtiyacı ergonomik bir şekilde yapılacak şekilde tasarlanmış ve imal edilmiştir. Mekanik bölümde yer alan 6 farklı istasyon ve step motor yardımı ile istasyonlar arasında iki eksenle hareket eden elektrotlar, elektrotların uygun koşullarda saklanmasına ve otomatik kalibrasyon yapılmasına olanak sağlamıştır.

Sistemdeki step motorları kontrol etmek ve sensörlerden veri almak için birbirleriyle seri haberleşen PIC18f45k22 ve ESP32 tabanlı 2 farklı özgün elektronik devre ve baskı devre şeması tasarlanmış ve gerçekleştirilmiştir. Sistem hareketlerini ve sensör verilerini takip etmek için 7 inc HMI ekrana özgün bir arayüz tasarlanmıştır.

Sistemin pH ve EC ölçüm doğruluğunu pekiştirmesi amacıyla bitki yaprak renklerinin pH ve EC ölçüm değerleri ile korelasyonunu gözlemlemek için görüntü işleme tabanlı bir yazılım geliştirilmiştir. Geliştirilen yazılım bitki yapraklarının yeşil renk tonlarını takip etmekte ve anormal bir değişimde uyarı vermektedir.

Şekil 4.1' de tasarlanan elektro-mekanik cihazın gerçek görseli bulunmaktadır.



Şekil 4.1: Elektro-Mekanik Cihaz

Gerçekleştirilen elektro-mekanik cihaz ile kalibrasyon öncesi (K.Ö) ve kalibrasyon sonrası (K.S) sıvının pH ve EC değerleri ölçülmüştür. Ölçüm sonuçları Tablo 4.1' de gösterilmiştir. Ölçüm sonuçları doğrultusunda kalibrasyonlu ölçüm ve kalibrasyonsuz ölçüm net bir şekilde görülmüştür.

Tablo 4.1 Kalibrasyon öncesi ve kalibrasyon sonrası pH ve EC değerleri.

Ölçülen Sıvının Gerçek pH Değeri	Kalibrasyon Öncesi pH Değeri	Kalibrasyon sonrası pH Değeri	Hata (%)	Ölçülen Sıvının Gerçek EC Değeri (ms cm ⁻¹)	Kalibrasyon Öncesi EC Değeri (ms cm ⁻¹)	Kalibrasyon Sonrası EC Değeri (ms cm ⁻¹)	Hata (%)
6	6.18	6.01	0.17	2.25	2.42	2.25	0
6	6.17	6.00	0	2.25	2.21	2.26	0.44
6	5.83	6.01	0.17	2.25	2.36	2.25	0
6	5.92	6.03	0.51	2.25	2.21	2.25	0
6	6.42	6.01	0.17	2.25	2.17	2.26	0.44
6	5.89	6.00	0	2.25	2.30	2.25	0
6	6.07	6.01	0.17	2.25	2.48	2.25	0
6	5.91	6.02	0.34	2.25	2.43	2.25	0
6	5.82	6.00	0	2.25	2.16	2.25	0
6	6.11	6.01	0.17	2.25	2.19	2.26	0.44

Yapılan ölçümler doğrultusunda, elektrotların sıvı içerisinde bulunma süresi uzadıkça kalibrasyon sapmalarında hatanın da arttığı tespit edilmiştir.

4.2. Öneriler

Gerçekleştirilen otomatik kalibrasyonlu elektromekanik sensör ile çalışan etkisini en az indirerek ölçüm doğruluğu yüksek pH ve EC ölçüm değerleri elde edilmiştir. Ek olarak ortam sıcaklık, nem ve karbondioksit değerleri de ölçülmüştür. Sistem ileride yapılacak çalışmalara zemin hazırlaması için ölçülen değerleri bir sunucuda depolamak üzere ESP32 tabanlı elektronik kontrol kartı tasarlanmıştır.

İlerleyen çalışmalarda, tasarlanan sistem ile ölçülen değerler ve ölçüm zamanlarında çekilen fotoğraflar eş zamanlı olarak bir sunucuda depolanması planlanmaktadır. Depolanan eş zamanlı sensör verileri ile bitki fotoğrafları arasındaki ilişkiler yapay zeka teknikleri ile işlenerek bitki hastalığı, olumsuz ortam koşulları ve tahmini hasat zamanı gibi çıkarımların yapılabileceği düşünülmektedir.

