

KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ELEKTRİK-ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

BİTKİ İŞARETLERİNİN YÜZEY POTANSİYELLERİ YÖNTEMİYLE ÖLÇÜM VE ANALİZİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Zübeyir DURĞUT

NİSAN 2023
TRABZON



KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ELEKTRİK - ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**BİTKİ İŞARETLERİNİN YÜZEY POTANSİYELLERİ YÖNTEMİYLE
ÖLÇÜM VE ANALİZİ**

Elektrik - Elektronik Müh. Zübeyir DURĞUT

Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsünce
"ELEKTRONİK YÜKSEK MÜHENDİSİ"
Unvanı Verilmesi İçin Kabul Edilen Tezdir.

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 24 / 02 / 2023

Tezin Savunma Tarihi : 13 / 04 / 2023

Tez Danışmanı : Prof.Dr. İsmail KAYA

Trabzon 2023

ÖNSÖZ

Pek çok disiplindeki bilim insanı ve araştırmacı, doğrudan veya dolaylı olarak bitki elektro-potansiyel işaretleri konusunda araştırma yürütmektedir. Son yıllarda, elektronik devre ve sensör arayüzü tasarımlarının zararsız ve esnek ölçüm bağlamındaki çalışmalar bitkiler üzerine yoğunlaşmıştır. Veri toplama ve analiz çalışmalarında doğru verinin alınması çok önemlidir. Bu sebeple, ölçüm sistemi ve prop bileşenlerinde temel çalışma yapılması amaçlanmıştır. Literatürde geçen elektro-potansiyel özel karakteristik işaretlerin algılanması ve filtrelenmesi konularında araştırma ve uygulama çalışmalarını destekler çalışma içermektedir. İşaret analizi ve sensör arayüzü konularında gelecekte yapılacak çalışmalara temel kaynak olmasını temenni ederim.

Güncel ve disiplinler arası konu olan bitki elektro-potansiyelleri kapsamında, bu tezin yazılmasında bilgisini paylaşan ve değerli zamanını ayıran danışmanım Prof.Dr. İsmail KAYA'ya saygılarımı sunar, teşekkür ederim. Gerek donanım, gerek programlama, gerek tartışma zemininde desteğini esirgemeyen Dr. Yusuf BALTACI ve Sefa ÜNAL'a her türlü destekleri için teşekkür ederim.

Yeşim ER'e tartışma zemini ve ölçümlerdeki desteği için teşekkür ederim. DSPLAB araştırmacıları Cem ŞİŞMAN, Selim SAĞIR ve Resul ADANUR'a teşekkürler. HATAL Lab ve Tüm Elektrik-Elektronik Fakültesi çalışanlarına Oğuzhan BAŞER, M. Ali KÜÇÜK ve Doç. Dr. Mehmet ÖZKOP özelinde her yardımları için teşekkür ederim.

Ögr.Gör. Beyhan KARPUZ'a, Kütüphane Dökümantasyon Başkanlığı özelinde teşekkür ederim.

Ayrıca her zaman yanımda olan, maddi ve manevi desteğini sağlayan aile fertlerimin her birisine teşekkür ederim.

Zübeyir DURĞUT

Trabzon 2023

TEZ ETİK BEYANNAMESİ

Yüksek Lisans Tezi olarak sunduğum “Bitki İşaretlerinin Yüzey Potansiyelleri Yöntemiyle Ölçüm ve Analizleri" başlıklı bu çalışmayı baştan sona kadar danışmanım Prof. Dr. İsmail KAYA'nın sorumluluğunda tamamladığımı, verileri/örnekleri kendim topladığımı, deneyleri/analizleri KTU Elektrik-Elektronik Mühendisliği Digital Sinyal Prosesing (DSP) laboratuvarında yaptığımı/yaptırdığımı, başka kaynaklardan aldığım bilgileri metinde ve kaynakçada eksiksiz olarak gösterdiğimi, çalışma sürecinde bilimsel araştırma ve etik kurallara uygun olarak davrandığımı ve aksinin ortaya çıkması durumunda her türlü yasal sonucu kabul ettiğimi beyan ederim. 13/04/2023

Zübeyir DURĞUT

Yüksek Lisans Tezi

ÖZET

BITKİ İŞARETLERİNİN YÜZEY POTANSİYELLERİ YÖNTEMİYLE ÖLÇÜM VE
ANALİZİ

Zübeyir Durgut

Karadeniz Teknik Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Elektrik & Elektronik Mühendisliği
Danışman: Prof. Dr. İsmail KAYA
2023, 57 Sayfa, 19 Sayfa Ek

Son yıllarda, bitkiler üzerinde yapılan verim analizi, mutant bitki araştırmaları, protez geliştirme, yer çekimsiz ortam, farklı gezegen etkisi araştırmaları söz konusudur. Bitki flora ağı haberleşmesinin küçük örneği bitki özelindeki etkileşim çalışmaları işaret ve sensör alanlarında yürütülmektedir. Bu sebeple, bitki tepkilerinin daha hassas ve zararsız algılanma yöntemleri geliştirilmektedir. Bu araştırmalar, bitki işaret çeşitliliğinde işlev bağlamıyla literatürde ve endüstride bir çok disiplinin odağındadır.

Bitki elektro-potansiyellerinin yüksek hassasiyetle alınması, ölçümündeki iç ve dış istenmeyen etmenlerin belirlenerek minimize edilmesini gerektirmektedir. Böylece, temel işaretlerin algılanması ve analizi yüksek doğrulukla yapılabilir. Bu etmenler, elektrot, kablo ve ölçüm devresi gibi doğru ve dolaylı etkilerin azaltılmasını gerektirmektedir. Dahası, ölçüm yüzeyi elektriksel özelliklerinin değişiminden, ölçümün etkilenmesinin optimum seviyeye indirilmesi gerekmektedir.

Bu çalışmada, elektrostatik etkinin bitki elektro-potansiyellerinden ayrımı, filtreleme, ölçüm devresi, veri alınması ve gerçek zamanlı çizdirilmesi literatür bağlamı ile araştırılmıştır. Ayrıca, elektrot çeşitliliğinde Au, AgCl patch, Cu, CuNi, çelik ve yeni bir bitki yüzey elektro-potansiyel algılanması yöntemi karşılaştırılmış ve tartışmaya açılmıştır. Bu temel çalışma, bilinen stres faktörlerinin erken algılanması ve analizi yaşamsal elektro-potansiyel işaretlerin takibi ve bitki haberleşmesi konularına temel oluşturacak araştırma ve uygulama çalışmasıdır.

Anahtar Kelimeler: Bitki elektropotansiyel işaretler, Bitki haberleşmesi, Varyasyon potansiyeli, Aksiyon Potansiyeli, Hızlı Bileşen, Rapid Komponent, Ritmik Elektriksel Aktivite, EKG elektrodu, Altın iğne invasif elektrot, Bakır tel, İnvazif elektrot, Lineer analiz, Yüzey potansiyelleri, İnvazif yöntem zararı, Bakır yüzey elektrot, Prop equazizasyonu, Bitki elektrot analizi.

Master of Science Dissertation

SUMMARY

MEASUREMENT AND ANALYSIS OF PLANT SIGNS BY SURFACE POTENTIALS

METHOD

Zübeyir Durğut

Karadeniz Technical University

The Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Electrical & Electronics Engineering

Supervisor: Prof. Dr. İsmail KAYA

2023, 57 Page, 19 Page Appendix

In recent years, yield analysis on plants, mutant plant research, prosthetic development, zero-gravity environments, and studies on the effects of different planets have been discussed. Interactions within plant flora communication, which serve as small examples, are being carried out in the fields of signaling and sensor areas. Therefore, more sensitive and harmless methods of detecting plant responses are being developed. These studies are the focus of various disciplines in the literature and industry, within the context of the functional significance of plant signaling diversity.

Achieving high sensitivity in the measurement of plant electro-potentials requires identifying and minimizing internal and external unwanted factors. This ensures the accurate detection and analysis of fundamental signals. These factors necessitate the reduction of direct and indirect effects, such as electrode, cable, and measurement circuit. Furthermore, the measurement surface needs to minimize the impact of changes in its electrical properties.

In this study, the distinction, filtering, measurement circuit, data acquisition, and real-time plotting of the electrostatic effect from plant electro-potentials were investigated within the context of the literature. Additionally, a comparison and discussion were conducted regarding the variety of electrodes, including Au, AgCl patch, Cu, CuNi, steel, and a new method for detecting plant surface electro-potentials. This foundational work serves as a research and application study that will contribute to the early detection and analysis of known stress factors, as well as the monitoring of vital electro-potential signals and plant communication.

Key Words: Plant, Electropotential Signal, Electrical Potential, Variation Potential, Rapid Component, Action Potential, Rhythmical Electrical Activity, Probe Data Acquisition Equalizer, Plant Surface Potentials, Invasive Electrode, Gold Needle, Cu wire, Surface Measurement Method, ECG electrode, Linear impedance analysis, Rapid Component, Plant Invasive Method, Plant Surface Method, Biopotential Electrodes, Non-invasive Measurement, Bioelectric Signals.

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa No</u>
ÖNSÖZ	IV
TEZ ETİK BEYANNAMESİ	V
ÖZET	VI
SUMMARY	VII
İÇİNDEKİLER	VIII
ŞEKİLLER DİZİNİ	XI
TABLolar DİZİNİ	XIII
1. GİRİŞ	1
1.1. Bitki Biyopotansiyellerine Yaklaşım	1
1.2. Tezin Kapsamı	4
1.3. Sorumluluk Sınırı ve Bilgilendirme	4
1.4. Bitki İşareti Kavramına Yaklaşım	4
1.5. Motivasyon, Amaç ve Hedef	5
1.5.1. Motivasyon	6
1.5.2. Amaç	7
1.5.3. Hedef	8
1.6. Tarihçe	8
1.6.1. Bitkilerde Haberleşmenin İpuçları	10
1.7. Literatürde Bitki İşaret İşleme Çalışmaları ve Sensör Uygulamaları . . .	10
1.7.1. Literatürde İnvazif Elektrot Kullanımı	10
1.7.2. Literatürde İnvazif Olmayan Yöntemler	11
1.7.3. Literatürdeki İşaret İşleme Yöntemleri	12
1.8. Bitki Stres Kaynakları	12
1.8.1. Yaşam Dışı Stres Kaynakları	12
1.8.2. Biyolojik Stres Kaynakları	13
1.9. Bitki Elektrik İşaretlerinin Sebebi, Kaynağı, Etki Alanı ve Anlamları . .	13
1.9.1. Varyasyon Potansiyeli	15
1.9.2. Aksiyon Potansiyeli	16
1.9.3. Hızlı Bileşen	17
1.9.4. Ritmik Elektriksel Aktivite	18
2. TEORİ, MATERYAL VE METOD	19
2.1. Örneklem Teoremi	19

2.1.1.	Ayrık Zaman Dönüşümü	19
2.1.2.	Kuantalama	20
2.2.	Veri Aktarımı	20
2.2.1.	UART Haberleşmesi	20
2.2.2.	Bluetooth Haberleşmesi	21
2.3.	Gürültü	22
2.3.1.	Saçılma Gürültüsü	22
2.3.2.	Termal Gürültü	23
2.3.3.	Beyaz Gürültü	23
2.3.4.	Gauss Gürültüsü	24
2.3.5.	Pembe Gürültü	24
2.3.6.	Elektromanyetik Girişim	25
2.4.	Bitki Kaynaklı Gürültü	25
2.5.	Alçak Geçiren Filtre	26
2.6.	Deneyseti ve Ölçüm Yöntemi	26
2.6.1.	Prop Seçimi	26
2.6.2.	Ölçüm Yöntemi	28
2.6.3.	Ölçüm Bitki Seti	29
2.7.	Kullanılan Ölçüm Metotları ve Analizi	29
2.7.1.	$\Delta\Sigma$ Analog Dijital Dönüştürücü	29
2.7.2.	Ölçüm Devresi	32
2.7.3.	Çoklu Elektrot Yöntemi	32
2.8.	Veri Dijital Filtrelenmesi	34
3.	YAPILAN ÇALIŞMALAR	35
3.1.	Yaprağın Elektriksel Stabilitate Ölçümleri	35
3.1.1.	Anlık Yüzey Ölçümleri	35
3.1.2.	Uzun Dönemli Yüzey Ölçümleri	36
3.1.3.	İnvasif ve İnvasif Olmayan Elektrot Kullanımlarının Fiziksel Etkileri	37
3.2.	Elektrostatik Etki Ölçüm Düzeneği	39
3.3.	Prop Optimizasyonu	40
4.	BULGULAR	44
4.1.	Topraklama Gürültüsü	44
4.2.	Prop Optimizasyonu	44
4.3.	Analog ve Dijital Filtreleme	45
4.3.1.	EMWA Filtre Katsayı Belirleme	45
4.3.2.	Ölçümde EWMA Filtre Etkisi	47
4.3.3.	Filtrelenmiş AP	47

4.3.4.	Filtrelenmiş VP	47
4.3.5.	Filtrelenmiş HB	48
4.4.	Bitki İşaretlerinin Elektrostatik Etkiden Ayrılması	49
4.5.	Elektrotların Karşılaştırılması	50
4.5.1.	DC Seviyeleri	50
4.5.2.	VP İşaretinin Algılanması	51
5.	SONUÇLAR	53
6.	TARTIŞMA	55
7.	ÖNERİLER	57
8.	KAYNAKLAR	58
9.	EKLER	65
ÖZGEÇMİŞ		

ŞEKİLLER DİZİNİ

	<u>Sayfa No</u>
Şekil 1. Çevresel etmenler karşısında bitki stratejisinin araçları.	2
Şekil 2. Varyasyon Potansiyelleri	15
Şekil 3. Aksiyon Potansiyelleri Serisi	16
Şekil 4. AP öncesi hızlı bileşen ve AP	17
Şekil 5. Tx ve Rx geçişi	21
Şekil 6. UART protokolü 5 veri, 1 parite, 1 durdurma bit formatı, kısaca 5D1S1P.	21
Şekil 7. Sinc Fonksiyonu	25
Şekil 8. Yüzey elektrotları	28
Şekil 9. Yüzey potansiyellerinin alınma adımları	28
Şekil 10. Propların yerleşim şeması	29
Şekil 11. İğne elektrotların yerleştirilmesi	30
Şekil 12. Devre gürültü alt sınırı	31
Şekil 13. MSP430I2040 işlemcisi ve ölçüm devresi	32
Şekil 14. Yaprığın ölçümü eşdeğer devresi	33
Şekil 15. Çoklu elektrot yöntemiyle (4T) 50 mm için ardışık ölçülen değerler.	35
Şekil 16. 54 saat süresince çoklu elektrot yöntemiyle alınan ölçümler.	37
Şekil 17. Altın iğne kullanımının bitki yüzeyi takibi.	38
Şekil 18. AgCl elektrotun kullanımının bitki yüzeyi takibi.	38
Şekil 19. Önerilen prop kullanımının bitki yüzeyi takibi.	39
Şekil 20. Elektrostatik etki karşılaştırması model elektrot bağlantıları.	40
Şekil 21. Proben ölçüm devresine etkisinin eşdeğer devresi.	41
Şekil 22. Prop Denkleştirici Diyagramı	41
Şekil 23. Lineer Çapraz Denkleştirici	42
Şekil 24. Öğrenme devresine bağlanan 2 uçlu probun devresi.	43
Şekil 25. Öğrenme devresinin filtre katsayılarını optimize etmesi.	44
Şekil 26. Öğrenme devresinin filtre katsayılarını optimize etmesi.	45
Şekil 27. Filtrelenmiş EP değişimindeki tepe noktaları	46

Şekil 28.	İkinci kez filtrelenen EP değişimindeki tepe noktaları	46
Şekil 29.	AP filtreleme karşılaştırması.	47
Şekil 30.	VP filtreleme karşılaştırması.	48
Şekil 31.	HB filtreleme karşılaştırması.	48
Şekil 32.	Bakır bitki modeli ve <i>Ficus Elastica</i> 'nın (Kauçuk) statik yüke tepkileri.	49
Şekil 33.	Bakır bitki modeli ve <i>Ficus Elastica</i> 'nın (Kauçuk) uyarısız tepkisi . .	49
Şekil 34.	EP'lerin DC seviyelerine göre elektrot karşılaştırma ölçümleri (uyarısız ve koralasyonsuz).	50
Şekil 35.	Özel bir uyarı verilerek alınan VP tepkisinin elektrotlar bazında karşılaştırılması.	51



TABLÖLAR DİZİNİ

	<u>Sayfa No</u>
Tablo 1. Yaşamsal olmayan uyarı faktörleri	13
Tablo 2. UART TL16C550D standardı bazı özellikleri	20
Tablo 3. Kullanılan bluetooth modülünün özellikleri	21
Tablo 4. Ölçüm elektrotları	27
Tablo 5. Deney seti bitkileri ve özellikleri	29
Tablo 6. MSP430I2040 mikroişlemcisinin özellikleri	31
Tablo 7. EMWA filtresi işaret tepe noktaları gecikme farkları.	47

KISALTMALAR DİZİNİ

<i>AC</i>	: Alternatif Akım	(Alternate Current)
<i>ADC</i>	: Analog Dijital Dönüştürücü	(Analog Digital Converter)
<i>AP</i>	: Aksiyon Potansiyeli	(Action Potential)
<i>CPE</i>	: Sabit Faz Elementi	(Constant Phase Element)
<i>CPU</i>	: Merkezi İşlem Birimi	(Central Processor Unit)
<i>ECG</i>	: Elektrokardiyografi	(Electrocardiography)
<i>EWMA</i>	: Üssel Ağırlıklı Hareketli Ortalama	(Exponentially Weighted Moving Average)
<i>DR</i>	: Dinamik Aralık	(Dynamic Range)
<i>FIR</i>	: Sonlu Giriş Cevabı	(Finite Input Response)
<i>LPF</i>	: Alçak Geçiren Filtre	(Low Pass Filter)
<i>P/S</i>	: Paralel/Seri	(Parallel/Serial)
<i>RC</i>	: Hızlı Bileşen	(Rapid Component)
<i>REA</i>	: Ritmik Elektriksel Aktivite	(Rhythmical Electrical Activity)
<i>TI</i>	: Texas Instruments	
<i>UART</i>	: Evrensel Asenkron Alıcı Verici	(Universal Asynchronous Receiver Transmitter)
<i>VOCs</i>	: Geçici Organik Bileşikler	(Volatile organic compounds)
<i>VI</i>	: Voltaj-Akım	(Voltage-Current)
<i>VP</i>	: Varyasyon Potansiyeli	(Variational Potential)

1. GİRİŞ

1.1. Bitki Biyopotansiyellerine Yaklaşım

Bitkisel işaretler, fiziksel veya kimyasal dış parametrelerle manipüle edilebilmektedirler. Bu bağlamdaki tepkiselliğiyle, ispatlanmasının ötesinde karşılaştırma metodu olarak kullanılmaktadır. Bitkisel işaretler temelde bir veya bir çok bilgi aktarım yolu (kanal) ile ortaya çıkmaktadır. Kimyasalların taşınması, hidrolik etki, elektriksel işaret, havada molekül taşınması ve renkler yardımıyla etkileşim yapabilmektedirler [1]. Fizyolojik olarak belirli bir fonksiyon doğrultusunda özelleşebilen bu araçlar, hayatsal fonksiyonların gerçekleşmesinde, düzenlenmesinde veya durdurulmasında kullanılmaktadır. İşaret metotlarının kullanımı kapsamında elektriksel işaretler, özellikle hızı ve yayılımı açısından vazgeçilmezdir. Elektrokimyasallarla oluşturulan elektriksel işaretler, ilk keşiflerinden itibaren fiziksel ve kimyasal yapılardaki fonksiyonuyla mercek altındadır. Örneğin sinek kapan bitkisi ve küstüm çiçeğindeki mekanizmalar, hayvansal sinir sisteminde bulunan elektriksel işaretlerle benzerlik içermektedir. Bu benzerlik bitkisel elektrik fikrinin sorgulanmasına yol açmıştır.

Bitki işaretlerinin halen birçok bilinmezliğinin bulunması, bitki işaretlerinin/mekanizmalarının arasındaki fizyolojik çeşitlilikle birlikte felsefi çıkarımların ispat zorluğuyla açıklanabilir. Bitkilerin 381,959 türü bulunmaktadır [2]. Farklı yapılardaki gözlemler, yöntemler ve bulgular farklılaşmaktadır. Böylece sonuçların tekrar edilmesi uzamakla kalmayıp şüphesiz genelleştirmeyi zorlaştırmaktadır.

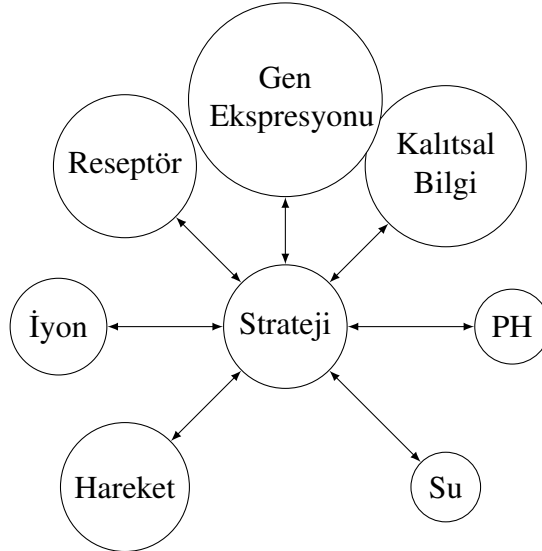
Bitki elektrik işaretlerin kaynağını hücreler ve hücre altı yapılar oluşturmaktadır. Çok fazla tartışılan bu konu, hücrelerin işaretlerinin kabul edilme tartışmalarından [3], bitkiler arası bilgi iletmelerine taşınmıştır. Bitkilerin elektriksel işaret üretmesi ve bu işaretlerinin gövdesi boyunca yayılımı kanıtlanmıştır [4, 5]. Yaygın işaretlerin dışında, son zamanlarda bitkilerin $40kHz$ ve üzerinde ses ürettikleri keşfedilmiştir [6]. Keşfedilmeye devam eden bitki işaretleri, süregelen bilinmezlikleri içerecek karmaşıklığa sahiptir. Bu sebeple, nedenleri ve sonuçları üzerindeki tartışmaların bir çok disiplinde sürmektedir.