KAYNAKLAR

- Alcon, F., García-Martínez, M. C., De-Miguel, M. D., & Fernández-Zamudio, M. Á. (2010). Adoption of soilless cropping systems in Mediterranean greenhouses: An application of duration analysis. *HortScience*, 45(2), 248–253. <https://doi.org/10.21273/hortsci.45.2.248>
- Aralekallu, S., Thimmappa, R., Gaikwad, P., Devendrachari, M. C., Kottaichamy, A. R., Shafi, S. P., Lokesh, K. S., Sánchez, J., & Thotiyl, M. O. (2017). Tuning the Interfacial Chemistry of Redox-Active Polymer for Bifunctional Probing. *ChemElectroChem*, 4(3), 692–700. <https://doi.org/10.1002/celec.201600775>
- Arumugam, T., Maheswari, U., & Sandeep, G. (2021). Soilless farming of vegetable crops: An overview. *The Pharma Innovation Journal*, 10(1), 773–785. <https://www.thepharmajournal.com/archives/2021/vol10issue1/PartK/10-7-195-198.pdf>
- Bakhri, S., & Ertugrul, N. (2016). An online non-invasive condition monitoring method for stepping motor CRDM in HTGR. *Atom Indonesia*, 42(3), 105–114. <https://doi.org/10.17146/aij.2016.516>
- Barron, J., Ashton, C., & Geary, L. (2005). The Effects of temperature on pH measurement. *Tsp*, 1(2), 1–7.
- Behera, K., Pandey, S., Kadyan, A., & Pandey, S. (2015). Ionic liquid-based optical and electrochemical carbon dioxide sensors. *Sensors (Switzerland)*, 15(12), 30487–30503. <https://doi.org/10.3390/s151229813>
- Bertuletti, S., Cereatti, A., Comotti, D., Caldara, M., & Della Croce, U. (2017). Static and dynamic accuracy of an innovative miniaturized wearable platform for short range distance measurements for human movement applications. *Sensors (Switzerland)*, 17(7), 1–15. <https://doi.org/10.3390/s17071492>
- Bo, L., Wang, P., Semenova, Y., & Farrell, G. (2015). Optical Microfiber Coupler Based Humidity Sensor With a Polyethylene Oxide Coating. *Microwave and Optical Technology Letters*, 57, 457–461. <https://doi.org/10.1002/mop>
- Chia, S. Y., & Lim, M. W. (2022). A critical review on the influence of humidity for plant growth forecasting. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 1257(1), 012001. <https://doi.org/10.1088/1757-899x/1257/1/012001>
- Džemić, Z., Širok, B., & Bizjan, B. (2018). Turbine flowmeter response to transitional flow regimes. *Flow Measurement and Instrumentation*, 59(November 2017), 18–22. <https://doi.org/10.1016/j.flowmeasinst.2017.11.006>
- Gruda, N. S., & Fernández, J. A. (2022). Optimising Soilless Culture Systems and

- Alternative Growing Media to Current Used Materials. *Horticulturae*, 8(4), 10–13. <https://doi.org/10.3390/horticulturae8040292>
- Gu, L., Zhou, D., & Cao, J. C. (2016). Piezoelectric active humidity sensors based on lead-free NaNbO₃ piezoelectric nanofibers. *Sensors (Switzerland)*, 16(6). <https://doi.org/10.3390/s16060833>
- Hibino, Y., Asakai, T., Suzuki, T., & Ohata, M. (2022). Applicable Measuring Range of Two-Electrode Type Commercial Electrolytic Conductivity Meter for Accurate Determination of Electrolytic Conductivity. *Journal of Chemistry*, 2022, 2–7. <https://doi.org/10.1155/2022/9913667>
- Hu, L., Shen, H. M., Lee, K. M., & Fu, X. (2012). Magnetic field estimation in measurement dead domain for dry calibration of electromagnetic flowmeter. *Measurement Science and Technology*, 23(8). <https://doi.org/10.1088/0957-0233/23/8/085303>
- Iddio, E., Wang, L., Thomas, Y., McMorro, G., & Denzer, A. (2020). Energy efficient operation and modeling for greenhouses: A literature review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 117(October 2019), 109480. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2019.109480>
- Irawati, E. B., Sasmita, E. R., & Padmini, O. S. (2023). Optimal EC Value and Pruning Strategy for Enhanced Growth in Hydroponic Watermelon Cultivation. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 1242(1), 0–6. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1242/1/012010>
- Jabeen, S., Srinivasan, S. K., Shuja, S., & Dubasi, M. A. L. (2015). A Formal Verification Methodology for FPGA-Based Stepper Motor Control. *IEEE Embedded Systems Letters*, 7(3), 85–88. <https://doi.org/10.1109/LES.2015.2450677>
- Joshi, D., Nainabasti, A., Bhandari, R., Awasthi, P., Banjade, D., Malla, S., & Subedi, B. (2022). A review on soilless cultivation: The hope of urban agriculture. *Archives of Agriculture and Environmental Science*, 7(3), 473–481. <https://doi.org/10.26832/24566632.2022.0703022>
- Khamis, M. M., Klemm, N., Adamko, D. J., & El-Aneed, A. (2018). Comparison of accuracy and precision between multipoint calibration, single point calibration, and relative quantification for targeted metabolomic analysis. *Analytical and Bioanalytical Chemistry*, 410(23), 5899–5913. <https://doi.org/10.1007/s00216-018-1205-5>
- Lai, C. K., Ciou, J. S., & Tsai, C. C. (2018). The modelling, simulation and FPGA-based implementation for stepper motor wide range speed closed-loop drive system design. *Machines*, 6(4), 1–14. <https://doi.org/10.3390/MACHINES6040056>
- Lin, Y. B., Lin, Y. W., Lin, J. Y., & Hung, H. N. (2019). SensorTalk: An IoT device failure detection and calibration mechanism for smart farming. *Sensors (Switzerland)*, 19(21). <https://doi.org/10.3390/s19214788>
- Lin, Y. W., Lin, Y. B., & Hung, H. N. (2021). CalibrationTalk: A Farming Sensor Failure Detection and Calibration Technique. *IEEE Internet of Things Journal*, 8(8), 6893–6903. <https://doi.org/10.1109/JIOT.2020.3036859>

- Liu, L. (2015). A Kind of Low Cost Design for Detecting Humidity. *ICMSE*, 168–171. <https://doi.org/10.2991/icmse-15.2015.32>
- Mehboob, A., Ali, W., Razaqat, T., & Talib, A. (2019). *Automation and Control System of EC and pH for Indoor Hydroponics System*. 1–6. https://ieec.neduet.edu.pk/2019/Papers_IEEC_2019/IEEC_2019_33.pdf
- Mizuno, T., Mizuguchi, T., Isono, Y., Fujii, T., Kishi, Y., Nakaya, K., Kasai, M., & Shimizu, A. (2009). Extending The Operating Distance of Inductive Proximity Sensor Using Magnetoplated Wire. *IEEE Transactions on Magnetics*, 45(10), 4463–4466.
- Ng, D. K., Chan, C. H., Lee, R. S., & Leung, L. C. (2005). Non-contact infrared thermometry temperature measurement for screening fever in children. *Annals of Tropical Paediatrics*, 25(4), 267–275. <https://doi.org/10.1179/146532805X72412>
- Okamoto, Y., Nguyen, T. V., Okada, H., & Ichiki, M. (2022). Thermal Flow Sensor With a Bidirectional Thermal Reference. *Journal of Microelectromechanical Systems*, 31(5), 830–839. <https://doi.org/10.1109/JMEMS.2022.3195169>
- Putra, P. A., & Yulianto, H. (2015). Soilless Culture System to Support Water Use Efficiency and Product Quality: A Review. *Agriculture and Agricultural Science Procedia*, 3, 283–288. <https://doi.org/10.1016/j.aaspro.2015.01.054>
- Ragaveena, S., Shirly Edward, A., & Surendran, U. (2021). Smart controlled environment agriculture methods: a holistic review. *Reviews in Environmental Science and Biotechnology*, 20(4), 887–913. <https://doi.org/10.1007/s11157-021-09591-z>
- Rezk, M. Y., Sharma, J., & Gartia, M. R. (2020). Nanomaterial-based co2 sensors. *Nanomaterials*, 10(11), 1–18. <https://doi.org/10.3390/nano10112251>
- Ricci, S., & Meacci, V. (2018). Simple torque control method for hybrid stepper motors implemented in FPGA. *Electronics (Switzerland)*, 7(10). <https://doi.org/10.3390/electronics7100242>
- Sadigov, R. (2022). Rapid Growth of the World Population and Its Socioeconomic Results. *Scientific World Journal*, 2022(1930). <https://doi.org/10.1155/2022/8110229>
- Sahoo, S., Parashar, S. K. S., & Ali, S. M. (2014). CaTiO₃ nano ceramic for NTCR thermistor based sensor application. *Journal of Advanced Ceramics*, 3(2), 117–124. <https://doi.org/10.1007/s40145-014-0100-6>
- Sako, A. V. F., & Micke, G. A. (2019). Fast determination of iodine number of biodiesel using capillary zone electrophoresis with multi- And single-point calibration. *Journal of the Brazilian Chemical Society*, 30(2), 318–325. <https://doi.org/10.21577/0103-5053.20180180>
- Shamshiri, R. R., Jones, J. W., Thorp, K. R., Ahmad, D., Man, H. C., & Taheri, S. (2018). Review of optimum temperature, humidity, and vapour pressure deficit for microclimate evaluation and control in greenhouse cultivation of tomato: A review. *International Agrophysics*, 32(2), 287–302. <https://doi.org/10.1515/intag-2017-0005>
- Shi, K., Chen, Y., Yu, B., Xu, T., Li, L., Huang, C., Liu, R., Chen, Z., & Wu, J. (2016).