Hücre içi ve hücreler arası yayılan elektriksel işaretlerin anlamlandırılması bir çok deney ve farklı çalışmalarla irdelenmektedir. Yaşamsal fonksiyonların gerektirdiği aksiyonların yanında, bitkilerin hayatsal bir tehdidi algılama ve savunma için spor, koku, asit v.b. mekanizmalarını tetiklemede elektriksel işaretleri kullandığı bilinmektedir. Bunun sebebi hiç şüphesiz görece hareket edememeleridir. Bu durum ise onların yaşamlarındaki her türlü

engeli aşmada afarklı yöntemlere yöneltmektedir. Bu durumda ise elektriksel işaretler, gerek duyulan hız ve erişim ihtiyacını karşılamaktadır. Bitkiler hücreseel yönelimlerini bir bütün olarak büyüme, korunma, üreme gibi hayatsal faaliyetlerini yürütmekte kullanmaları gerekmektedir. Genel sinir sistemi olmadan, kimyasal ve biyolojik yapılarını kullanarak gerçekleştirmelidirler. Elektro-potansiyel işaretler hücre içinden bitki gövdesi ve ötesindeki alanı, yayılım ve fonksiyonellik farklarıyla kapsamaktadır.

Bitki hücrelerinin yaprak, gövde ve diğer bitkiler arasındaki etkileşim sağlanmaktadır. Bu etkileşimleri sonucunda kolektif olarak hareket etmeleri, iletişim kurmalarını gerektirmektedir [1]. Bitkilerde genel sinir sistemi yerine hücrelerin topluca işaretleri alabilmeleri yorumlamaları, cevap üretecek ilk tetikleme ile kolektif yanıt için gereken gücü üretmeleri ve etkileşimleri konusunda gereksinimleri yapmaları gerekmektedir. Gereken güç ihtiyacını karşılamada, hayvan kas yapılarındaki ilk kasılma işareti ve bu işarete bitişik hücrelerin uyum sağlayarak destek verme mekanizması geçerli olabilir. Ancak, bütüncül eylemlerin koordinasyonunda sıcaklık, ısı ve ışık gibi etkiler söz konusudur [7].

Tanınan ardışık dış ve iç uyarıları algılama, yorumlama ve cevap üretmeleri, farklı bir tehditle karşılaştıklarında da sürmektedir. Bu durum yaşamsal fonksiyonlarını devam ettirmek için, yeni hayatsal bilgi ile onarımı (gerekeni) kapsayan yeni bir strateji geliştirmeleri anlamına gelmektedir. Bunun içinse, yapısındaki Şekil 1'deki araçları kullanmaktadır.



Şekil 1. Çevresel etmenler karşısında bitki stratejisinin araçları.

Bitki EP işaretlerinin nasıl bir potansiyel bilgi içerdiği veya karar mekanizmalarıyla kontrolü nasıl sağladığı bu yaklaşımla irdelenmelidir. Canlının güncel durumu, devam

ettirdiği biyolojik aktivite, çevresel bilgiye göre tetiklediği hayati fonksiyonlar açısından önemli bir araç olarak karşımıza çıkmaktadır. Bu daha minimal etki kaynağına konuyu ilişkilendirmektedir. Bu ise karmaşıklığın ve ölçüm sistem gereksiniminin, hücre membran potansiyelleri ve gen salınımını içeren bir çok disiplinin alanına girmektedir. Bu ise bitki yüzey potansiyellerinin anlamlandırılmasında çok önemli verinin varlığını ispat etmektedir.

İç veya dış uyarılarla tetiklenen bitki, bir süre sonra hayati fonksiyonlarını yeni normale güncellemektedir. Bunu değişen parametre açısından, hücreden tüm hücrelere veya sınırlı alandaki hücrelere etki etmesi deneylerle görülse de işaretin hangi fonksiyonlarla tetiklediği, yorumlanması ve sonucunda hangi fonksiyonu ürettiği hücre temelinde çok büyük bir araştırma konusudur.

Üretilen mikro elektro-potansiyel değişimlerle çok hızlı tepkime yapabilmeleri elektrofizyoloji, bitki fizyolojisi, genetik mühendisliği, biyo-mühendislik, bitki kimyası(phytochemistry) gibi bir çok bilim dalının kapsamında bulunmaktadır. Ancak bu durum haberleşmenin yapısında olan frekans, bant genişliği, yayılım ve filtreleme konuları özellikle, taşınan bilgi konusundaki araştırmalar haberleşme ve bilgi teorisini doğrudan ilgilendirmektedir [8].

Literatürdeki haberleşme, elektronik, sensör alanlarıyla ilgili birçok çalışmanın odağında bulunan çevresel ve hayati bilgilerin güncel olarak ölçülebilmesi, bitkinin çoklu sensör olarak kullanılabilmesi gibi amaçlara yöneliktir. Bu durum, hayati fonksiyonlarının çalışma prensibinin anlamlandırılması, kendi iç haberleşmesinin anlaşılması, dış uyarıların etkilerinin ve cevaplarının anlamlandırılması bağlamında daha çok araştırma gerektirmektedir [9]. Bunun farkında olan hücre bilimciler ve ilgili alandaki uzmanların, yerel olmayan haberleşmenin bilgi miktarının anlamlandırmasında uzmanlıkları bulunmamaktadır. Bu sebeple, bu alan disiplinler arası alan olmakla birlikte haberleşme ve bilgi teorisi kapsamlarında reddedilse de öne çıkmaktadır [10].

Bitki elektro-potansiyel işaretler sadece ana bileşenlerde daha hassas ölçümler sayesinde bu işaretlerin temelini oluşturan bileşen bölüm 1.9.3.'de anlatılmıştır. Ölçümde kullanılan invazif elektrotların çeşitli sakıncaları bulunmaktadır. Bu durumda başlanılacak en önemli nokta, daha zararsız ölçüm sistemi ve prop bağlantısı teknikleri geliştirmektir. Bu durum ise değer bir alan olan probun yapısındaki yüzey elektrot ilişkisinde sensör teknolojinin önemini belirtmektedir. Ölçüm, daha zararsız yüzey potansiyeli yöntemiyle ölçümün etkisini minimize edilmesi bir çok çalışmanın amacıdır. Ölçüm kabullerinin ve belirli işaretlerin tanınması bu güne kadar işaretlerin kısmi olsa da anlaşılmasıyla oldu. Bu durum belirli

bir standartlaşmaya yardımcı olmakla birlikte detaylandırma ve anlamlandırmayı zorunlu kılmaktadır. Oysaki halen bir çok teknolojik sıçramayla ne keskinlik artmış ne de standartlaşmaya gidilebilmiştir.

1.2. Tezin Kapsamı

Bu tez temel EP işaretlerinin tanımlanması, bitki üzerinden uzun süre boyunca algılanması, gerekli filtrelenmesi üzerine yapılan bir temel çalışma olup bu konuda EP işaretlerin güç veya frekans bağlamında ilişkisinin kurulmasına dair temel çalışma içermektedir.

1.3. Sorumluluk Sınırı ve Bilgilendirme

Konuların kapsamı ve genişliği göz önüne alındığında, konu sınırlaması ve sorumluluğu gerekmektedir. Bu tez, bitkisel işaretlerin yaprak yüzeyinden algılanıp anlamlandırılması üzerine odaklanmaktadır. Biyolojik yapı değişimleri, su akışı, turgor basıncı gibi sinyallerin kaynağını buna bağlı bitki fizyolojisini içeren konulara odaklanmamaktadır [11, 12]. Ayrıca, moleküler fizyolojinin ilgilendiği iyon analizi konularını içeren, elektro-kimyasal sensör uygulaması anlamında bir analiz içermemektedir [13].

Cleve Backster tarafında öne sürülen hipotezde, bitkilerin yalan algılanmasında kullanılmasıyla ilgili olan hipotezi bulunmaktadır [14]. Kendisinin geliştirdiği yalan makinesi detektörü ve bu konudaki çalışmaları bu alana büyük katkı sağlamıştır. Ancak bitkilerle yapılabilecek bir teknik veya ispatlı bir çalışma bulunamamıştır [15]. Hatta birçok bilim adamının tekrarlama girişiminin başarısız olduğunu yazmaktadır [16].

1.4. Bitki İşareti Kavramına Yaklaşım

Haberleşme, Türk Dil Kurumuna göre "Duygu, düşünce veya bilgilerin akla gelebilecek her türlü yolla başkalarına aktarılması, bildirişim, haberleşme, iletişim." olarak tanımlanmaktadır. Bu tanım, gönderici, araç, katılımcı, alıcı ve verici gibi kavramlar göz önünde bulundurularak genişletilebilir. Dijital haberleşme kısmında bilgi miktarı, sembol oranı, işaret gürültü oranı gibi daha fazla sistematik bilgi miktarları bizi karşılamaktadır. Her ne kadar biyolojik açıdan bakıldığında dijital haberleşme araçları önemsiz görülse de bunun ölçülmesi ve analizinin yapılabilmesi bu kavramlar göz önüne alınmadan imkansızdır.

Bu yaklaşım farkı bazı biyologlar açısından diğerini göz önüne almaktan sakınmaları durumu bilgi miktarının Shannon'un ve diğer bilgi teorisyenlerin bilgi miktarının bit açısından yaklaşımları biyolojik sürekli zaman işaretlerinin uygulamasına uymaması gösterilerek dijital haberleşmenin bu durumun kapsamı dışında bulunmamasına kanıt gösterilmektedir [10]. Ancak kendisinin de bahsettiği gibi elektriksel işaretlerin nöron yapılarında kullanıldığına ve burada modülasyon bulunduğuna işaret etmesi ve bunu Koziolk ve Volkov tarafından kanıtlandığını öne sürmesi burada bir yanlış anlaşılmanın olabileceğini göstermektedir [1]. Her ne kadar biyolojik açıdan bakıldığında dijital haberleşme araçları önemsiz görülse de bunun ölçülmesi ve analizinin yapılabilmesi, bitki elektriksel işaretlerinin bilgiye çevrilmesiyle mümkündür. Burada işaret kavramı yani bitkisel işaret kavramı, biyologlar arasında bilgi teorisindeki anlamından çıkarılarak, bitki işaretlerinin çeşitleri anlamında kullanılmaktadır.

Geniş anlamda bitki işaretleri göz önüne alındığında [17];

- Kimyasalların taşınması
- Hidrolik etki
- Elektriksel işaret
- Havada molekül taşınması
- Renkler yardımıyla
- Ultrasonik sesler [6]

olarak çeşitli işaret olarak adlandırılan ama aslında haberleşme açısından kanal olarak adlandırılan araçlar ortaya çıkmaktadır.

1.5. Motivasyon, Amaç ve Hedef

Bitkiler birçok çevresel faktörü, ısı, nem, sıcaklık vb. algılayıp yorumlama kabiliyetine sahip olduğu bilinmektedir. Bu sebeple son yıllarda bitki yüzey potansiyel ölçümleri bitki stres ölçümleri artmıştır [18] [19]. Bitkiler birbiriyle haberleşmekte ve bu haberleşmeyi hayati tehlikelere karşı birbirlerine bildirmekle yetinmeyip, birlikte bu zararlara karşı toplu şekilde tepki verebilmektedirler. Özellikle böcek, hayvan saldırısı, zoochorous (spor veya tohum) veya daha başka zararlı organizmalar buna örnek verilebilir. Buna kıtlık, kuraklık,

soğuk, hastalık, radyasyon vb tecrübeleri de eklememiz halinde, uzun yaşamları boyunca da bunu toplayabilmeleri sayesinde çok büyük bir veri seti başarıyla ortadadır. Böyle bir yaşamsal tecrübe, bu gün küresel ısınma, kuraklık, radyasyon gibi etkilere veya dış gezegen yaşamının testi gibi zor koşul testlerinde şüphesiz en büyük uygulama seti haline gelmektedir. Öngörülen koşullar uygulanarak ileri düzeyde avantaj sağlama potansiyeli barındırmaktadır. Dolayısıyla bu tepkilerin anlık olarak izlenebilmesi, kaydedilebilmesi veya bozup değiştirmemesi önem kazanmaktadır.

Ancak burada en önemli nokta ölçümün, bitki tarafından üretilen sinyalin bozulması, değiştirilmesi, kaybedilmesi en istenilmeyen durumlardır. Dokuya invazif yolla ölçüm için müdahale etmek ise başlı başına bir dışsal uyarıcı etkisidir. Bitki sinyallerini çok yönlü algılama, analiz veya müdahale etmemiz gerektiği bu durumda en istenilmeyen ve bugüne kadar literatürde en yaygın yöntem olarak geçen bu yöntemlere alternatif ölçüm bölgesi, ölçüm bağlantısı ve yüzey potansiyeli ve karşılaştırılmaları bu çalışmanın odağında bulunmaktadır.

Bitkilerde yayılım genel sinir sistemin olmamasından dolayı daha farklı mekanikle olmaktadır. Bitkilerdeki içsel yayılım, genliğin ve süre parametrelerinin değişimi abiyotik stres verilerek ispat edilmiştir [4]. Oyarce ve Gurovich tarafından yapılan bu çalışmada işaretin özellikleri ve yayılımı ispat edilmiştir. Ancak bu işaret ve tepki çeşitliliği gibi farklı durumlara genellenmesi daha fazla çalışma gerektirmektedir. Bitkilerin birbirleriyle haberleşmesi halen çeşitli teoremlere dayandırılmaktadır. Her ne kadar işaretlerin kaynağı ve yayılımı ortada olsa da taşınan bilginin ispatı deneysel olarak yapılma çalışmaları sürmektedir. Bu konu daha detaylı olarak bölüm 1.9.'da ele alınmıştır.

1.5.1. Motivasyon

Literatürdeki bir çok çalışma, konu kapsamını tümünden ele almaya çalışmaktadır ancak gelinebilen noktalar her zaman kısa olabilmekte veya önemli noktalar atlanabilmektedir. Benzer noktadan başka bir araştırmacının bu düşünce etrafında çaba gösterilmesi bu sebeple zor olabilmektedir. Her ne kadar standart ölçümler literatüre kazandırılrsa da elektrot, işaret şekilleri, filtreleme, işaret gücü gibi tam tanımlanmamış alanlar bunun gerekliliğini göstermektedir. Ayrıca bu ölçümlerin daha uzun sürelerle yapılabilmesi bitkinin zor şartları uzun dönem boyunca takip edilebilmesi, bitkinin yapmaya çalıştığı ve zor koşullarda hayatta kaldığı karmaşık işlemleri anlamamız açısından çok önemli. Bunun canlılığın iç ve

çevresel faktörlerden dolayı maruz kaldığı zor koşulların laboratuvar ortamından uzaklığı düşünülürse daha uzun, dayanımlı, başarımı yüksek, bitkinin kendi sinyallerine müdahale etmeyen bir yöntem gerekmektedir. Bitkilerin zor şartlarda kararının yada tepkisinin algılanabilmesi ancak bu yolla mümkün olabilir.

Bitkilerden işaretlerin deteksiyonundaki elde edilebilecek amaçlar listelenmiştir. Bu amaca yönelik çalışmaların (yapılanların) mevcut literatür örnekleri ise literatür inceleme ve diğer kısımlarda bulunmaktadır.

- Bitkilerin sensör olarak kullanımı IOT benzeri ağa entegre edilerek kendi kendini besleyebilmesi,
- Bitki haberleşmesinin anlaşılması ve manipülasyonu,
- Küresel zor koşullarda strateji algılama ve sınırlarının çizilmesi,
- Bitkilerin tarımsal verim takibine yeni boyut kazandırılması,
- Gen değişimi sonucunda yeni türlerin veya endüstriyel bitkilerin performans analizi,
- Bitki biyoakustüğünün analiz edilmesi,
- Biyohibrit sistemlerin geliştirilmesindeki zorlukların veya limitlerin aşılması ve canlı hücrelerle etkileşimin artırılması [20].

Hassas Robot (Soft robotic) sistemlerin geliştirilmesindeki zorlukların aşılması.

Gevşek Bağlantılı Sürü Robotik ¹ ve Çoklu Modüllü Robotların geliştirilmesinde.

Yaşamsal ekosistemler olan orman gibi ağların okunması ile kaynakların algılanması.

- Uzay ortamı gibiyerçekiminin olmadığı çok ekstrem ortamlarda biyolojik zarar takibi, yaşamsal davranış analizi.

1.5.2. Amaç

Bitki işaretlerinin çeşitli motivasyonla algılanıp yorumlanması için gereken teknikler ise şöyledir.

¹Tamamen otonom ve birbirleriyle az ilişkili ve fiziksel bağlantısız (Swarm Robotics).

- İnvazif olmayan uygun elektrot bulunması
Sensörün Deteksiyon Kapasitesi Hesaplanması
Gürültü Analizi Yapılması
- Alınan işaretler çerçevesinde işaret analizi sınıflandırması için
Kısa Dönemli Furier Analiz (STFT),
Wavelet Transform (CWT)
Moving Average
- Yüksek frekansta değişen işaretlerin deteksiyonu

1.5.3. Hedef

Bu tekniklerin uygulanabilmesi ve doğru bir şekilde karşılaştırma veri seti oluşturulabilmesi için bitki işaretleri deteksiyonu doğru yapılmalıdır. Sonrasında ise ölçümün analizi için yöntemler uygulanmalıdır.

- Bitkilerin işaretlerinin algılanması
- Filtreleme uygulamalarının yapılması
- Frekans analizi yapılması
- Ölçümün Optimize Edilmesi
- Gürültü analizi

1.6. Tarihçe

Tarihçenin büyük bir kısmı, Krol vd. tarafında yapılan çalışma [21] ve Davies'in [22] yazdığı ve referansları verilen kaynaklardan alınarak derlenmiştir.

Biyolojik elektrik fikrinin ortaya çıkışı, vücudun dış bir kaynağa göre normalden fazla veya az yüke sahip olması durumunda üzerinde bir akım akacağı fikrini Benjamin Franklin tarafından ifade edilmiştir [23]. Canlıların elektriksel potansiyel ile uyarılıp hareket etmelerinin ilk ispatı, 1786'da Ludgi Galvani tarafından, yüklü bir neşterle kurbağa bacağına yüklenmesi ve hareket ettiğinin gözlemlenmesiyle oluşturmuştur [24, 25]. Elektriksel yükün

Aksiyon potansiyeliyle indüklemesini keşfeden Galvani'nin bu keşfi canlıların elektrik ve hareketin ilişkisinin ilk gözlemi dolayısıyla ispatı olarak tarihe geçti [26]. Alessandro Volta daha çok elektrokimyasal boyutuna irdeleyip ilk galvanik bataryayı gerçekleştirdi. Onun yaklaşımı, hayvanlarda da bulunan elektriğin elektrokimyasal reaksiyonlarla veya iyon akışı gibi kuvvetler kullandığı düşüncesini kanıtlayıp yaymıştır [27]. İtalyan fizikçi ve nörofizyolog olan Carlo Matteucci kurbağa kasları üzerindeki deneylerine, bir çeşit algılayıcı yaparak 1830'lardan itibaren vefatına kadar (1865) sürdürmüştür [28]. Onun bu çalışmaları Alman fizikçi Emil du Bois-Reymond'u etkilemiştir ve Matteucci'nin çalışmalarını tekrarlamaya çalışmıştır. Bois-Reymond o zaman, hayvansal elektrik olarak adlandırılan biyoelektrik keşfini ve sistematığına dair çalışmalarını 1848-1883 yıllarını arasında yayımlamıştır.

Biyo-elektriğin kurbağadan başlayan bu keşifleri, bitki bilimiyle uğraşanları etkilemekteydi. Etobur bitkilerde elektrik etkisini algılayan İngiliz fizikçi ve fizyolog SÖR John Scott Burdon-Sanderson olmuştur [29]. Onun elektrofizyoloji ve bitki fizyolojisindeki bu öncü çalışmaları 1872'de Royal Society tarafından kraliyet madalyası ile ödüllendirilmiştir. Bir diğer Burdon-Sanderson'un çalışmalarından etkilenen bilim adamı olan Walter Gardiner (botanik) kendini etobur bitkilerdeki uyarılmanın salgı bezi dokusu ile ilişkisini bulmaya adanmıştır [30]. Diğer bir bilim adamı, Avusturyalı botanikçi ve bitki hücre tipoloji teorisinin babası Gottlieb Johann Friedrich Haberlandt etobur bitkilerin elektriksel stimuli (uyarıcı) olmadan hareket edemediklerini bulmuştur [31]. O sırada Bengal ki, Haberlandt'in arkadaşı ve polimat ² olan Sör Jagadish Chandra Bose bitki gelişimiyle çevresel uyarıların ilişkisini kendisi geliştirdiği Kreskograf ³ ile ölçümlerini gerçekleştiriyordu [32, 33]. Bu çalışmalarını, üretilen tüm güçlü uyarıların büyüme oranını azalttığına dair sonuçlarını, negatif mekaniksel yayınının (hücre küçülmesine) ve bir galvonometrik negatifliğin cevabının (aksiyon potansiyeline) neden olduğunu ortaya atmıştır. Bu durumun ayırt edici uyarılmanın stres/tehlikeyi algılayan hücrenin endojen ⁴ formunun keşfine çok yaklaştı. [33, 34]. Bose'nin değerli çalışmaları 70 yıl boyunca ciddiye alınmamış ve göz ardı edildimesinin sebebi, bitkilerin çalışma mekanikleri hayvanlardan büyük farklılığa sahip olması ve bunun bilim adamlarınca doğru metot olarak karşılanmamasıdır [21].

O zamanlarda bu konu üzerine çalışan Cole, Nernst'in hipotezini elektriksel olarak sadeleştirdi [35]. Membran potansiyeli ve buna bağlı etmenlerin temelleri 1930-1945 yıl-

²Polimat: fizikçi, biyolog, arkeolog ve yazar.

³Kreskograf (Crescograph): Bitkinin büyümesini ve manyetik voltaj değişimini hassas olarak ölçmek için kullanılan cihaz.

⁴Günlük (sirkadyen) tekrar eden bitki içsel döngü. Sıcaklık ve ışıkla tetiklenen bitkinin biyolojik saatine bağlıdır. Her hücrenin ayrı zaman diliminde çalışması birimleri (örn. yaprak) ayrı döngüde çalıştırabilir. Genel bir iç zamanlayıcı yerine bitkiyi/birimlerini dış sinyaller düzenlemektedir [7].

larında Cole, Kurtis ve Hodgkin tarafından bilime kazandırılmıştır. Cole ve Curtis yüzey potansiyelinin anlık değişimini ispatlanmıştır [36]. Bu yıllarda Goldman–Hodgkin–Katz akı denklemi iyon akışının hücreden membranından geçiş fonksiyonunu, geçiş potansiyeli ve iç dış iyon yoğunluğunun korunumuna dayanmakta olan teorem ortaya atıldı. GHK akım yoğunluk denklemi olarak bilinen ve daha sonraları bu çalışmalara katkılarında dolayı Alan Lloyd Hodgkin, Andrew Fielding Huxley, Sör John Carew Eccles fizyoloji alanında 1963 yılında nobele layık görülmüştür [37]. Buradaki çalışmada, aksiyon potansiyellerin sinirsel yayılımına dair olan bu teoremler saydam mürekkep balığının aksonunda yapılabiliyordu. Bütün bu veriler biyolojik sistem olarak bitkilerde elektro-potansiyel değişimlerin olabileceği fikrine kapı aralıyordu.

1.6.1. Bitkilerde Haberleşmenin İpuçları

Baldwin ve Schultz, kimyasal olarak otoburlardan direkt zarar gören ağaçların görmeyenlerle saldırıyı azaltma yönündeki eğilimlerinin benzer kimyasal kalıntılarla göstermesi, aralarında haberleşme ilişkisi olduğunu kanıtlamıştır [38]. Bu haberleşmenin nasıl olabileceği hakkında bir çok etmenin bulunduğu kimyasal, hidrolik, elektriksel işaretler ve etkileri tartışılmaktadır [17]. Dziubińska vd. elektriksel işaretin yayılımını ispat etmişlerdir [5]. Oyarce ve Gurovich işaretin yayılımda uyarı spesifik şeklinin korunması, yayılım hızı, yayılım kanalı verilerini ispatlamıştır [4].

1.7. Literatürde Bitki İşaret İşleme Çalışmaları ve Sensör Uygulamaları

Çok disiplinli alan olarak bitki işaretlerindeki araştırmalar bir çok alanda yürütülmektedir. Temelde algılama ve analizi olarak ikiye ayrıldığı düşünülse de literatür incelenenden çok daha fazla alanda çalışma içermektedir.

1.7.1. Literatürde İnvazif Elektrot Kullanımı

Ag/Ag-Cl pellet elektrotları en yaygın olan invazif elektrottur [4] [39] . Paslanmaz çelik iğne [40] ve elektromyogram iğnesi de [41] kullanılmıştır.

Najdenovska vd. tarafından yapılan çalışmada 0.5mm Ag kaplı bakır elektrotlar kullanılarak, domates bitkisinde biyolojik stres örümcek mitleriyle oluşturularak stressiz durumla karşılaştırılmıştır [42]. Anlamlı değişimin yakalanması için algılanmasında makine öğrenmesi kullanılan bu çalışmada anlamlı fark elde edilmiştir.

1.7.2. Literatürde İnvazif Olmayan Yöntemler

İnvazif olmayan yöntemler oldukça çeşitlilik göstermektedir. Bu çalışmada kullanılan yöntemlere görece yakın ve benzer amaçları barındıran yöntemler verilmiştir.

Yaprakta turgor basıncının değişimini ölçmek için Zimmerman vd. çözüm önermiştir. Ölçüm için çift taraflı kalıcı Neodyum (Nd) gibi güçlü mıknatıs kullanarak ve basıncın osilasyonlarını gözlemlemeyi amaçlamıştır [43]. ZIM-Probu (leaf patch clamp pressure probe (LPCPP)) olarak adlandırılan yöntem literatürde oldukça yaygınlaşmıştır.

Literatürde Ag/Ag-Cl patch probu çeşitli amaçlarda kullanılmaktadır. Aksiyon, varyasyon ve daha kompleks sinyalleri ölçmek amacıyla denenmiştir [44]. Gadallah vd. çalışmalarında doku modeli önererek meyve kalitesi testi ve sabit faz elementi [CPE] (Constant Phase Envelope) yöntemiyle direnç karakteristiğini çıkarmıştır [45]. Kapoulea vd. SFE yöntemi başarımlı için bir filtre önerisi yapmıştır [46].

Luo vd. yaptığı çalışmada elektrot tabanlı, bitkideki sıvının elektropotansiyelinin geçici organik elementlerin [VOCs] algılanması, iletken termojel bağlantısı kullanılarak ölçülmüştür [47]. Bu çalışmada birçok konformal jel test AgCl plakası ile bitki arasına yalıtkan olarak eklenmiştir. En önemli dezavantajı tüylü yüzeylerde ölçümün sorun oluşturmamasıdır. Ag invazif elektrot ile rüzgar, temas ve SNR parametrelerinde direkt karşılaştırma yapılan bu çalışmada uzun dönem ölçümler göz önüne alınmıştır.

Yuyao Lu vd. yeni bir çoklu sensör tasarımı yaparak giyilebilir sensörlerin bitki uygulamasını başlattı. Çalışmasında sensör bölgesindeki direnç değişiminden ısı, nem, gerginlik, sıcaklık değerlerinin benzetimini kestirmiştir [48].

İnvazif olmayan metoda artık giyilebilir sensörlere odaklanan diğer sektörler gibi burada da görülmektedir. Minik yaprakların ölçümüne odaklanan bu yöntemde Giwon Lee vd. bu yöntemleri belirli noktalarda karşılaştırmıştır [49].

Elektrik alan algılayan biyosensörler (field-effect transistor based biosensors Bio-FET) yada transistörler işaret algılama yöntemi olarak karşımıza çıkmaktadır [50].

Kuvars reaktörüyle, propylenedioxythiophene polimeri kullanılarak yüzeye özel basılan bu iletken polimerle enerji dağılımlı x-ışınları spektroskopisi (energy-dispersive x-ray spectroscopy) kullanılması amaçlanmıştır. Polimere Sülfür ve klor eşit dağılımla bölgesel yayılarak ölçüm için gerekli materyal sağlanmıştır. Böylelikle empedans, kapasitans ve fazdaki değişimler periyodik olarak elde edilmiştir [50].

1.7.3. Literatürdeki İşaret İşleme Yöntemleri

İşaret sınıflandırma, kestirim teknikleri uygulamaları giderek artmaktadır. Sensör veya başka kaynaklı ince salınımı azaltmaya odaklanan çalışmada Saptarshi, frekans ekseninde çıkan sinyalin temiz olmamasından oluşan küçük pikleri minimize etmek için FIR filtresi tasarlamıştır [51]. Shre Kumar Chatterjee vd. tarafından yapılan çalışmada Lineer olmayan eğri uydurma için Hammerstein-Wiener (NLHW) hesaplayıcı kullanılarak eğri uydurma yapılmıştır [41]. Kimyasallarla, One vs One ve One vs Rest şemalarını kullanarak 5 farklı sınıflandırıcı ile hangi kimyasalların verildiği kestirilmeye çalışılmış, sonuç olarak yeni sensör tasarımının gerektiğine konu evrilmiştir [52]. Aynı kişi tarafından yapılan diğer bir çalışmada eğri uydurmaya ilişkin yapılan bir çalışmada ise sinyal modeli kestirme üzerine gitmektedir [40].

1.8. Bitki Stres Kaynakları

Tıp ve botanikte stres, normal koşulların dışındaki tüm durumlara stres olarak tanımlanmıştır. Örneğin anaerobik mekanizmaya sahip olan türdeki yüksek bitkiler oksijenin fazlalığı sebebiyle, strese maruz kalmaktadır [53]. Hayvanlarda ve bitkilerde strese karşı kendi iç mekanizmalarının gerektirdiği stres tepkisini doğurmaktadır. Dış stres kaynakları için bu tanım gayet açıklayıcı olmakla birlikte iç stres konusunda bu tanım hücrel faktörlerle daha karmaşıklaşmaktadır.

Değişen çevre koşulları, hareket edememeleri sebebiyle, çevresel stres faktörlerini bertaraf etmek için karşı kompleks mekanizmalar geliştirmelerini gerektirmektedir [54].

1.8.1. Yaşam Dışı Stres Kaynakları

Dış stres kaynakları kapsamında bitki işaretlerinin sınıflandırmasına yardımcı olması için ölümcül derecede zararlı stres kaynaklarıyla birçok literatür araştırması yapılmaktadır. Bunun sebebi bitki işaretlerinin yakalanmasında yaşanan şüpheli durumlar olabildiği gibi, bazı bitkilerdeki aktivite seviyesinin düşüklüğü de olabilmektedir. Bitki metabolizmasının daha hızlı ve daha güçlü işaret üretmeleri için zararlı kimyasal maddeler, karbon döngüsü gibi bitki üretim süreçlerini (örneğin fotosentez) kesebilen ölümcül derecede zararlı gazlarla stres kaynaklarıyla yapılabilmektedir. Uyarıcı olarak O_3 , $NaCl$ ve H_2SO_4 kullanılabilir [52].

Tablo 1. Yaşamsal olmayan uyarı faktörleri

Uyarı (Stimuli)	Parametreleri
Radyasyon	UV, γ , α , β ışımaları
Işık	Yoğunluk, dalga boyu
Isı	Yüksek, düşük
Hidrasyon	Kuraklık, sel
Kimyasal Faktörler	Tuz, Ağır metaller, Ph, Hava kirliliği
Mekaniksel Faktörler	Rüzgar, yıldırım, ateş, kar, ısırılma, kesilme, sıkışma

Spesifik iyonlarla belirli aktiviteler takip edilebilmektedir [54].

Yaşamsal olmayan stres faktörleri Schempp vd. tarafından yedi madde ve örnekleriyle listelenmektedir [53].

Stres faktörlerinin getirdiği biyolojik etkiler; çiçek açma, meyve olgunlaşması, böceklenme, enfeksiyon, alelopati etkisi(başka bir türle yer değişme), kompetisyon (bir maddenin başka bir maddenin özelliğini azaltması) etkisi bulunmaktadır.

1.8.2. Biyolojik Stres Kaynakları

Sebebi biyolojik organizmalar olan ve özel olarak virüs, bakteri, mantar, nematodes (parazit), böcek, örümceğimsi (spider mites) eklem bacaklılar veya akar, yabani otlardır. Parazitler çıplak gözle görülmemesine rağmen bir çok etkiye hatta bitkinin ölümüne sebep olmaktadır. Bitki bağışıklık sisteminin eksikliğinden kaynaklanan bu duruma hemen bir strateji geliştirmek zorundadır. Direnç genleri binlerce yıllık birikimden yararlanmaktadır [55].

1.9. Bitki Elektrik İşaretlerinin Sebebi, Kaynağı, Etki Alanı ve Anlamları

Bitkisel elektriksel işaretler bitki normal aktiviteleri veya stres kaynakları sebepleriyle ortaya çıkmaktadır ⁵. Bitki elektriksel sinyalleri iyon değişimleri sonucunda hücre duvarındaki kanalların iyonları hücre içine veya dışına hareket ettirmesi sebebiyle oluşmaktadır. Buna iyon mekaniği yada mekanizması olarak adlandırılır. Bu mekanik en küçük bir işaret üretmede [56] yada bitki hareketlerini kontrol etmek için turgor basıncı gibi başka kaynakları kontrol etmek için kullanılır. Volkov tarafından öne sürülmüş ve Markin tarafından benzer işaret verilerek ispatlanmıştır [57]. Temel olarak hücre dışından, hücre içine iyon

⁵ Aynı stres kaynağının tepkiselliğinde azalma eğilimi göz önünde bulundurulmalıdır.

K^+ , Ca^{+2} , Cl^- hareketi ile gerçekleşerek üretilen işaretler hücre içi ve hücreler arası haberleşmenin temelini oluşturmaktadır [58]. Bu açıklamalar gayet düzgün durmakla birlikte verilen bu etkilerin (uyarım) karşılığında veya öz stres kaynaklarıyla üretilen bu işaretler proton pompası, kalsiyum kanalı gibi hücre duvarındaki kanallar aracılığıyla iyon yoğunlukları değişerek gerçekleşmektedir. Fromm ve Spanwick'in bahsettiği inhibitörler olabileceği gibi H^- , PH gibi başka etmenlerinde etki etmesi anlamına gelmektedir. Burada üretim aşamasındaki karmaşıklık devam ederken uyarıların sonuçlarında gen ekspresyonu ⁶ veya diğer komplike işlemlerde gerçekleşmektedir [53]. Ancak bu temel bileşenleri elde ettiğimiz ve daha fazla ayrıntıyı barındıran hücre içi işlemler, biyolojik/genetik faktörler olarak değerlendirilmesi gerektiğinden bu açıklama ile yetinilmiştir.

Temel bitki elektro-potansiyel değişimleri tanımlamada; farklı şekil (i), genlik (ii), süreler (iii), özelliklere (iv), etki alanlarına (v) karakteristiklerine sahip olmaktadır [21]. Bu nitelikler ise işaretlerin ayrıştırılmasında farklılığı oluşturacak özelliklere sebep olmaktadır;

- i. Hiperpolarizasyon/ depolarizasyon (eşit olmayacak şekilde)
- ii. Tekrarlı yükselen darbeler/ güçlü tek darbe
- iii. Geçici / uzun süreli
- iv. Yayılımlı/ yayılımsız
- v. Hücreler arası/ bitkiler arası

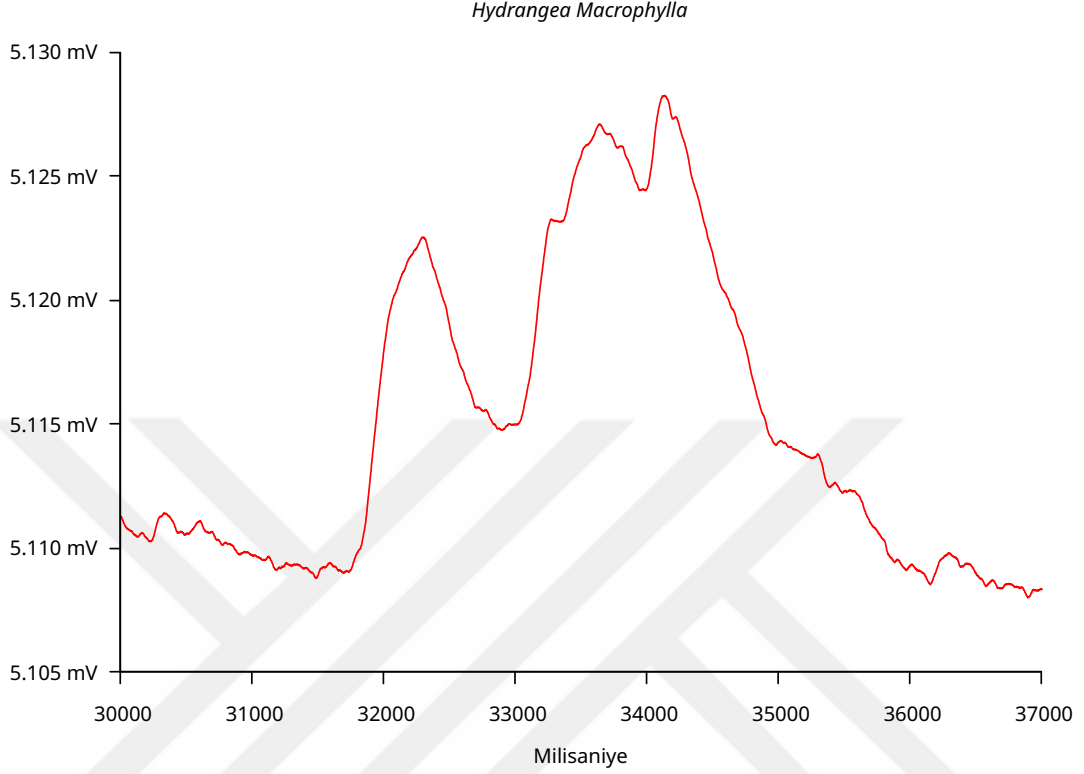
Bu durum hali hazırdaki ölüm karmaşıklığından, anlamlandırma kısmına bizi taşımaktadır. Tabi ki burada temel karakterizasyona sahip hiper polarizasyon ve bunların tekrarları gibi karakterize işlemler iyi bir başlangıç noktasıdır. Bu karakterizasyonlara veya diğer başka özelliklere sahip bu özelliklerin belirli adlandırmayla Varyasyon potansiyeli [VP], Aksiyon Potansiyeli [AP], Hızlı Bileşen [RC], Ritmik Elektriksel Aktivite [REA] gibi temel bileşenler olarak tanımlanmaktadır.

Temel bileşenlerin, çeşitli kombinasyonlarda kullanımıyla, hücreler arası haberleşmede bilgi anlamı taşımakta olan bu işaretlerin bir özeti Jörg Fromm ve Silke Lautner'ce derlenmiştir [39]. Örneğin ısıнын artması VP aracılığıyla Mimosa pudica (Mimoza) ve Populus'larda (Kavak) fotosentezde kısa süreli düşüşe sebep olduğu gözlemlenmiştir [59] [60].

Burada bitkisel işaretlerin çeşitliliğine, kaynağına ve sebebine disiplinler arası birçok çalışmaya göz atarak daha detaylı değinilmesi gerekmektedir. Böylece işaretler bir bütünlük arz edebilecek neden sonuç ilişkisinde bir çok soruyu cevaplandırmaya yaklaşacaktır.

⁶Gen ekspresyonu: Dna'nın ilgili bölgesi kullanılarak, transkripsiyon (RNA), uçbirleştirme (mRNA) ve protein senteziyle kısmi olarak ve fenotip özelliklerin değişimine sebep olan işlemdir.

1.9.1. Varyasyon Potansiyeli

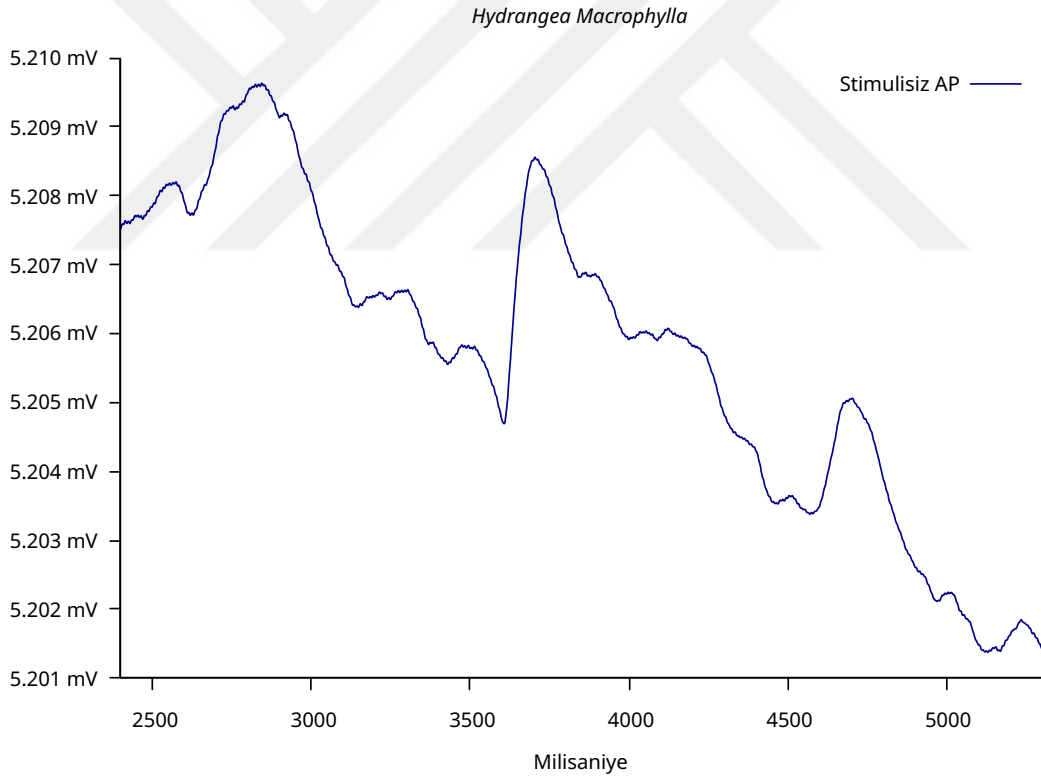


Şekil 2. Varyasyon Potansiyelleri

Varyasyon potansiyelleri (VP), canlının mevcut referansa göre ve iyonlarla sağlanan elektriksel potansiyelinde (EP) yavaş değişen potansiyeldir. Ölçümlerde VP değişimi için ciddi yaralanmalar, önemli sıcaklık değişimi, yanma gibi kritik durumlarda EP sert değişerek ortaya çıkmaktadır [61]. Bu ciddi yaralanmalar VP ile ardışık Aksiyon Potansiyeli salınımlarını ortaya çıkarabilmektedir. Stankovic vd. tarafından *Heliantus Hannus*'a (ayçiçeği) ateş ile gerçekleştirilen deneyde VP, bitkide görece uzun yayılım gösteren işaret olmaktadır. Odunsu yapılardaki suyun hareketiyle elektriksel uyar tetiklediği düşünülse de kesin olarak kanıtlanmamıştır [60]. Oyarce ve Gurovich tarafından *Persea Americana* (avokado) kesilerek oluşturulan stres ile varyasyon işareti bilgi işareti olarak belirginleştirilmiştir [4]. Bu çalışmalarda yayılım hızı ölçülen bu deneyde VP sabit yayılım hızı bileşenlerin ayrımı nitelik ve nicelik olarak karşılaştırılmıştır.

1.9.2. Aksiyon Potansiyeli

Aksiyon potansiyeli (AP), daha seri şekilde kullanılan ve daha çok bitkinin yaşamsal fonksiyonlarının yönetilmesinde kullanılan işarettir [3]. İnvasif olmayan yaralanmalar, fotosentez hızı, minimal sıcaklık değişimlerinde kullanılması, daha kısa alanda daha kayıpsız yayılması temel özelliğidir. Örneğin, *Dionaea Muscipula* (Sinekkapan bitkisi) minimum 10 saniye içinde tekrarlı şekilde kullanılmasıyla kapanın kapanmasını tetiklemektedir [62]. Bu ise bir çeşit ikinci işarete kadar bilginin birikimine işaret etmektedir ancak alıcılarda (reseptör) her hangi bir birikime dair herhangi bir yapı bulunmamaktadır [63]. Bunun yerine analog hayvan sinir sisteminde aşamalı birikime benzer bir sistem daha öngörü dahilindedir ancak burada göz önünde bulundurulması gereken yanlış bir stimuliyle (uyarı) kapanın kapanması önlenmesidir [21].