- Urban expansion and agricultural land loss in China: A multiscale perspective. *Sustainability (Switzerland)*, 8(8), 1–16. <https://doi.org/10.3390/su8080790>
- Srivani, P., Yamuna Devi, C., & Manjula, H. (2019). A Controlled Environment Agriculture with Hydroponics: Variants, Parameters, Methodologies and Challenges for Smart Farming. *2019 15th International Conference on Information Processing: Internet of Things, ICINPRO 2019 - Proceedings*. <https://doi.org/10.1109/ICInPro47689.2019.9092043>
- Su, J. J., Ding, S. T., & Chung, H. C. (2020). Establishing a smart farm-scale piggery wastewater treatment system with the internet of things (IoT) applications. *Water (Switzerland)*, 12(6). <https://doi.org/10.3390/w12061654>
- Tagle, S., Pena, R., Oblea, F., Benozza, H., Ledesma, N., Gonzaga, J., & Lim, L. A. G. (2018). Development of an automated data acquisition system for hydroponic farming. *2018 IEEE 10th International Conference on Humanoid, Nanotechnology, Information Technology, Communication and Control, Environment and Management, HNICEM 2018*, 2–6. <https://doi.org/10.1109/HNICEM.2018.8666373>
- Ulyanida, S., Supriyanto, A., Suciayati, S. W., & Junaidi, J. (2022). Automatization of Weight and Height Measurement Using Ultrasonic Sensors HC-SR04 and Load Cell Based on Arduino UNO at Integrated Services Posts (Posyandu). *Journal of Energy, Material, and Instrumentation Technology*, 3(4), 127–137. <https://doi.org/10.23960/jemit.v3i4.103>
- Wang, C., & Cao, D. (2020). New sensorless speed control of a hybrid stepper motor based on fuzzy sliding mode observer. *Energies*, 13(18). <https://doi.org/10.3390/en13184939>
- Wei, H., & Lu, C. (2022). Farmland change and its implications in the Three River Region of Tibet during recent 20 years. *PLoS ONE*, 17(4 April), 1–13. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0265939>
- Yadav, S., & Swamy, V. (2022). IOT based Vertical Farming using PH calibration and controlling. *SSRN Electronic Journal*. <https://doi.org/10.2139/ssrn.4020206>
- Zhang, G., Li, Y., & Li, Q. (2010). A miniaturized carbon dioxide gas sensor based on infrared absorption. *Optics and Lasers in Engineering*, 48(12), 1206–1212. <https://doi.org/10.1016/j.optlaseng.2010.06.012>
- Zhao, Q., Wang, L., Zhao, K., & Yang, H. (2019). Development of a novel piezoelectric sensing system for pavement dynamic load identification. *Sensors (Switzerland)*, 19(21). <https://doi.org/10.3390/s19214668>
- Topraksız Tarım*. (n.d.-a). <https://www.tarimorman.gov.tr>
- Topraksız Tarım*. (n.d.-b). <https://ziraatyapma.blogspot.com/>