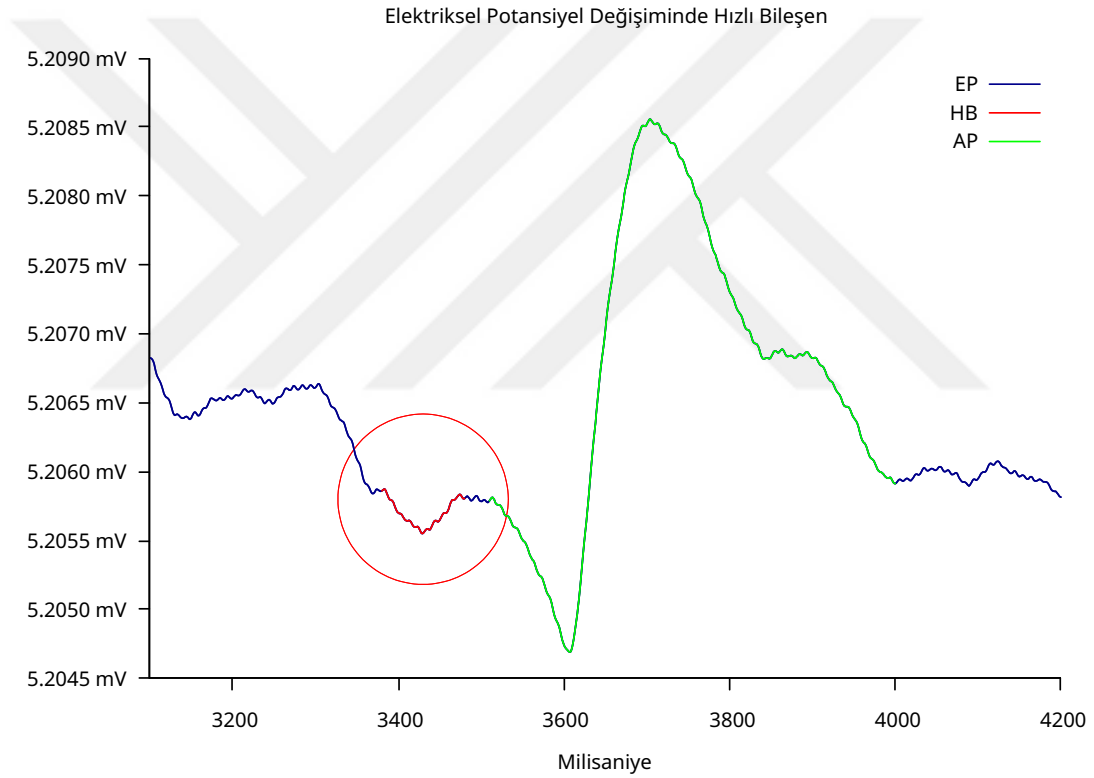
Şekil 3. Aksiyon Potansiyelleri Serisi

Aksiyon ve varyasyon potansiyellerinin ayrımının Stefano Mancuso tarafından ateş deneyiyle yapılarak en basit şekilde seri halinde AP ve VP elektriksel potansiyelleri değişimi gösterilmiştir [64].

EP değişimiyle oluşan işaretler Plasmodesmata⁷ aracılığıyla hücreslerin arasında transfer edilmesini, dolayısıyla etkileşimi oluşturmaktadır [60]. Biyotik veya abiyotik streslerle kolaylıkla tetiklenmektedir.

AP'ni periyot süresi, yayılım hızı ve tepe yüksekliği açılarından stimuli ve stimulisiz inceleyen Zawadzki vd., sadece periyot süresinde belirli anlam farkını ortaya koymuştur. Bu ise Rastgele Aksiyon Potansiyelleri (SAPS) kavramını ortaya çıkarmıştır [65, 66].

1.9.3. Hızlı Bileşen



şekil 4. AP öncesi hızlı bileşen ve AP

Hızlı Bileşen yada Rapid Component (RC) daha önce örnekleri görölse de tanımlanması Shimmen tarafından detaylı incelenerek literatüre kazandırılmıştır [67]. Hızlı bileşen, aksiyon potansiyeli öncesinde onun ön bileşeni olarak tanımlanmaktadır. Bu bileşenin yakalanması için önerilen ön koşul 500 Hz örneklemedir. 250 Hz ile yapılan ölçümlerde bu bileşen yakalanamaması görece yüksek frekans bileşeni barındırmasıyla açıklanmaktadır. Hızlı bileşen kendi içinde pozitif ve negatif polarizasyonlarına sahiptir.

⁷Hücresler arası açıklıklar.

1.9.4. Ritmik Elektriksel Aktivite

Pilvinus motor hücrelerinin yaprak hareketinin anlaşılması için incelenirken ortaya çıkmıştır [68]. Motor hücrelerindeki, Elektrojeniz iyon pompalarının iyon hareketi sonucunda bu potansiyeller ortaya çıkmaktadır [69]. Aksiyon potansiyellerine benzer ancak tamamen özel bir karakteri olan işaretlerdir. Kimyasal ve fiziksel olarak kanallar aracılığı ile gerçekleşen iyon transferleri bir çok defa uygulanması ile ortaya çıkan işaretlerdir.



2. TEORİ, MATERYAL VE METOD

2.1. Örneklemeye Teoremi

Örneklemeye, sürekli sonsuz zaman ve genlik çözünürlüğündeki analog zaman işaretinin anlık değerlerinin, sonlu ve arzulanan zaman aralığına indirgenmesidir. Zamanda ve genlikte ayrık işarete dönüştürme işlemi işaret işleme kapsamının ilk basamağıdır.

2.1.1. Ayrık Zaman Dönüşümü

Alınan analog işaret belirli eşit zaman aralığında, ayrık forma dönüştürülmesidir. Eşit zaman aralığı bizim periyodumuz olarak T_s ile gösterilirse, örneklemeye frekansımız veya örneklemeye hızımıza karşılık gelen f_s ;

$$T_s = \frac{1}{f_s} \quad (1)$$

ile gösterilir ve birimi saniyedeki örnek sayısı ile ifade edilen *Hertz*'dir. Temel örneklemeye limiti, Nyquist–Shannon örneklemeye teoremine dayanmakla birlikte örneklenen bir işaretin tekrardan sonsuz zaman domeninde kayıpsız şekilde çevrilmesi için minimum işaretin maksimum frekansının F_{max} iki katı ile örneklenmesi gerektiğini ispat etmektedir [70].

$$f_s \geq 2F_{max} \quad (2)$$

Bu durum;

- Kullanılan ölçüm devresinin, ölçülen kaynaktaki işareti minimum 2 katı frekansta örneklemesini gerektirmektedir.
- Bu frekans ekseninde ancak ölçülen sinyalin frekansına F_{max} kadar bizim frekans bazlı analizimizi sağlayabilir. Bu kesim frekansımızı $F_{cutoff} = \frac{F_s}{2}$ ifade etmektedir.

2.1.2. Kuantalama

Analog işareten alınan her bir örnek dijital olarak belirli aralıklarla kuantalanmaktadır. Bu örnek ve tut (Sample and Hold) prensibiyle belirlenen Δ adım büyüklüğünde değişmektedir. Δ bizim dinamik aralığımızda bağlıdır. Burada Δ 'nın minimize edilmesi için 2^{nb} ile ifade edilen analog dijital çeviricinin (ADC) bant genişliğine yani bit sayısına (number of bit, nb) bağlıdır.

$$\Delta = \frac{V^+ - V^-}{2^{nb}} \quad (3)$$

Burada tüm gürültülerin toplamı ϵ sistemin Δ çözünürlüğünden küçük olmalıdır.

$$0 \leq \epsilon \leq \Delta \quad (4)$$

Tek kanal için ifade edilen bu durum birçok kanal kullanılmasıyla çoğaltılabilir.

2.2. Veri Aktarımı

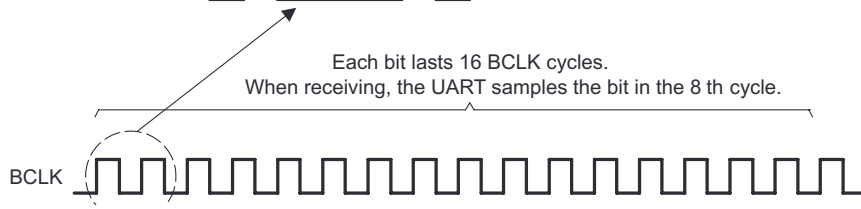
2.2.1. UART Haberleşmesi

Universal Asynchronous Receiver Transmitter [UART], bileşen arası bağlantılar için çok amaçlı kullanılan ardışık veri aktarımı arayüzü standardıdır. Bu standart işlemci [CPU] birimleri, haberleşme bileşenleri veya bir sensör arasında olabilir. Temel olarak sıfır değerine Tx voltajının logic 0 seviyesine düşmesi ile buffer'a yazmaya başlar.

Tablo 2. UART TL16C550D standardı bazı özellikleri

Parametre	Değer
Çalışma gerilimi	3-3.6V, 2.25-2.75V, 5-5.5V
Protokol bit kullanımı	5, 6, 7 veya 8-Bit
Data Rate (Max)	1Mbps

Texas Instruments [TI], TL16C550D standardı olarak adlandırdığı bu arayüzü aslında National Semiconductor tarafından paralel seri dönüşümü için tasarlanmıştır. TI 8250, TL16C450 gibi eski tasarımlara uygun olarak TL16C550D arayüzünü P/S dönüştürücü yada veri yolu yönetiminde kullanmak üzere bir çok First in First Out [FIFO] tasarımıyla sunmaktadır. Benzer arayüz tasarımları başka üreticiler tarafından da benzer şekillerde kullanılmaktadır [71].



www.ti.com

2.4 Protocol Description
Chapter 2—Architecture

It transmits 1 START bit; 5, 6, 7, or 8 data bits, depending on the data width selection; 1 PARITY bit, if parity is selected; and 1, 1.5, or 2 STOP bits, depending on the STOP bit selection.

The UART receives in the following format:

1 START bit + data bits (5, 6, 7, 8) + 1 PARITY bit (optional) + 1 STOP bit

It receives 1 START bit; 5, 6, 7, or 8 data bits, depending on the data width selection; 1 PARITY bit, if parity is selected; and 1 STOP bit.

The protocol formats are shown in [Figure 2-3](#).

Figure 2-3 UART Protocol Formats

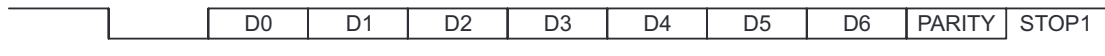
Transmit/Receive for 5-bit data, parity Enable, 1 STOP bit



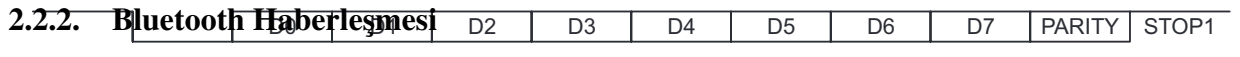
Transmit/Receive for 6-bit data, parity Enable, 1 STOP bit



Şekil 6. UART protokolü 5 veri, 1 parite, 1 durdurma bit formatı, kısaca 5D1S1P.



Transmit/Receive for 8-bit data, parity Enable, 1 STOP bit



2.2.2. Bluetooth Haberleşmesi

Bluetooth haberleşmesi, hem modül küçüklüğü, hem frekans, hem kanal kapasitesi ve düşük güç tüketimi konusunda temel kısa mesafe haberleşmeleri için oldukça kullanışlıdır. Bu sebeple tablo 3’de özellikleri verilen HC-06 bluetooth modülü kullanılmıştır.

Tablo 3. Kullanılan bluetooth modülünün özellikleri

Parametre	Değer
Band	2.400 – 2.48350 GHz
Çalışma gerilimi	3.3V
Frekans	2.400 – 2.48350GHz
Hafıza	128kB Flash
Senkron Hız	1Mbps/1Mbps
Asenkron Hız	2.1Mbps/160Kbps
Arayüz	UART
Tx tüketim	8.5mA
Rx tüketim	15mA

2.3. Gürültü

Gürültü, iletişim sistemlerinde sinyalin taşınmasında veya işlenmesinde bozunum eğilimi olarak tanımlanabilir. İletişim sistemine etkiyen bir çok gürültü kaynağının genel olarak dış (atmosfer, yerçekimi, çevresel dalgalar vb.) ve iç olarak ayrılmaktadır. İç gürültü kaynakları, en önemli gürültü kaynakları olarak akım ve gerilimde dalgalanmaya sebep olmaktadır [73]. Sıçrama şeklinde veya genliği sabit olabilen bu işaretler rastgele kabul edilip modelellenmektedir [8]. En yaygın rastgele dalgalanmalar saçılma gürültüsü ve termal gürültüdür. Basitçe radyo/televizyon istasyonunu dinlerken, başka bir radyo istasyonuna geçmek istediğimizde (analog olarak) gürültü ile karşılaşırız.

$$X(t) = S(t) + N(t) \quad (5)$$

2.3.1. Saçılma Gürültüsü

İlk defa Schottky tarafından analiz edilen saçılma gürültüsü (shot noise) 20. yy başında literatüre kazandırılmıştır [74]. Schottky, vakum tüplü amplifikatörde temel elektron sinyal gürültü oranında elektronun yaydığı gürültüyü niceliksel olarak hesaplamak istemiştir.

Gerçekte ise, negatif yüklü elektronların karşılıklı itme ile saçılma gürültüsü düşmektedir. Katottan salınan elektronu takip eden elektronların yaydığı gürültü düşebilmekteydi. Bu yöntem yürüyen dalga tüpünde gürültü salınımının düşürülmesinde kullanılmıştır.

Gürültünün en büyük kaynağı, yükseltecin kendisi olabilmektedir. Buna saçılma gürültüsü (shot noise) denilmektedir ve elektrik akımının akışından kaynaklamaktadır. Yükselteç denge dışı bir işlem olmasıyla, kuvvetlendirme (amplifikasyon) burada ısısal gürültüden fazla katsayıya sahip olmaktadır.

Schottky, elektronların yayılımını tamamen rastgele olarak kabul etmiştir. Anot ve katoda sahip bir devrenin kısa devre olması durumunu varsayılıp, katottan anot plakasına T zamanında giden bir elektronun, τ zamanı sonrası oluşturduğu akım;

$$i(t) = q \sum_r h(t - t_r) \quad (6)$$

burada; q elektron yükü, t_r emisyon zamanı ve toplam t zaman aralığında toplam yayılımı vermektedir. $h(t)$ fonksiyonunun, birim alana $\int_{-\infty}^{+\infty} h(t)dt = 1$ sahip olduğunu kabul edilir.

Fonksiyon elektronun geçişteki hız değişimine bağlıdır. Normal olarak elektronun hızı sabit olmadığından ve durumu basitleştirmemiz gerektiğinden sabit kabul edip $h(t)$ fonksiyonu dikdörtgensel dalgalardan oluşan ve T zamanında A genliğine sahip üçgen dalga fonksiyonu olarak modellenir. Bu sonuç Campbell teoremine göre yapılan kabul çerçevesindedir [8].

2.3.2. Termal Gürültü

Termal gürültü [75], elektronların titreşme benzeri yaptıkları rastgele hareketleri sonucunda oluşmaktadır. Bir direncin V_{TN} üzerindeki Δf Hz genişliğindeki termal gürültü pratik olarak;

$$E[V_{TN}^2] = 4kTR\Delta f \quad (V^2) \quad (7)$$

Burada, k Boltzman sabiti $1.3810^{-23} \frac{J}{K^\circ}$, T mutlak kelvin sıcaklığı, R rezistans değeridir. Eğer termal gürültü kaynağını northon teoremine akım cinsinden yazılırsa;

$$\begin{aligned} E[I_{TN}^2] &= \frac{1}{R^2} E[V_{TN}^2] \\ &= 4kTG\Delta f \end{aligned} \quad (A^2) \quad (8)$$

Burada, $G = 1/R$ iletkenliktir. Belirtilmesi gereken bir direnç kaynağındaki elektron sayısı çok fazla olmasından ve hareketleri istatistiksel olarak birbirinden bağımsız olmasından dolayı, ortalaması sıfır olan Gauss dağılımını vermektedir [8].

2.3.3. Beyaz Gürültü

İletişim sistemlerinin gürültü analizi idealleştirilmeye çalışıldığında bu beyaz gürültü ile modellenmektedir. Bunun sebebi frekanstan bağımsız ve gürültü yoğunluğunun düz olmasıdır. Böylece gürültü toplamsal olarak basit bir değere ötelenmekte ve sinyalden çıkarılabilmektedir. Güç yoğunluğunu $w(t)$ olarak ifade edersek;

$$S_w(f) = \frac{N_0}{2} \quad (WHz^{-1}) \quad (9)$$

$$N_0 = kT_e \quad (10)$$

Burada, k Boltzman sabiti ve T_e alıcının eşdeğer gürültü sıcaklığıdır. N_0 genel olarak alıcının girişine referans verilmektedir [8]. Sistemdeki dirençlerin gürültüsü, sistemin eşdeğer gürültü sıcaklığı olarak hesaplanır ve sistemin eşdeğer girişine bağlanılarak sistemin üreteceği gürültü modellenip hesaplanmaktadır [76].

2.3.4. Gauss Gürültüsü

Belirli bir bant genişliğine, beyaz gürültü uygulandığında bant sınırlı gauss dağılımına sahip gürültü elde edilir. Buna beyaz gauss gürültüsü denmektedir. Bandı frekans yanıtı bir olan alçak geçiren filtre (LPF) ile sınırlandırılıp, filtre çıkışının güç spektral yoğunluğu;

$$S_N(f) = \begin{cases} \frac{N_0}{2}, & -B < f < B \\ 0, & |f| > B \end{cases} \quad (11)$$

olur. Burada gürültünün $n(t)$ otokorelasyonu, güç spektral yoğunluğunun ters fourier transformu alınarak,

$$R_N(\tau) = \int_{-B}^B \frac{N_0}{2} e^{j2\pi f\tau} df = N_0 B \text{sinc}(2B\tau) \quad (12)$$

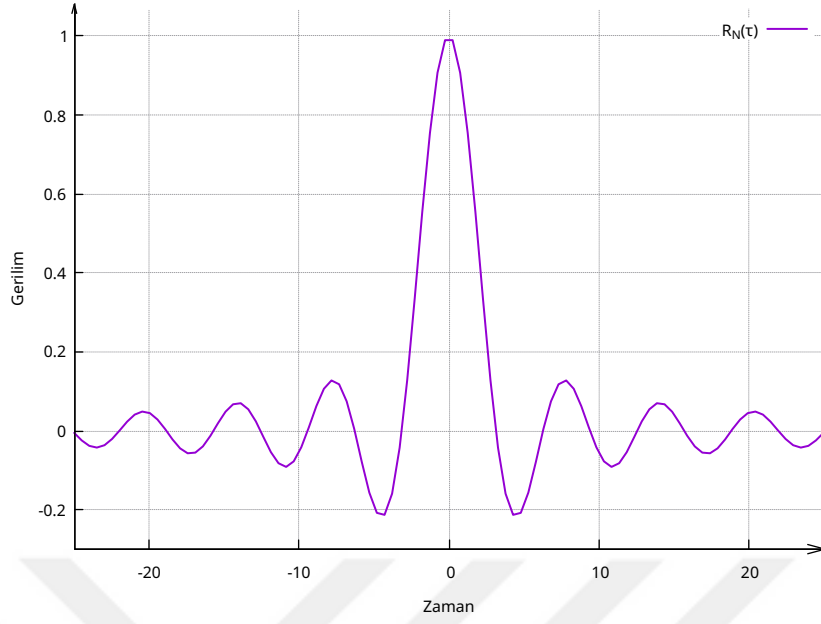
Burada $R_N(\tau)$ 'nin $N_0 B$ değerinin orjinde maksimum değerinden şekil 7'te sıfıra yakınsaması durumu $k = 1, 2, 3, \dots$ için $\tau = \pm k/2B$ yazılarak hesaplanılır.

Teorik olarak devre girişine verilen $w(t)$ dağılımlı bant sınırlı bir gaus gürültüsü, çıkışta yine Gauss dağılımına sahiptir. Bunun sebebi bant genişliğinde işaretle birlikte $\sigma = 0, \sigma^2 = N_0 B$ olarak örneklenmesidir [8].

2.3.5. Pembe Gürültü

Flicker noise, $\frac{1}{f}$ veya pembe gürültü olarak adlandırılan bu gürültü formulizasyonundan anlaşılacağı gibi frekans ile azalmaktadır bu sebeple birimi $\frac{V}{\sqrt{Hz}}$ olarak belirli frekansta veri föylerinde verilmektedir. Özellikle düşük frekanstaki AC akım ve gerilimler ölçülmeye çalışıldığında bu gürültü karşımıza çıkmaktadır.

Pembe gürültü pratikte bir LPF kullanılarak tepeden tepeye gerilimin verdiği değer olarak bulunmaktadır [77].



Şekil 7. Sinc Fonksiyonu

2.3.6. Elektromanyetik Girişim

Atomik yapı kaynaklı veya doğa kaynaklı gürültülerin yanında elektrik şebekesi ve buna bağlı birçok yapay cihazın oluşturduğu gürültü bulunmaktadır. Cihazlar çalıştıklarında veya şebekenin etkisiyle hassas ölçümler bozulabilmektedir. Bu girişime, elektromanyetik girişim [EMI] denilmektedir.

Literatürdeki bitki ölçümlerinde bu gürültü Faraday kafesi kullanılarak elimine edilmiştir. Pasif LPF filtre kullanılması 50 Hz ve üzerini kayıpla beraber filtreleyebilmek mümkündür [78].

2.4. Bitki Kaynaklı Gürültü

Büyük ebatlı bitkilerin (ağaçlar gibi) ürettikleri aksiyon ve varyasyon potansiyelleri normalde gürültü olarak değerlendirilir. Bu potansiyellerin frekansı çok düşük ve tekrarlama aralıkları seyrek. Ancak, bitkilerin çoğunlukta olduğu bir yerde termal ve diğer girişim benzeri gürültülerden daha baskın olabilmektedirler. En büyük gürültü kaynağı olan enerji dağıtım şebekesi gürültüsü (ki esasen girişimdir) dahi şebekeden uzak bölgelerde bastırabilmektedir. Literatürde bitkiler üzerine araştırmalar kısıtlı olsa da insanlar üzerine yapılan deneylerde benzer tanımlamalara rastlamak mümkündür [79, 80].

Ayrıca konudan bağımsız olarak ses üretimi üzerine domates (*Solanum lycopersicum*) ile yapılan bir çalışmada, strese bağlı anlamlandırılabilen şekilde $60kHz$ 'de tepe yapan ses ürettikleri bulunmuştur [6].

2.5. Alçak Geçiren Filtre

Alçak geçiren filtre kullanılarak analog olarak sensörden veya kablolardan ölçüme etki edebilen görece yüksek frekans bileşenleri elimine edilmesi yaygındır. Pasif elementler kullanılarak kolaylıkla filtreleme yapılabilir.

$$f_{cutoff} = \frac{1}{2\pi RC} = \frac{1}{2 * \pi * 350 * 22105\mu} = 20Hz \quad (13)$$

2.6. Deneyseti ve Ölçüm Yöntemi

Bu tezde bahsedilen veya bahsedilmeyen ölçümler oda sıcaklığında ($25^{\circ}C$), deniz seviyesinde (1 ATM) tablo 4'deki prop seti kullanılarak tablo 5'deki bitki seti kullanılarak yapılmıştır. VI yöntemi ile yapılan ölçümlerde sabit $500Hz/s$ örnekleme kullanılmıştır.

2.6.1. Prop Seçimi

Yüzey potansiyellerinin ölçümlerinde yani banyodaki (hücreler arası sıvı) iyonlar ve hücrelerden dolayısıyla dokudan oluşan bölgenin ölçümüdür. Bunun için literatürde invazif olmayan yöntemler zararsız olmalarından dolayı tercih edilmektedir. Ancak burada en büyük tercih sebebi ölçüm amacıdır. Dolayısıyla ölçümün hassasiyetini ve biyolojik potansiyelin ölçüm noktası çok önemlidir. Bunun dışında ise ölçümün çevresel faktörle karşılaştırılması ve bitkinin biyolojik fonksiyonlarla korelasyonun ölçülmesi elektrot seçimini değiştirmektedir.

Bitki potansiyellerinin bahsedildiği bölüm 1.9.'deki temel işaretleri almak için literatürde birçok yöntem kullanılmaktadır. İnvazif $0.4 - 1mm$ Ag/AgCl elektrot [81] [39] [82] [83] oldukça yaygın kullanılmaktadır. AgCl pellet elektrodu olarak bilinen bir Ag/AgCl elektrotu varyasyonda kullanılmaktadır [64]. Bitki ölçümleri için kullanılan bir diğer bir Ag/AgCl yöntemi Elektrokardiyogram (EKG) ölçümlerinde çok yaygın kullanılan patch elektrottur. Patch elektrotu çalışma aralığı olarak $1 - 100Hz$ aralığında çalışmaktadır [84].

Teknik olarak ölçülmek istenen aralığı desteklemektedir. Literatürde tercih edilmemesinin ve bölüm 3.1.'de sonuçları gösterilen, gerek iletken uyum jeli, gerekse yapışması ile ilgili bir çok mahzuru bulunmaktadır [85]. Literatürde empedans spektroskopisi kullanılmaktadır [45].

Bahsedilen yöntemin dışında kısıkaçlı (clamp) teknikler literatürde yer almaktadır. Genel olarak kısıkaçlı yöntemler ve mıknatıslı yöntemler gibi invazif olmayan yöntemler üzerine çalışmalar halen sürmektedir. Bazı örnekleri bölüm 1.7.'de verilmiştir.

Bu çalışmada kullanılan elektrotlar ve özellikleri Tablo 4 'de listelenmiştir. Elektrotların çoklu element karışımı olanların, bir çok örneği, bir çok kez ölçülmesi ile görülen ortalama değerleri verilmiştir.

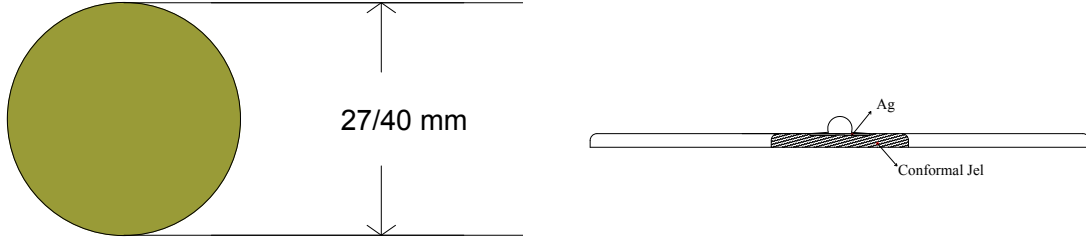
Tablo 4. Ölçüm elektrotları

Elektrot	Kalınlık (mm)	Uzunluk, Çap	Özelliği	Ana bileşen	Resistans	Kapasitans
Au	0.05	20mm	İğne	Au	0.2271 Ω	0.0230 μF
Cu	0.40	48mm	Tel	Cu	0.0280 Ω	1206 μF
Patch	0.25	12mm	Yapışkan	AgCl (Jel)	0.58 k Ω	3.15 nF
Metal	0.55	30mm	İğne	FeCNi	0.140 Ω	1315 μF
Alaşımlı bakır	0.34	35mm	Tel	Cu-Ni	0.0240 Ω	286.4 μF
Pirinç	0.40	27mm,40mm	Daire levha	Cu-Zn	0.0261 Ω	2526.6 μF
Ag	1.60	105 mm	Tel	Ag	0.006 Ω	2197.6 μF

Yüzey ölçümleri için pirinç elektrot tercih edilmesinin sebebi, demir vb bileşenli benzer boyutta denenen elektrotlar ile yapılan ölçümlerin başarısız olmasıdır. Yarı çapı 20mm ve 7.5mm olarak iki tipte kullanılmıştır. Bunun sebebi yaprak yüzeyinin küçüklüğüdür. Ayrıca Bu elektrot yaprak yüzeyine yüzey temasını artırmak için mıknatıs ile çift taraflı tutturulmuş ve ölçümler alınmıştır.

Yüzey okumasının kalitesi ile yaprağa zarar verme ters orantılıdır. Sonuçları tartışılacak olan bu ölçüm yöntemi standart okumalarda yüzey potansiyelini almak için yeterlidir. Bitkinin yüzey ölçümünde invazif olmayan yöntemin tercih edilmesinin bazı gerekçeleri;

- Ölçümün bu değişimden elektriksel olarak etkilenmesinin önüne geçmek,
- Bitkinin yaşam döngüsüne müdahale etmemek,
- Uzun süren ölçümler yapılabilmesi için bitkinin bu ölçümlere tepkisinin minimum olması gerekçesi ile ölçüm uyarısı verilmemesi,
- Ölçülen elektrotların yüzeylerinde kimyasal etkileşimin asgari düzeye çekilmesi,



(a) Prinç

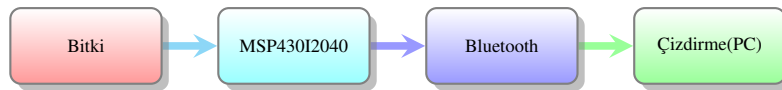
(b) Patch

Şekil 8. Yüzey elektrotları

- Dış etkilerden daha az etkilenen elektrot için izolasyonunun daha kolay yapılabilmesi,
- Yüzeyden uzaklaştıkça elektrotlar arasında empedansın yükselmesi sebebiyle daha stabil elektro-potansiyel ölçümünün yapılabilmesi.

2.6.2. Ölçüm Yöntemi

Devreler ve sistemlerde kullanılan ve sistemin ortak bir toprakla çalışması zorunluluğu bulunmaktadır. Bu gürültüyü engelleme, sinyal-gürültü ölçümü için mecburidir. Ancak biyolojik sistemler, yani elektrokimyasal olarak değişen potansiyeller bir referansa göre hareket etmemektedir [86]. Oysa ki bitkisel işaretin hangi voltaj dinamik aralığına sahip olduğu ile ölçüm devresinin eşitlenmesi gerekmektedir. Bu durumda ortak toprak olması sorununu ortaya çıkarmaktadır [78]. Burada yüzey potansiyelinin ölçümün bağımsız olup referansa göre ötelenmesi ile mümkündür.



Şekil 9. Yüzey potansiyellerinin alınma adımları

Şekil 9 akış diyagramında verinin alınabilmesi için propların yapraklar arası bağlanması Şekil 10'de gösterilmektedir.

Ölçüm için domates gibi ince yapraklı bir bitki kullanıldığında ince yaprakta iğne elektrotlar tutunamadığı için Şekil 11'deki gibi yerleşim kullanılmıştır.



Şekil 10. Propların yerleşim şeması

2.6.3. Ölçüm Bitki Seti

Ölçümlerin alındığı bitki seti Tablo 5’de görüldüğü gibidir.

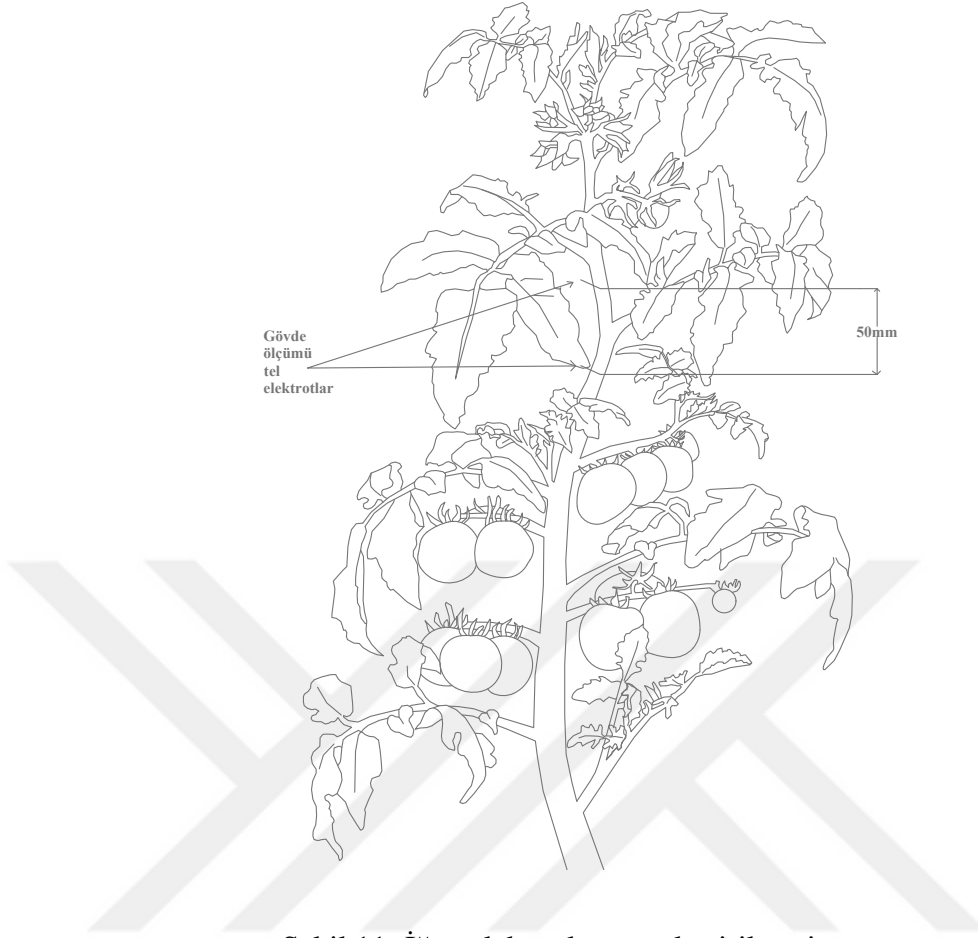
Tablo 5. Deney seti bitkileri ve özellikleri

Bilimsel İsim	Türkçe isim	Yaş	Morfoloji	Taksonomik [87]
<i>Hydrangea Macrophylla</i> [88]	Ortanca	1 Yaşında	Odunsu	Cornales
<i>Solanum Lycopersicum</i> [89]	Domates	1 Yaşında	Otsu [90]	Solanales
<i>Eriobotrya Japonica</i> [91]	Yenidünya	3 Yaşında	Odunsu [92]	Rosales
<i>Ficus Elastica</i> [?]	Kauçuk	6 Yaşında	Odunsu	

2.7. Kullanılan Ölçüm Metotları ve Analizi

2.7.1. $\Delta\Sigma$ Analog Dijital Dönüştürücü

Bitkideki elektrokimyasal yük kapasitesi göz önüne alındığında μV veya nA mertebesindeki elektriksel değişimi, offset gerilim aralığıyla değişimlerin izlenmesi, yeterince kapsayacak derecede bir dinamik aralık seçilmesi ve amplifikatörün desteklemesiyle oldukça elverişlidir. Amplifikatör dinamik aralıkta, yeterince küçük derecede negatif gerilim uygulayabilmeli ve bu anlık ölçümden çıkarılıp güçlendirilmeden önce hesaplanabilmelidir.



Şekil 11. İğne elektrotların yerleştirilmesi

Daha sonra kuantalama aralığına güçlendirilmelidir. Ölçüm sisteminin dinamik aralığının yeterince minimum seviyede kuantalanbilmesiyle bizim dijital gerilim hassasiyetimiz ele edilmektedir.

Ancak, burada tercih edilen $\Delta\Sigma$ analog dijital dönüştürücü (ADC) dönüştürücü güçlendirme kullanmadan 1 bit seviyesinde dijital ve analog sistemin 2/1 oranlarıyla, 3 parçadan oluşmaktadır. $\Delta\Sigma$ Modülatör, Dijital filtre ve desimatörden oluşmaktadır. $\Delta\Sigma$ dönüştürücü düşük gürültüyle analog değerdeki değerleri, rassal değere dönüştürmektedir. 1 bit ile kuantalanan analog işaret sistemin saat hızında veri göndermektedir. $\Delta\Sigma$ dönüştürücü, diğer kuantalayıcıların aksine, bir integratör ile kuantalama gürültüsünü yüksek frekansa göre almaktadır. Bu sebeple kuantalayıcının gürültüsü her frekansta eşit değildir. Burada kuantalayıcı her bir önceki ölçümü hesaplamak için 1-bit gecikmeli olarak göndermektedir [93].

Artış ve azalış için 1 bit ile kuantalanan analog işaret dijital domainde, yüksek frekans alçak geçiren dijital filtre (AGDF) ile filtrelenir. Desimatör filtre fonksiyonuyla çıkış veri

Tablo 6. MSP430I2040 mikroişlemcisinin özellikleri

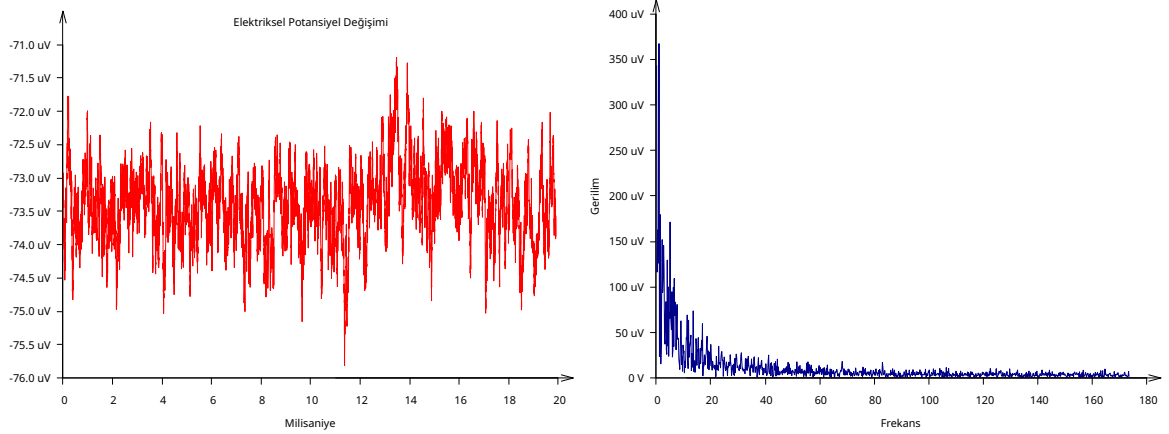
Parametre	Değer
Besleme voltaj aralığı V_{cc}	2.2 V – 3.6 V
$DR_{\Delta\Sigma ADC}$	$V_{rms} = 0.7\mu V$
Bağımsız ADC	4 Kanal
Referans Voltaj Aralığı	$\pm 928mV$
Maksimum Örnekleme Frekansı	$f_s = 4.5 kHz$
$\Delta\Sigma$ Modülatör frekansı	$f_M = 1024 Mhz$
Diferansiyel Yükselteç Kazancı(CMRR)	12 dB

oranı yavaşlatılır. Burada AGDF quantalama gürültüsünü düşürerek aynı zamanda bant genişliğini daraltmaktadır [94].

MSP430I2040 mikroişlemci [95], $\pm 928mV$ dinamik gerilim aralığına [DR] sahip ve 28 bit ile kuantalandığında,

$$Hassasiyet = \frac{2 * 0.928}{2^{28} - 1} = 6.914nV \quad (14)$$

hassasiyete teknik olarak sahiptir. Ancak, gürültü tabanından dolayı $\pm 0.7\mu V$ veya $V_{peak-to-peak} = 1.4\mu V$ değerlerinin altı göz ardı edilmelidir.



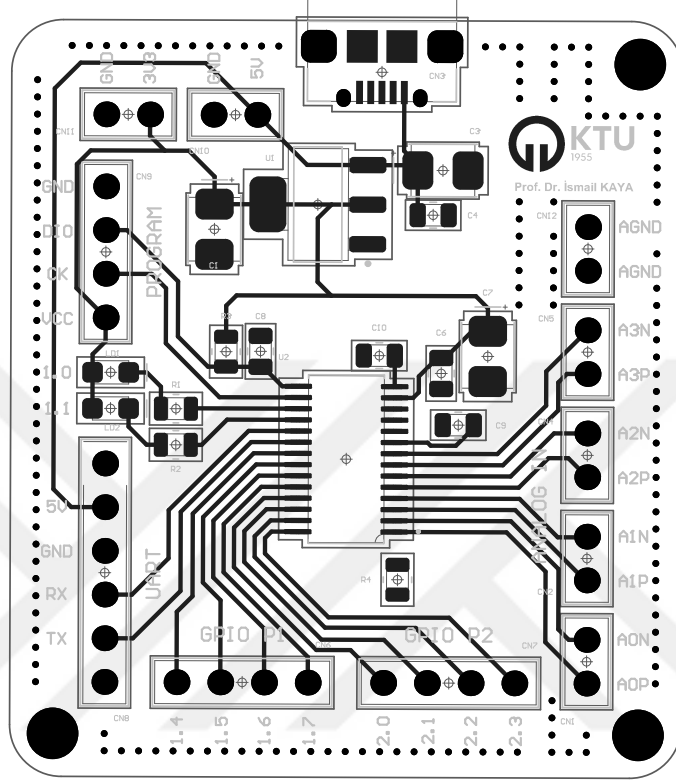
(a) Zamana bağlı

(b) Frekansa bağlı

Şekil 12. Devre gürültü alt sınırı

2.7.2. Ölçüm Devresi

Ölçümler için devre, aktarım için bluetooth cihazı, besleme ve şarj devresi Lityum-iyon pili kapsayan bir ölçüm kutusu tasarlanılmış ve ölçümler alınmıştır.



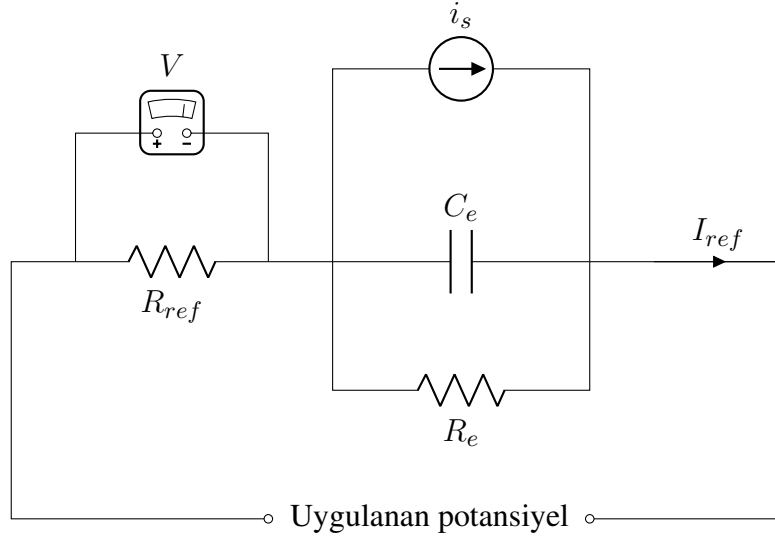
Şekil 13. MSP430I2040 işlemcisi ve ölçüm devresi

2.7.3. Çoklu Elektrot Yöntemi

Bitkinin eşdeğer devresi, R_e , C_e ve R_{ref} harici direnç kullanılarak oluşturulmuştur. Yaprak direnç ve kapasitansı, harici bilinen R_{ref} direnç üzerine düşürülen referans gerilim V_{ref} ile hesaplanmaktadır.

Şekil 14’de verilen devrede Z_e empedansı,

$$\begin{aligned}
 I_{ref} &= \frac{V_{ref}}{Z_e + R_{ref}} \\
 &= \frac{V_{ref}}{Z_e + R_{ref}} \\
 &= \frac{V_{voltmeter}}{R_{ref}}
 \end{aligned} \tag{15}$$



Şekil 14. Yaprığın ölçümü eşdeğer devresi

R_e = Ölçülmek istenen direnç, R_{ref} = Ölçüm cihazının iç direnci, C_e = Ölçülmek istenen kapasite, V = Ölçüm cihazının gerilimi, i_s = Ölçülen yüzeyin kendi iç akım kaynağı, I_{ref} = Devre akımı,

Buradan,

$$Z_e = \frac{V_{ref}}{V_{voltmeter}} * R_{ref} - R_{ref} \quad (16)$$

olarak bulunur.

Burada eşitliğin geçerliliği için $|R_{ref}| \gg |Z_e|$ koşulunun sağlanması gerekmektedir. Aktif bir devreyle empedans ölçmek için, referans kaynağı akım kaynağı olmaktadır. Teorik detaylar [96] [97] kaynaklarında yer almaktadır. Bu yöntemde birimlerle gösterilen değerler çok yüksek hassasiyetle ölçülmemektedir. Laboratuvarda yapılan ölçümlerde, en az 20-100 kat daha büyük bir referans empedansı ile ölçülmesi halinde, ölçümde yapılan hata gözlemlenenin altına düşmektedir.

Yüzey empedans ölçümlerinde, ölçülen değerler elektrot yüzey parametreleri ve yaprak yüzey parametreleriyle değişmektedir. Yapılan ölçümlerde yüzeyin değişmekle birlikte kendi içinde sabit değerler gösterdiği ölçülmüştür. Burada bitki ve hayvanlardaki yüzey ölçümleri için gerekli olan lineer sınırı lehimize kullanmaktayız [98].

Yine burada Pouillet's akım gerilim formülünden yola çıkılırsa, $R_{leaf} \gg R_{electrode}$ elektrot direnç ve $C_{leaf} \gg C_{electrode}$ kapasitansı koşulları sağlanmasında ihmal

edilebilmektedir. Ancak burada probun kapasite, EMI gibi karakteristik özellikleri önem kazanmaktadır. Bu durumda propların optimize edilmesi gerekmektedir. Optimizasyon için bölüm 3.3.'de anlatılmaktadır. Ölçüm yapılan proplar Tablo 4'de verilmiştir.

2.8. Veri Dijital Filtrenmesi

Anlık bitki işaretinin AP, RC gibi işaretlerin yakalanması, statik etkinin azaltılması dolayısıyla zaman işaretindeki işaret şekillerinin ve trend analizi yapılabilmesi için işaret işleme yöntemleri kullanılmalıdır. Bu amaç için kullanılabilecek bazı işaret işleme yöntemleri;

- Kalman filtre
- Hammerstein-Wiener filtre
- Ağırlıklı hareketli ortalama

gibi yöntemler kullanılabilmektedir. Bu çalışmada grafik 28'deki filtrenmiş potansiyel değişimi,

$$\bar{x}_k = \alpha x_k + (1 - \alpha)\bar{x}_{k-1} \quad (17)$$

$$\bar{x}_k = 0.01x_k + 0.99\bar{x}_{k-1} \quad (18)$$

üssel ağırlıklı hareketli ortalama veya ağırlıklı hareketli ortalama [EMWA] olarak adlandırılan 18. denklem kullanılarak elde edilmektedir. Anlık verinin ağırlığını azaltarak ortalamaya eklemektedir. İşarete oluşabilecek rastgele ani dalgalanma ve gürültü etkisinin üssel olarak azaltılması, daha yumuşak ve stabil EP-zaman grafiği elde edilebilmesi için kullanılmıştır.

Bu filtrenin uygulama bulguları, Bölüm 4.3. başlığında sonuçları gösterilmiş ve tartışılmıştır.

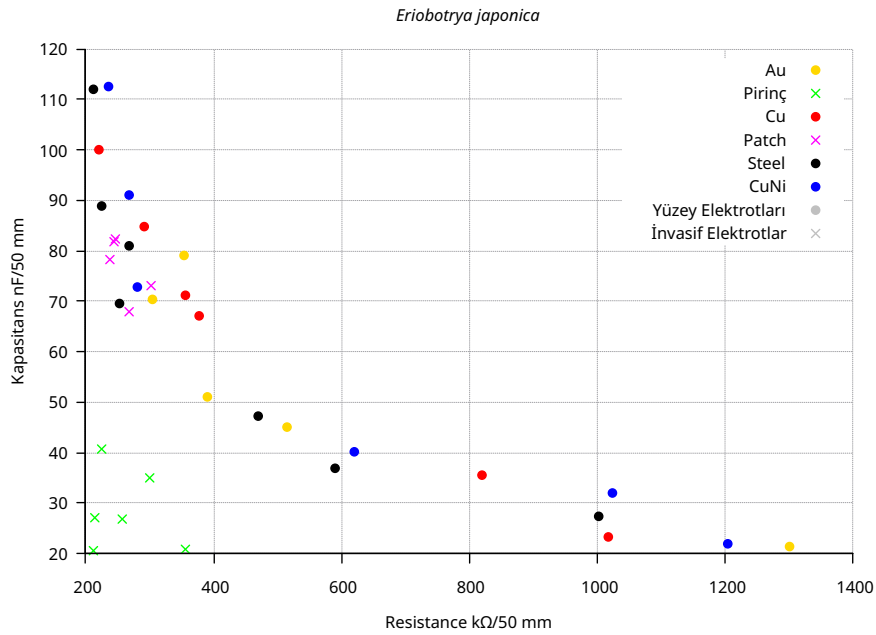
3. YAPILAN ÇALIŞMALAR

Tez kapsamında yapılan çalışmalar, yüzey indüktans ve kapasitans ölçümü, Voltaj-Akım tekniğinin örnekleme yöntemiyle bitki potansiyellerinin ölçümü, propların ölçümü etkilememesi için prop equalizer uygulaması ve ölçüm gürültüsünün hesaplanması çalışmaları yapılmıştır.

3.1. Yaprığın Elektriksel Stabilité Ölçümleri

3.1.1. Anlık Yüzey Ölçümleri

Sıvı, iyon ve molekül konsantrasyonun herhangi bir bölgede değişmesi buradaki tüm yoğunluğu, yüzey buhar basıncı ve iç basıncı değiştirmektedir. Ancak Nitrojen, selüloz, lingin vb bileşiklerin konsantrasyonu ve molekül ağırlıkları ayrıca değişebilmektedir [99]. Yapraktaki yoğunluk dağılımları ve yapıların direnç ve kapasite değerlerini değiştirdiği bilinmektedir [98]. Bu sebeple daha stabil ölçümler elektrot bazlı hataları azaltmak için lineerlik testleri yapılmıştır. Bunun için oluşturulan ölçüm seti Tablo 5'deki bitkiler üzerinde gerçekleştirilmiştir.



Şekil 15. Çoktu elektrot yöntemiyle (4T) 50 mm için ardışık ölçülen değerler.

Kullanılacak propların pratik olarak temas yüzeyine tutunması veya tutunamaması, Tablo 4'deki propların kendi özellikleri yani bütün parametrelerin dahil olduğu ön ölçümler yapılmıştır. Yapılan ilk ölçümlerde ve literatür çalışmalarındaki lineerite saptamaları sebebiyle ölçümlerde bir çok parametrenin empedans ölçümlerine müdahale ettiği anlaşılmıştır. Bu ilk ölçüm sonuçlarında sabit olmayan direnç ve kapasite ölçümleri elde edilmiştir. Teknik olarak ölçümü bölüm 2.7.3.'de anlatılan yöntemle ilk ölçümlerde sonuçlarda literatürdeki çalışmaları teyit etmiştir. Ancak burada literatürdeki bir çok sebebin etkisinden fazla olan elektrot kaynaklı ölçüm hatası bulunmaktadır. Bu sebeple daha stabil olabilen birkaç yöntem denenmiştir ve Tablo 4'de verilen pirinç mıknaatısla yüzey teması artırılmıştır.

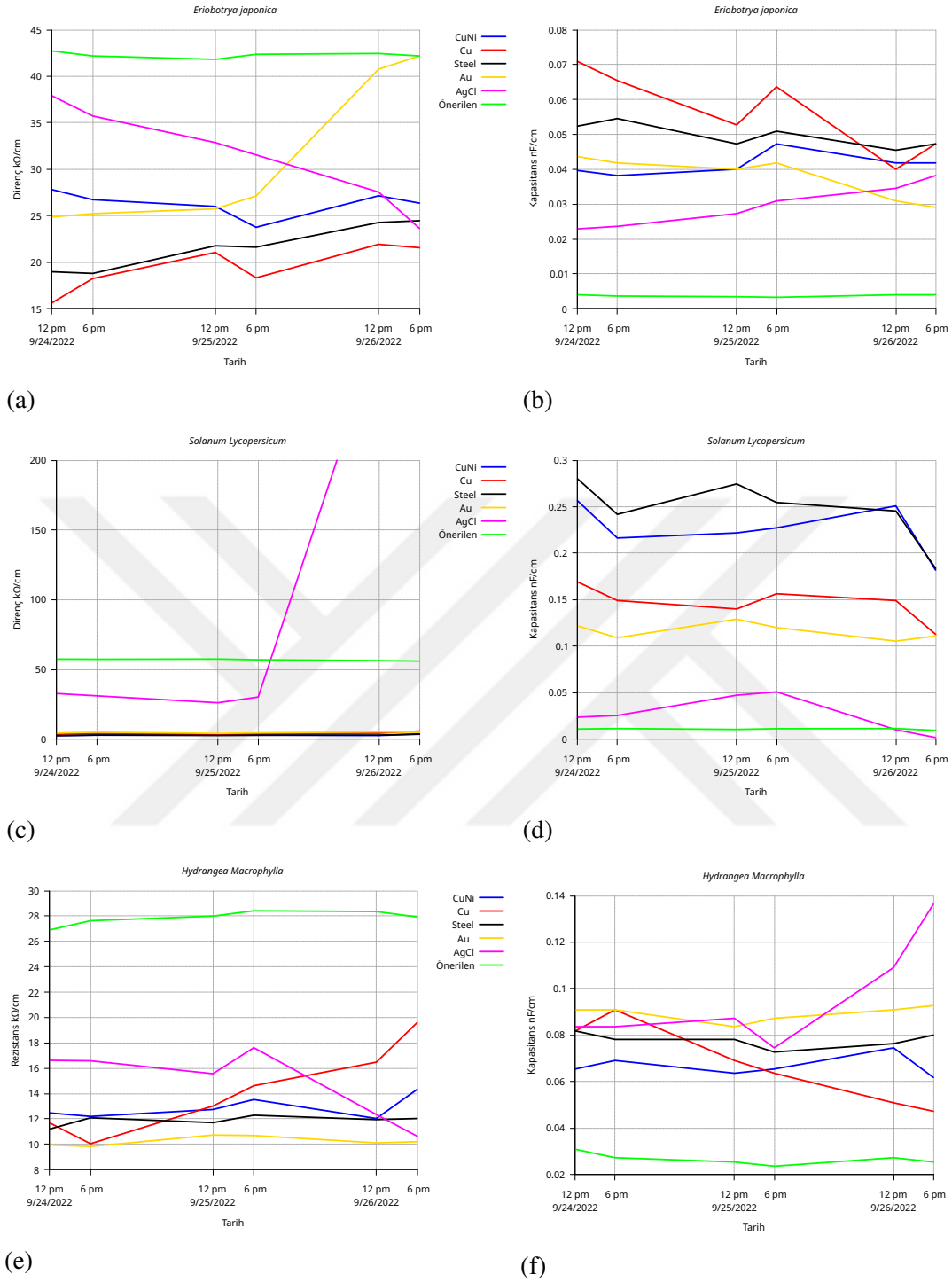
Burada ölçümler yapılırken yaprak kenarı, uç, orta kısım, sapa yakın kısımların her birinden aynı bitkiden olmak üzere, aynı ve farklı yapraklar üzerinde ölçüm alınmıştır. Yükselen değerler invazif elektrotlar kapsamında sap ve damar kısımlarından uzak yerlerden çıktığı Şekil 15'deki bir örneği verilen gözlemler alınmıştır. Molekül, iyon veya su konsantrasyonları bu değerlerin değişmesine etki edebilir ancak en büyük etki temasın azalmasıdır. Sebepleri her ne olursa olsun yüzey ölçümü çok daha stabil bir ölçüm vermektedir.

3.1.2. Uzun Dönemli Yüzey Ölçümleri

Anlık ölçümlerden daha uzun süreli ölçümlerdeki elektrot performansı ölçümleri yapılması gerekmektedir. Yüzey lineerliğinin bitkideki sirkadyen döngü etkisindeki durumunu gözlemlemek gerekmektedir. Yapılan ölçümlerde invazif elektrotların *Solanum Lycopersicum* ve *Hydrangea Macrophylla*'da yaprak yüzeyinde ölçüm alınamaması sebebiyle gövdesinden ölçüm alınmıştır.

Bölüm 2.7.3.'de anlatılan çoklu elektrot yöntemle ve yaklaşık 6 ve 12 saatlik aralıklarla yapılan ölçümleri kapsayan değerler grafik 16'te verilmiştir. Ayrıca ölçümler 50 milimetrelık eşit aralıklarda yapılmıştır.

Grafik 16c'de fazlasıyla anormal şekilde ölçüm değeri veren AgCl yüzey elektrodunun yapışkanlığını kaybetmesi sonucu gövdesinden çok yüksek değerde ölçüm vermektedir. Burada *Solanum Lycopersicum*'un yapraklarının Şekil 18e'deki gibi etkilenmesi sebebiyle gövdesinden ölçüm alınmıştır.

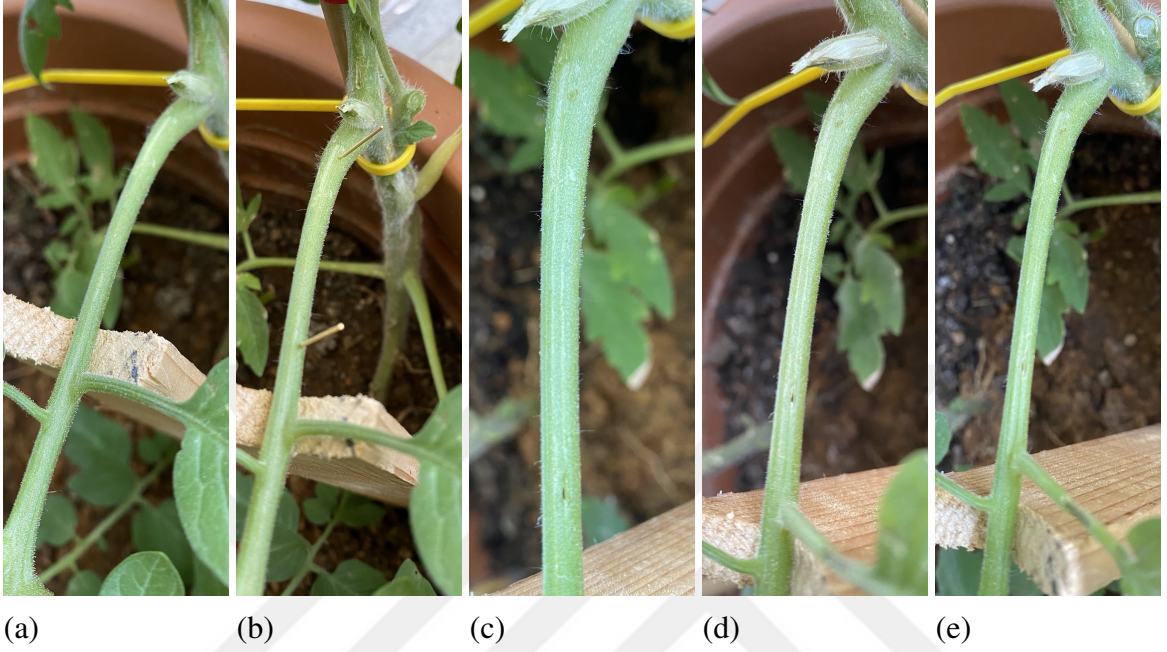


Şekil 16. 54 saat süresince çoktu elektrot yöntemiyle alınan ölçümler.

3.1.3. İnvazif ve İnvazif Olmayan Elektrot Kullanımlarının Fiziksel Etkileri

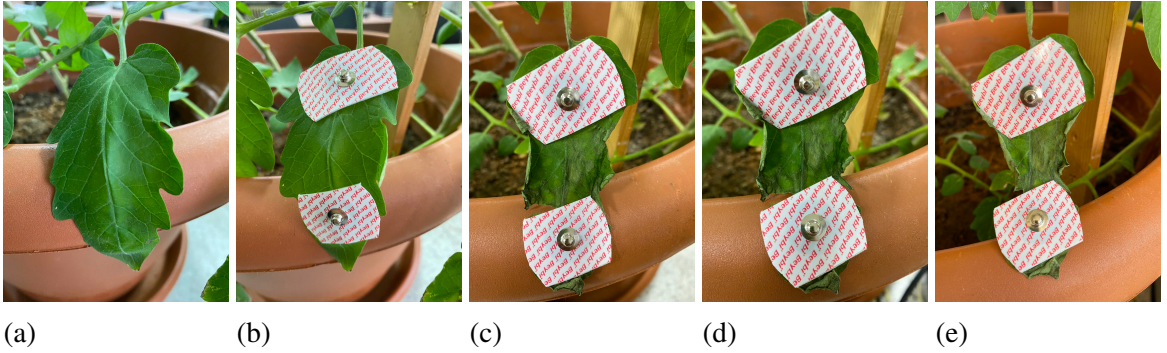
Uzun süren ölçümlerde, prop ve elektrot bağlantısı bitki yüzeyinden prop kablosu ağırlığından, elektrotların hava dolaşımı veya bitkinin hareketi sebepleriyle ayrılması gözlem-

Kısa süreli ölçümlerde kullanılan elektrotların, bitkinin ve yaprağın sağlığı göz önünde bulundurulmalıdır. Örnek olması açısından propların sadece *Solanum Lycopersicum* (domates) üzerindeki zararları bu şekillerde gösterilmiştir. Yapılan gözlemlerde ayrıca invazif ve invazif olmayan bu yöntemlerle ölçümlerden sonra bitkilerdeki gözle görülebilen deformasyonlar şekil 17, 18 ve 19’da gösterilmiştir.



(a) Prop bağlanmadan önce, (b) altın iğne bağlantısı, (c) ölçümden sonraki gün, (d) Ölçümden sonra ikinci gün, ve (e) ölçümden sonra üçüncü gün.

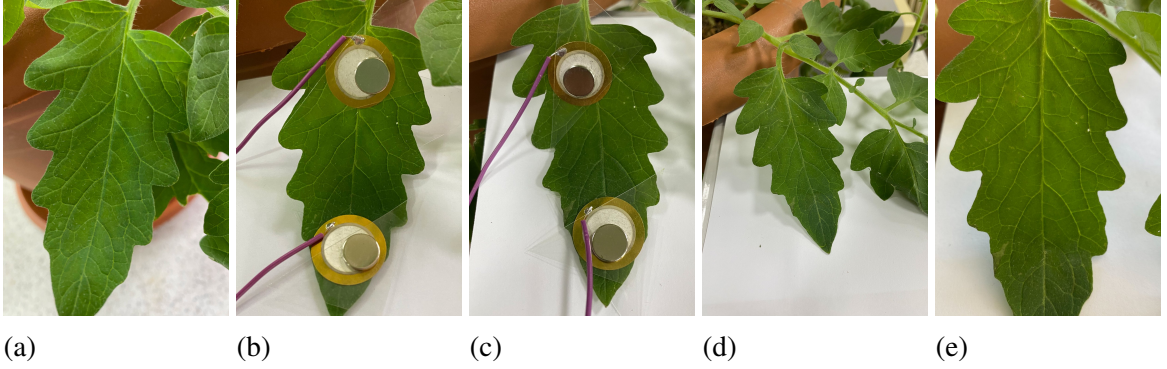
Şekil 17. Altın iğne kullanımının bitki yüzeyi takibi.



(a) Prop bağlanmadan önce, (b) AgCl elektrot bağlantısı, (c) ölçümden sonraki gün, (d) Ölçümden sonra ikinci gün, ve (e) ölçümden sonra üçüncü gün.

Şekil 18. AgCl elektrotun kullanımının bitki yüzeyi takibi.

Şekil 19’da önerilen yöntemin kullanımında görsel olarak bir zedelenme farkedilmemiştir. Ancak elektrotun sert bir şekilde çekilmesiyle zedelenme oluşmaktadır.



(a) Prop bağlanmadan önce, (b) elektrot bağlantısı, (c) ölçümden sonraki gün, (d) Ölçümden sonra ikinci gün, ve (e) ölçümden sonra üçüncü gün.

Şekil 19. Önerilen prop kullanımının bitki yüzeyi takibi.

lenmiştir. Burada en büyük etki prop kablosu ağırlığıdır. Prop kablosunun EMI interferansı önlemek için korumalı olması ve bakır veya alüminyum korumanın yaprağa veya gövdeye görece azaltılıp artırılarak tutunma sağlanabilmektedir ⁸.

3.2. Elektrostatik Etki Ölçüm Düzenegi

Bitki işaretlerinin statik etkiden ayrıştırılması temiz bir şekilde alınabilmesi için çalışılan mikro volt hassasiyette elektrostatik etki çok yüksek olmaktadır. Dış statik yüklü cisimlerin, prop kablosu ve elektroda etki etmesi sonucunda elektrot üzerine etki etmektedir. Elektrostatik bir salınımdan bitki işaretinin ayırt edilmesi gerekmektedir. Halbuki, literatürde bitki işaretlerinin elektrostatik etkiden ayrıştırılması konusunda açıklayıcı bir kaynak mikro voltlar seviyesinde bitki araştırmacıları tarafından odaklanılmış bir konu bulunmamaktadır. Burada bitki işaretinin tam olarak elektrostatik etkiden ayrımı konusunda ölçüm devresinin etkisi veya dış bir etkinin olup olmadığının ortaya konması için böyle bir model geliştirilmiştir.

Çalışılan voltaj seviyesinde elektrostatik etkinin etkisi çok fazladır. Bu elektrostatik etki bitkinin gerçek işaretlerinden kesin olarak ayrılması gerekmektedir. Bu etkinin bitki işaretleri bağlamında hem işaretin kaynağının bitkiden olup olmadığının ispatı gerekmektedir.

⁸Ortaminin rüzgar vb etkilerden yalıtılması ön koşuldur

Bunun için metal bir bitki ve geçek bitki arasındaki farka bakılması gerekmektedir. Şekil 20a'daki gibi bir bitki modeli oluşturularak ve yaprakları arsında karşılaştırılacağı bitkinin *Ficus elastica* (kauçuk bitkisi) yapraklar arası direnç ve kapasite değerleri eşleştirilerek model oluşturulmuştur.



(a) Bakır eşdeğer bitki modeli.

(b) Ficus Elastica (Kauçuk).

Şekil 20. Elektrostatik etki karşılaştırması model elektrot bağlantıları.

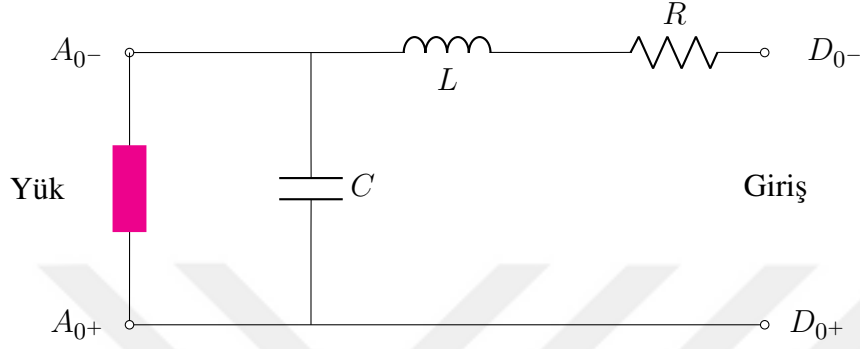
Bu modelin oluşturulmasındaki amaç, bitki işaretinin çevresel etkilerle ortaya çıkıp çıkmadığının bir ispatıdır. Ayrıca bu düşünce ile statik olarak çevresel etmenin bitkisel işaretin üzerindeki etkisinin ispatlanmasıdır. Burada yapraklar arasındaki $22k\Omega$ değeri, $208\mu F$ değerlerine ek yaprak arası mesafeler mesafe göz önüne alınmıştır.

3.3. Prop Optimizasyonu

Proplar çeşitli kalınlıktaki bakır alüminyum bileşenli kablolardan oluşmaktadır. Her probun kendisine has bir direnç, kapasite ve indüktif etkisi olmaktadır. Bu değerler her frekansta farklı etkiye sebep oldukları için temel ölçüm parametrelerini farklı cihaz ve farklı problemler kullanarak elde edilen çalışmaları karşılaştırmanın yapılabilmesi için bu etki ölçümünden. Kabloların arasında 3-5 cm gibi değerler göz ardı edilebilse de kablo uzunluğu, kalınlığı

ve bileşenleri açılarından bu durum tam tersine dönmektedir. Equalizer katsayıları, kapasitif ve indüktif değerini ölçümünden çıkartmak için kullanılmaktadır. Bu çıkarım işlemi, işlem yükünü artırmasına karşın kablo eşdeğer yükünü ölçümünden çıkarmaktadır.

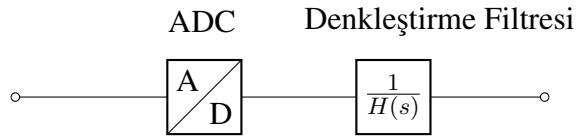
Alınan işaretin doğruluğundan emin olmak ve sinyal gürültü oranını maksimize etmek için yapılan prop equalizasyonunda eşdeğer devre şekil 21’de gösterilmiştir.



A_{0-} = ADC data (-) port, A_{0+} = ADC data (+)port, D_{0-} = Data giriş (-) port, D_{0+} = Data giriş (+) port, Yük = Probun kompleks eşdeğeri

Şekil 21. Probun ölçüm devresine etkisinin eşdeğer devresi.

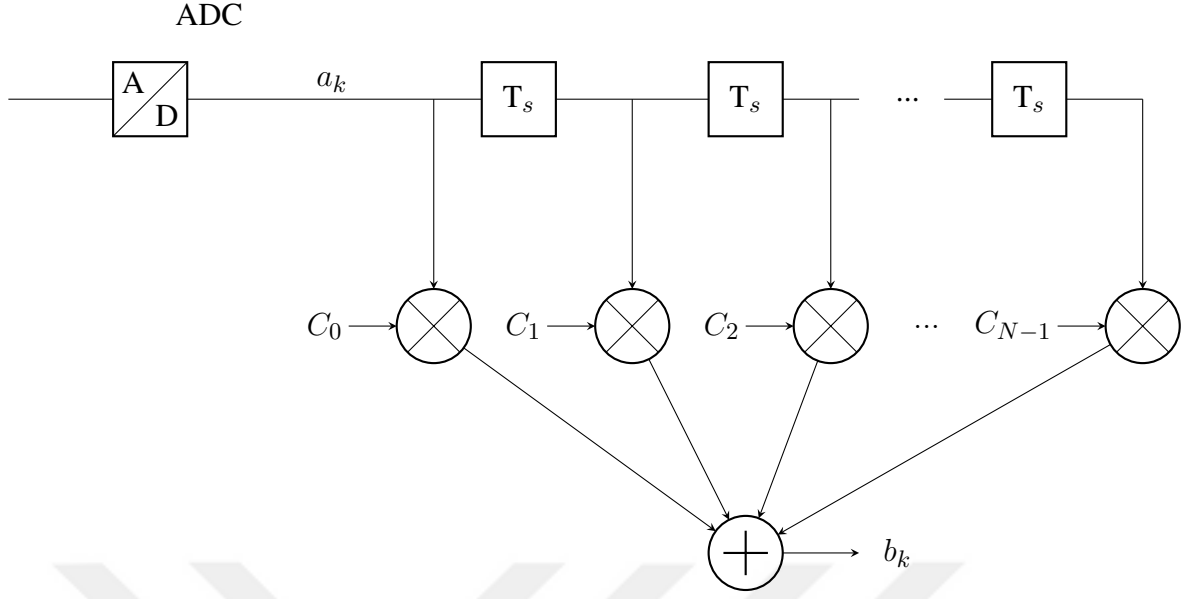
Probun spesifik özelliği, kendisine has kompleks $x + jy$ yapısının olması sebebiyle ki her ne kadar az olsa da kompleks bileşeni bulunmaktadır. Bu katsayıların çıkarımını yapmak ve bunu ölçümünden kaldırmak için yapılacak propların optimizasyonu için eşdeğer devresinin benzetiminin yapılmasının ilk adımıdır.



Şekil 22. Prop Denkleştirici Diyagramı

Eşdeğer devresine uygulamak üzere equalizasyon yapılması ve buradan propların öznitelikleri çıkartılması için sistem diyagramı şekil 22’de verilmiştir.

$$b_k = \sum_{i=0}^{N-1} c_i a_{k-i} \quad (19)$$



$C_{0,1,2,\dots,N-1}$ = Filtre katsayıları, T_s Giriş darbeleri arasındaki gecikmeler,

Şekil 23. Lineer Çapraz Denkleştirici

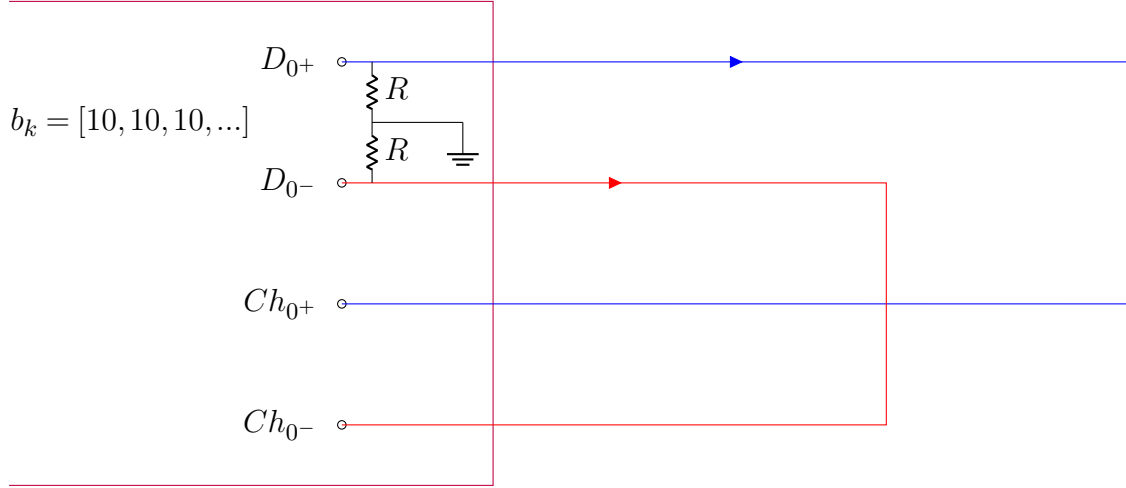
Burada; b_k düzeltilmiş işaret, c_i filtre katsayıları, a_{k-i} zamanda yayılmış işaretin notasyonudur [100].

Eşdeğer devresine uygulamak üzere equalizasyon yapılması ve buradan propların özniteliklerinin çıkartılması için Şekil 23’de verilen filtre belirli uzunluktaki örneklenmiş veriyi alıp toplamaktadır. Burada filtre, gönderilmiş bir birim vuruşun, zamanda yayılmasını toplayıp gönderilmiş işaretin genliğini elde etmektedir.

$$c_i^k = c_i^k + \Delta e_k b_{k-i}^* \quad (20)$$

$$e_k = b_{k-\text{grupgecikmesi}} - b_k \quad (21)$$

Prob üzerinden geçirilen bu birim vuruşlar, belirli bir uzunluktaki $b_k = [10, 10, 10, \dots]$ dizisidir. Verilen bu dizinin ADC ile Ch_{0+} Ch_{0-} arayüzünden okunmaktadır. Her okunan değer denklem 22’deki değerlerini optimum değere güncellenmektedir.



D_{0+} = Data giriş (+) portu, D_{0-} = Data giriş (-) portu, Ch_{0+} = ADC data (+)portu, Ch_{0-} = ADC data (-) portu, Yük = Probu kompleks eşdeğeri

Şekil 24. Öğrenme devresine bağlanan 2 uçlu probun devresi.

Buradaki en küçük optimize değerin 20. denklemlerle bulunmasında, Δ adım büyüklüğü ($\Delta=0.001$ veya $\Delta=0.0001$), e_k iterasyondaki hata, b_{k-i}^* verilen filtre girişi olmak üzere filtresinin katsayılarını her adımda minimize edilmektedir. Bunun için data girişinden verilen ve bilinen belirli uzunluktaki dizi kanal girişinden algılanmaktadır. $N=1024$ olan b_k dizisi için, grup gecikmesi $\frac{N}{2} = 512$ olarak hesaplanmaktadır.

4. BULGULAR

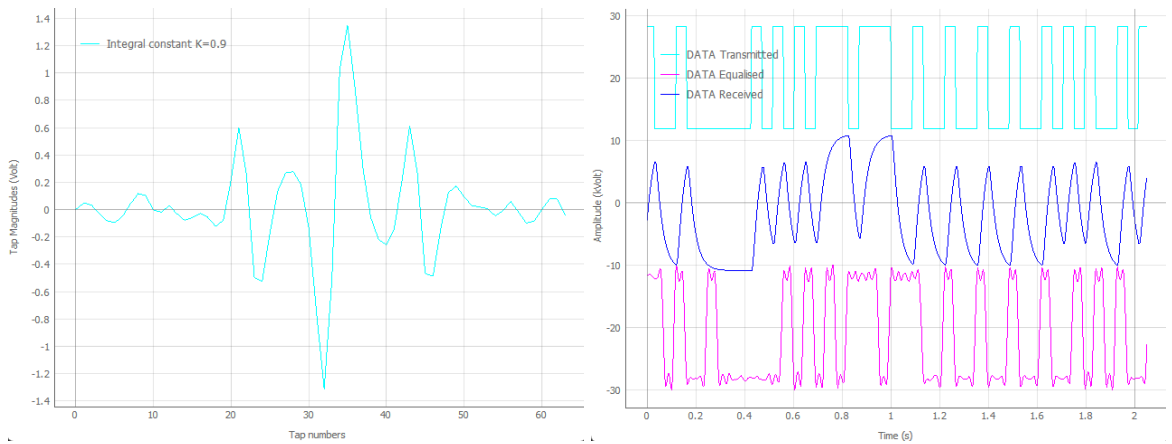
4.1. Topraklama Gürültüsü

Ölçüm sisteminde kullanılacak ölçüm devresinin hassasiyeti bitki ölçümü için uygun olmalıdır. Bu sebeple kullanılacak yükselteç devrelerinin ölçüme başka gürültü veya salınımlar eklemesi söz konusudur. Örneğin EKG yükselteci olarak kullanılan "AD8232" Bitki işareti ölçmek için kullanıldığında yüksek topraklama anahtarlama gürültüsü ortaya çıkmaktadır. Bu sebeple, yüksek toprak anahtarlama tasarımı bitki elektriksel ölçümleri için kullanılmamalıdır.

İki veya daha fazla bitkinin, aynı koşullarda eşdeğer işaret takibi deneylerin tekrarlanması gerekmektedir. Bunun için, farklı cihazların işaret seviyelerinin karşılaştırılması gerekmektedir. Ancak bu durumda topraklar arasındaki bağlantı, EP işaretlerinin birbirinden ayırt edilememesine sebep olmaktadır.

4.2. Prop Optimisasyonu

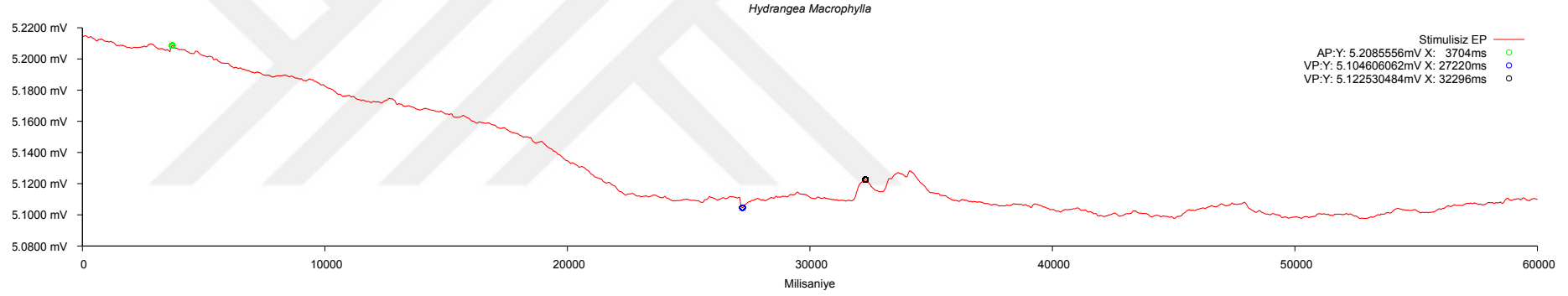
Filtre katsayılarının optimizasyonu ve uygulaması seçilebilecek herhangi bir tap sayısında uygulanabilir. Bu optimizasyon yine seçilebilecek iterasyon adımıyla güncellenebilir. Örneğin 32 taplık filtre katsayısı kullanılarak 70k iterasyon sonucu Şekil 25'de gösterilmiştir.



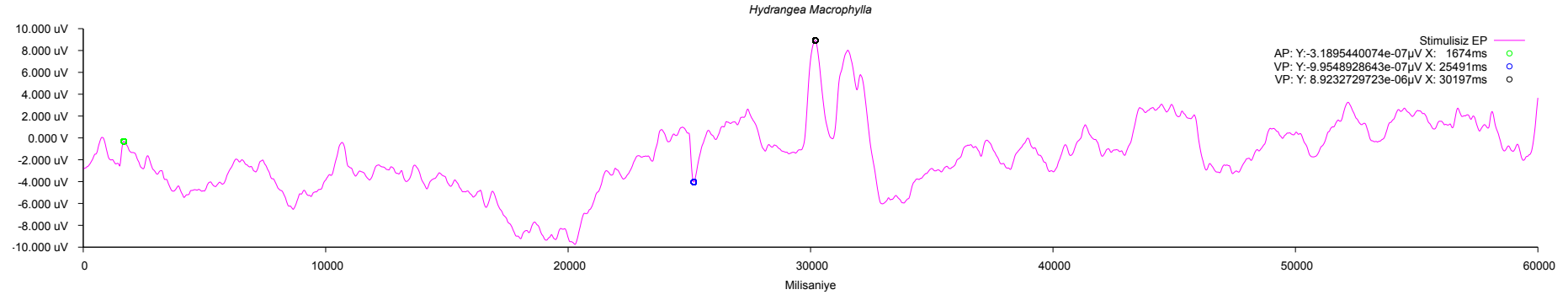
(a) Filtre C_k katsayılarının tab boyunca optimizasyon sonucu aldığı değer.

(b) 32 Tab, 25 Hz ve 70 000 iterasyon sonucu alınan sonuç.

Şekil 25. Öğrenme devresinin filtre katsayılarını optimize etmesi.



Şekil 27. Filtrelenmiş EP değişimindeki tepe noktaları



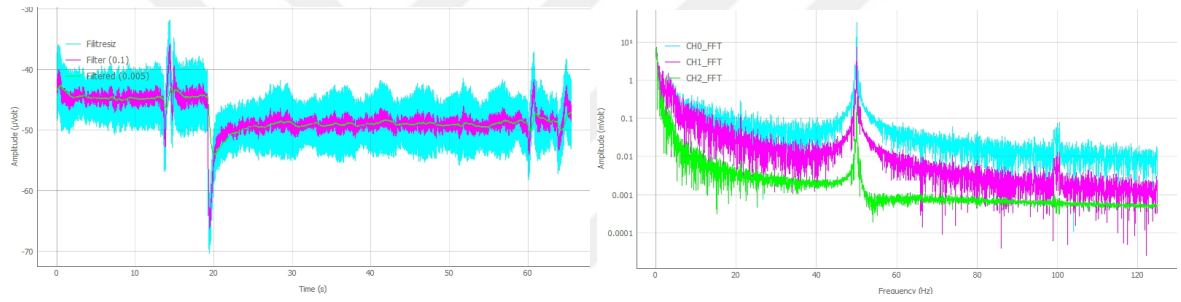
Şekil 28. İkinci kez filtrelenen EP değişimindeki tepe noktaları

4.3. Analog ve Dijital Filtreleme

Bitki elektriksel işaretlerinin alınmasında, dış etkilerin elimine edilmesi için Notch filtre, LPF, ekranlı kablo kullanımı, doğru topraklama yapılması gibi uygulamalar yapılması durumlarında dahi işaretlede ki gürültü giderilememektedir. Bunun için 2.8. başlığında bahsedilen dijital filtreleme yöntemleri uygulanmalıdır.

Ayrıca, LPF ve Notch filtre, bitki işaretlerine müdahale edebilen dış etmenlerin filtrelenmesinde analog yöntem olarak kullanıldı. Ancak, bitki işaretindeki gücün düşmesine sebep olduğu için kullanılmamıştır.

4.3.1. EMWA Filtre Katsayı Belirleme



(a) Zamana bağlı.

(b) Frekansa Bağlı.

Şekil 26. Öğrenme devresinin filtre katsayılarını optimize etmesi.

Burada 0.1 ve 0.005 değerleri denklem 18'deki α katsayılarının değerleridir. Filtre üssel ağırlıkları kıyaslandığında, güçteki düşüş görülmektedir. Ayrıca 50 Hz etkisi de düşmektedir. Yapılan gözlemlerde, şekil 26'deki sonuçlar alınmıştır. Şekil 26b'deki kıyaslama logaritmik olduğu için birbirine yakın görünmektedir. Fakat fark yüksektir.

Frekans ve zaman bazında filtreleme ağırlığını 0.05 ayarladığımızda spesifik olarak optimum sonucu ulaşmaktayız. EP değişimini daha spesifik olarak bu seviyede ele aldığımızda 27 grafiğini elde etmekteyiz.

4.3.2. Ölçümde EWMA Filtre Etkisi

EWMA filtresinin genel olarak pozitif ve negatif sonuçları bulunmaktadır. Alınan işaretin çok gürültülü olması sebebiyle, elektrotlardan alınan tüm veri EWMA filtresinden geçirilmektedir. Filtrenin etkilerini anlaşılması için, ikinci kez veriye uygulayarak hassasiyette, gecikmede ki değişimler incelenmiştir.

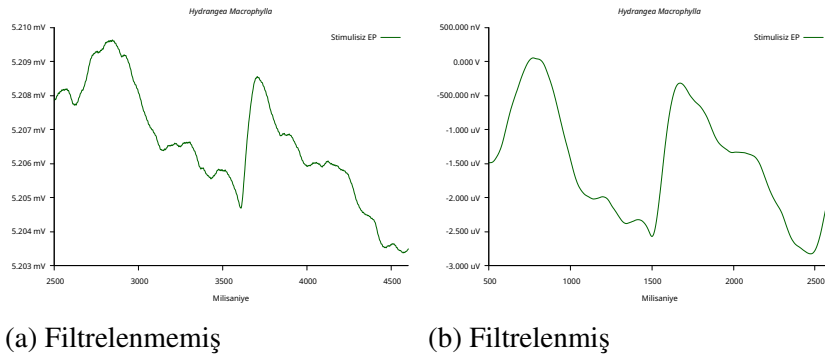
Şekil 27 ve 28’de alınan ölçümler, 13:52-13:56 saat aralığında VI yöntemiyle, ~ 60 saniye süresince altın iğneyle alınmıştır. Alınan ölçümden bir kesit göstermektedir. Herhangi bir stres uygulanmadan alınan EP ve filtrelenmiş anlık değişim korelasyonla görülmektedir.

Tablo 7. EMWA filtresi işaret tepe noktaları gecikme farkları.

İşaret tipi	Filtrelenmemiş zaman (ms)	Filtrelenmiş zaman (ms)	Fark (ms)
AP	1674	3704	-2030
VP	25491	27220	-1729
VP	30197	32396	-2199

Filtreleme sonucunda işaretlerdeki veri kaybı ve yumuşatmanın getirdiği hassasiyet kaybı, EP işaret özelinde algılanma seviyesinin etkisi AP, VP, ve HB açısından ele alınmıştır.

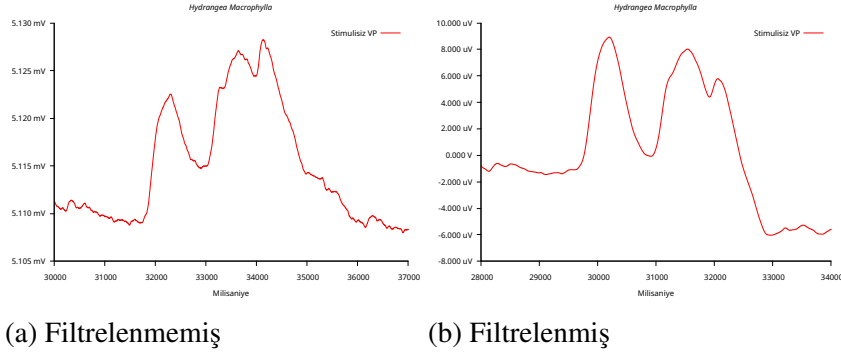
4.3.3. Filtrelenmiş AP



Şekil 29. AP filtreleme karşılaştırması.

4.3.4. Filtrelenmiş VP

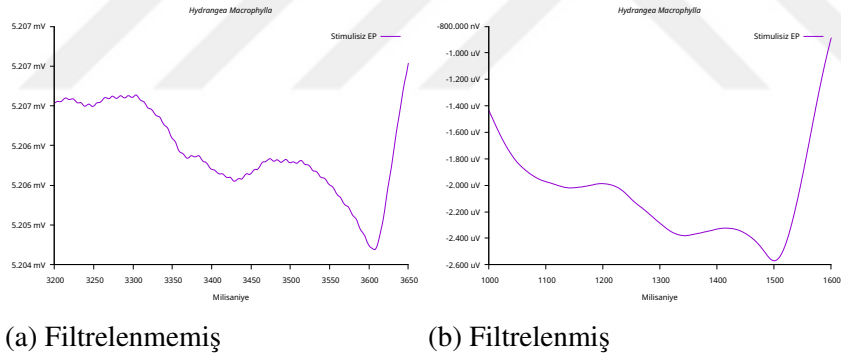
Burada literatürde en önemli nokta bu işaretin karakteristiğinin literatürde AP’den farklı olmasının bitiminde EP’de değişime neden olduğudur. Bu koşulun sağlanması nis-



Şekil 30. VP filtreleme karşılaştırması.

peten ilk darbeye gerçekleşmektedir toplamda ise tamamen görülmektedir. Gerekli farklılığı görülmektedir.

4.3.5. Filtrenmiş HB

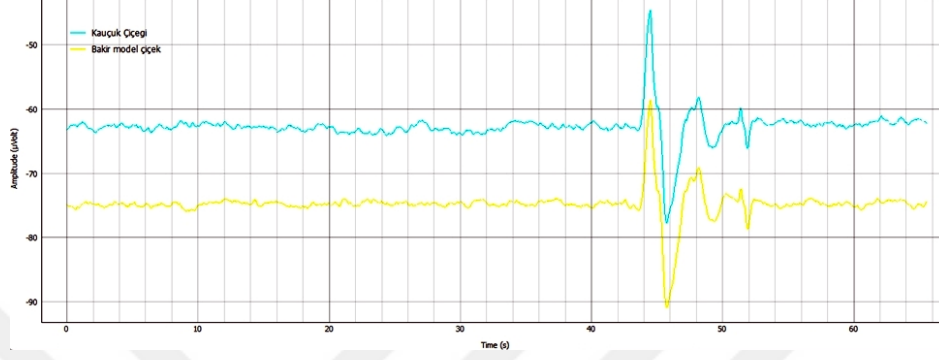


Şekil 31. HB filtreleme karşılaştırması.

Böylece analiz ve algılama yapılabilecek düzeyde bulunan filtreleme sonucu daha ileri deteksiyon işlemlerinde kullanılması mümkündür. HB işaretinin algılanmasında yerel minimum görülmektedir bu durumun güç ve yerel minimum algılanması konusunda tartışmak mümkündür. Ancak genel dez avantaj, gecikme ve güç katsayısı farklılığı görülmektedir. Sonuçta 500 Hz örnekleme hızının filtrelemeyi içerecek bir kullanımı mümkündür.

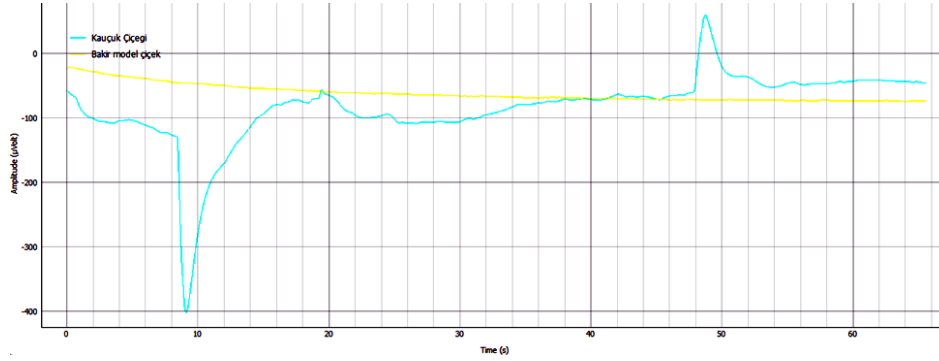
4.4. Bitki İşaretlerinin Elektrostatik Etkiden Ayrılması

Bölüm 4.4.'de oluşturulan model kullanılarak elektrostatik etki test edilmesi dış yüklü cisimlerin etkisini bize gösterecektir. Bu test için bir kişinin Şekil 20'de gösterilen bitkilerin yanından geçmesi sonucunda Şekil 32'deki grafik elde edilmiştir.



Şekil 32. Bakır bitki modeli ve *Ficus Elastica*'nın (Kauçuk) statik yükte tepkileri.

Görüldüğü gibi normalde farklı bir dalgalanmaya sahip olan iki model kendilerinden çok fazla yüklü bir objenin manipülasyonu karşısında benzer bir dalgalanma göstermektedir. Burada ayrıca 0.5 Hz 'de statik salınım bulunmaktadır. Bu sürekli salınım, bitki işaretlerinin $0\text{-}20\text{ Hz}$ arasındaki algılanmasını güçleştirmektedir.



Şekil 33. Bakır bitki modeli ve *Ficus Elastica*'nın (Kauçuk) uyarısız tepkisi

Bu modeli, bitkisel tepkilerin statik yük ile ilişkilendirilmesinde kullanmak mümkündür. Şekil 33'de bitki elektriksel işareti ile bakır modelin dış bir uyarım verilmeyerek sadece kendi salınımları gösterilmektedir.

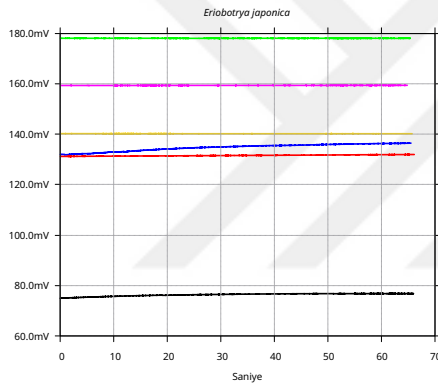
Bitki işaretlerinin basit bir ispatının ötesinde bu deney bitki işaretinin polarizasyon değiştirebildiğini de göstermektedir. Ayrıca VI devresinin stabilizasyonu hakkında da bilgi vermektedir.

4.5. Elektrotların Karşılaştırılması

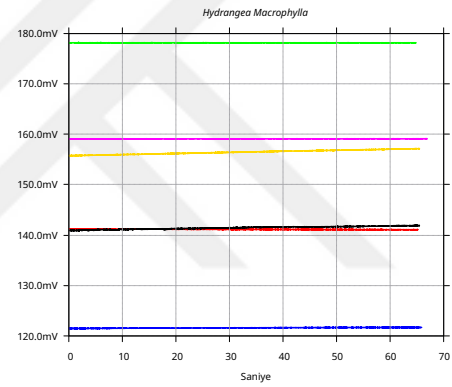
Elektrotların ölçümlerinde güç farklılığı yani performans karşılaştırması akla gelen en önemli soru olarak karşımızdadır. Literatürde görülen invazif yöntemlerin halen kullanılması sebeplerinden birisi EP işaretlerin tam karakteristiğinin algılanmak istenmesidir.

4.5.1. DC Seviyeleri

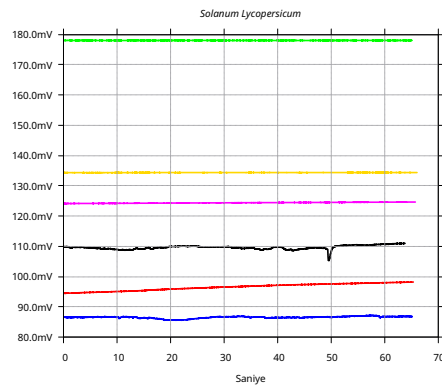
Genel olarak elektrotların karakteristiğindeki farklılıklara Bölüm 3.'te bir çok parametre ile değinilmiştir. Ancak ölçümde bu parametrelerin nasıl sonuç vereceği merak konusudur. Bu sonuçlar Şekil 34a,34b ve 34c ölçümlerinde verilmiştir. Bölüm 2.6. belirtilen koşullarda ölçümler yapılmıştır.



(a) Yenidünya



(b) Ortanca

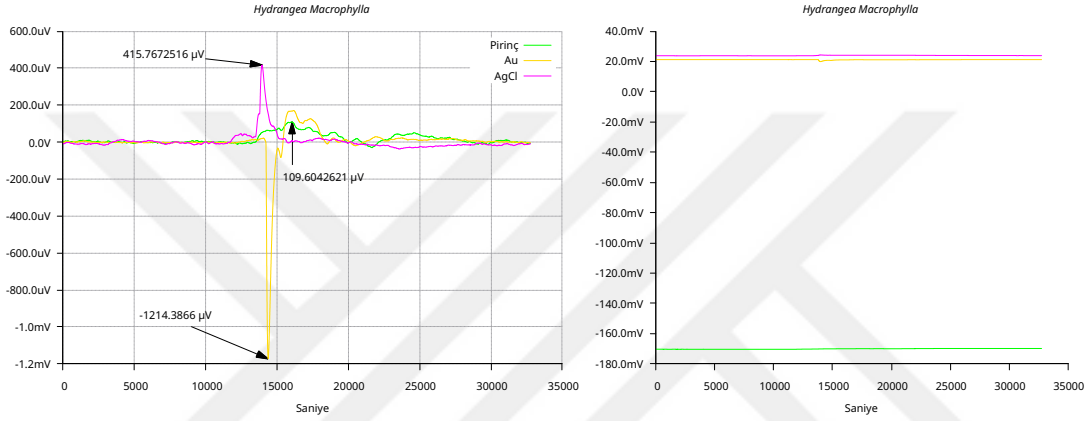


(c) Domates

Şekil 34. EP'lerin DC seviyelerine göre elektrot karşılaştırma ölçümleri (uyarısız ve koralasyonsuz).

4.5.2. VP İşaretinin Algılanması

AP, VP ve HB işaretlerinin elektrot karakteristiklerinden etkilenmeleri, algılanma seviyelerinin nasıl olacağı detaylı irdelenmesi gereken bir konu olmaktadır. Burada işaretlerin her birisinin ayrı ölçümlerinin yapılması uzun bir araştırma konusudur. Ancak hem bu araştırmalara kapı aralamak, hem de işaret açısından ne gibi farklılık bulunacağına bakılması gerekmektedir. Ayrıca işaret gücünün hesaplanması veya elektrot bazında algılanması nasıl olmaktadır. Şekil 35’de literatürden farklı bir uyarı metodu kullanılmıştır.



(a) VP işaretleri ve tepe değerleri.

(b) DC işaret seviyesinde EP karşılaştırması.

Şekil 35. Özel bir uyarı verilerek alınan VP tepkisinin elektrotlar bazında karşılaştırılması.

Şekil 35’de alınan işaret seviyesinde herhangi bir güçlendirici kullanılmamıştır. Bu ölçümde alınan VP’ler kiraz çiçeği parfümü ⁹ uyarısı, 1-1.5m mesafeden kullanılarak alınmıştır. Bitkinin hangi etki sebebiyle bu tepkiyi verdiği bilinmemektedir.

Bu uyarının tam olarak koku uyarısı olması konusunda araştırma yapılmıştır. Ancak literatürde bitkilerin, kokulara karşı tepkisi üzerine bir çalışma bulunamamıştır. Bu sebeple, bu tepkinin uyarısının aynı sprey ve karışımla bir çok kez, aynı ortamdaki, aynı/farklı cins farklı bitkilere aynı uyarı yapılmıştır. Bu uyarılara karşın, elektrotlarda Şekil 35a’deki işaretlere benzer bir tepki verisi elde edilememiştir. Statik etki için oldukça uzakta sıkılan parfüm olasılığı düşük olsa da daha yakından denenmiştir. Ancak aynı ve farklı bitkiler üzerinde denenmesine rağmen deney, Şekil 35 sonuçları veya yakın VP tepkisini vermemiştir. Buradaki ölçümde elektrotlar arası mesafe 50mm olarak ayarlanmıştır. Bu sebeple, statik veya mekanik olarak bir tepki olması ihtimali bulunmadığı anlaşılmıştır.

⁹Karışım: Etil alkol(CAS No.: 64-17-5), Su (CAS No.: 7732-18-5),PEG-40 hydrogenated castor oil(CAS No.: 61788-85-0),Parfüm (Kiraz Çiçeği), CI 16255 renklendirici

Tam karşılaştırmayı sağlayabilmek için, 35b grafiğindeki farklı potansiyel seviyeleri 35a grafiğinde sıfır Volt seviyesine taşınmıştır. Şekil 35b'deki grafikte bu durum görülmektedir. Şekil 35b grafiğine müdahale edilmemiştir. Bu kaydırma sebebiyle 35a grafiğinde altın invazif elektrotu $1214.3866\mu V$ olmasına karşın grafik skalasına uymamaktadır.



5. SONUÇLAR

Yüzey EP işaretlerin alınması, izlenmesi ve anlamlı şekle getirilmesi konusunda temel işaretlerin elde edilebilmesi için gerekli çalışmalar yapılmıştır. Hedef doğrultusunda, elektrotların sürdürülebilir olması ve minimum etkilenmesi ve etkilemesidir. Ancak burada ölçüm yüzey direncinin değişmesi söz konusudur. Bu değişimin potansiyel farkımıza etkisini azaltmak gerekmektedir. Ölçüm referans direncimizin, dolayısıyla referans gerilimimizin bu dalgalanmadan minimum etkilenmemesi gerekmekte. Bu sebeple, yüzeyde iyon veya molekül kaynaklı direnç değişiminin ölçüm açısından etkisinin minimize edilmesi gerekmektedir. Aksi durumda, yüzey direnç değişimi ölçümde ikincil etkiyle ölçüme istenmeyen parametreler dahil olacaktır. Bu durumda için daha yüksek empedanslı ölçüm yöntemi önerilmiştir.

Elde edilen veriler ve gözlemler neticesinde EP işaretlerinin uzun dönem (haftalık) süresince alınmasına etken bir çok parametre bulunduğu gözlemlenmiştir. Ölçümün referansı, gürültü, elektrot-kablo etkisi, ölçümün etkisi ve canlının hayatına her türlü müdahalenin azaltılması olarak sıralanabilir. Canlının bundan etkilenme veya bunu uyarı olarak algılaması için elektrotun temas ve ölçümünde minimal uyarı oluşturmaktadır.

Ölçümler yapılırken başlangıç noktası, ölçümün referansının belirlenmesidir. Referans, literatürle ve kendi ölçümümüzü karşılaştırmamız için en önemli noktayı oluşturmaktadır.

Yüzey potansiyelleri yüzey ve invazif elektrotlarla ölçülebilmesi $2\mu V$ hassasiyetle bitki işaret bileşenlerini yakalamak mümkündür. Önerilen yüzey ölçümü elverişli olmasının yanında zararsızdır. Ölçümün, kablosuz yapılmasıyla esnekliği yüksek ve şebeke gürültüsü veya diğer gürültülerden çok az etkilenmemektedir.

Uyarı parametrelerinin çokluğu ve katkısı çapraşıklığın artmasının yanında ekosistem çalışmasında ikincil veya üçüncül etkileşim yapabilmektedir. Bunun ise EP açısından çok önemli veri içerdiği açıktır.

Ölçüm arayüzü olarak elektrot stabilizasyonunda spesifik elektrotların karşılaştırılması ve tartışılması, bu konuyu somut verilerle tartışmaya açmaktadır.

Anlık EP değişimlerin algılanmasında filtre kullanımının farklılık getirdiği görülmüştür. Özellikle çapraşıklık ve hızın arttığı aktif zamanlarda, işaretlerin algılanmasında avantaj sağladığı görülmüştür. Ayrıca literatüre daha farklı işaretlerin kazandırılması için hassasiyeti farklı boyuta getirmektedir.

Bölüm 4.5.2.'de yapılan ölçümler ve değerler, elektrotların işaret karakteristiğinin frekans spektrumundaki karşılaştırma yanında, güç ve enerji açısından da karşılaştırılması gerektiğini göstermektedir. Deneyin ve sonuçlarının paylaşılmasının sebebi, korelasyon içeren bu verinin invazif yöntem ve yüzey ölçüm yöntemleri arasındaki farklılığın nasıl olabileceğine dair fikir vermesidir.

Eriobotrya Japonica bitkisi ile yapılan deneylerde, sıcaklık uyarısının artış hızının değiştirilmesi sonucunda, üretilen işaretin frekans spektrumunda daha yüksek frekansta tepe vermesi gözlemlenmiştir. Bu bize moleküllerin hareketlendiğini ve molekül hareket enerjisinin sıcaklık hızı ile orantılı olduğunu göstermektedir. Bu sebeple frekans analizlerinde bu durum göz önünde bulundurulmalıdır.

Basit düzeyde Fe bileşimli 2mm aralıklı ızgaraya sahip Faraday kafesi kullanımı, örneğin 900Mhz (33cm dalga boyuna sahip) işareti engelleyememektedir. Bu sebeple 0-20Hz ve benzer işaretleri engellemek ve bitkilerin frekans analizi ölçümlerinin yapılabilmesi iletkenliği daha yüksek, kalınlığı belli bir seviyenin üzerinde bakır veya alüminyum gibi yüksek yalıtım seviyesinde Faraday kafesi gerektirmektedir.

Literatür kaynakları ve elimizdeki verilerle haberleşmenin bilgi içeren EP tepkilerinin sebep sonuç ilişkisinde bağlamının ispatı daha fazla spesifik deneyler ve düzenekler gerektirmektedir.

Çalışmada kapsamında yer alan yüzey ölçüm yöntemi, 13.12.2022 tarihli, 19119 numaralı patentle yerel patent ofisi aracılığıyla patentlenmiştir.

6. TARTIŞMA

Bitki yüzeyinin lineer olmadığı literatürde bir çok çalışmada ortaya konmuştur. Burada en önemli olan konu yüzeydeki değişimin bitkinin kendi hayati işlemlerini sürdürmesi sırasında bitkiye müdahalenin minimize edilmesi. Literatürde bu konu invazif yöntemlerin bitkinin fiziksel yapısına zarar verip vermemesi konusuna odaklanmaktadır. Ancak burada çok önemli olan nokta, ölçüm yapılan elektrotun karakteri sebebiyle farklılıklar bulunmaktadır. Burada optimum seviye tartışmaya açıktır.

Her ne kadar az etkilememize rağmen yüzey potansiyelleri ölçümle birlikte kendi doğal voltaj seviyesinden kaymaktadır. Bunun için aralıklı ölçümler önerilmekle birlikte daha yüksek empedanslı yöntemler geliştirilip test edilebilir. Ancak burada ölçümün hassasiyeti ve ölçülmek istenen parametre önemini korumaktadır.

Canlı işaretinin kendi çalışma seviyesi değiştirilmemesi için akım bölücü kullanılarak ölçümün, ölçülen potansiyel seviyesini sürüklememesi gerekmektedir. Bu çalışma ölçümlen işaretlerin değişime uğrama parametreleri üzerine odaklanmaktadır ancak ölçümün etkisi halen tartışmaya açıktır.

Bitki AP, VP, HB işaretlerinin tanımlanması, özel alt karakterizasyon farklılıkları tartışmaya açıktır. Bu konuda yapılan ve yapılacak çalışmalarda farklı bitkilerde benzerlikler/farklılıklar görülebileceği gibi benzer işaretlerin anlamlandırılması ve yorumlanmasında farklılıklar araştırma konusudur ve tartışmaya açıktır.

İşaret gürültü gücü hesaplaması, işaret ve gürültünün birbirinden tamamen ayırt edilmesi gerekmektedir. Haberleşme açısından, kullanılan referans gürültü gücü P_{s0} , referans işaret gücü P_{n0} elde edilmesi gerekmektedir. Bitki yapısı gereği, EP işaretinde sıfır bileşenli bir işaret gücü bulunmamaktadır. Bu sebeple, işaret gücünün elde edilmesi bileşen bazlı olmalıdır. Bu doğrultuda, bileşenlerin güçlerinin hesaplanması gerekmektedir. Oysaki, Şekil 27 ve 28’de görüldüğü üzere şu anki sınıflandırmamız göz önüne alındığında VP veya AP işaretinin sabit bir gücü bulunmamaktadır. Bu konuda literatürdeki çalışmalarda da bu konu uygun yüksek VP işaretleri ile karşılaştırılıp ortaya konması kolay olmamaktadır. Bunun sebebi, bitki tepkiselliğinde azalma yada duyarsızlaşma ötesinde tanıma olduğu düşünülmektedir. Bu sebeple bitkilerin, uyarılar karşısında emre amade tepki alınması söz konusu olmamaktadır. Dahası VP işaret gücü elektrotlar bazında farklılık göstermektedir.

Bitkisel EP işaretlerin frekans eksenindeki karşılıkları, bu çalışmada bir çok kez sıcaklık ve ışık uyarılarıyla test edilmiştir. Örneğin *Eriobotrya Japonica*’da 0-20 Hz aralığında

işaretlere bağlı frekans bileşenlerinin ortaya çıktığı görülmüştür. Ancak işaret frekans takibi, yüksek hassasiyetin yanında karşılaştırmalı hızlı korelasyon gerektirmektedir. Burada işaretlerin frekans bileşenlerinin yakalanması, özel optimizasyon gerektirmektedir. Bu sebeple kanıtlanamayan veri içeren sonuçlar paylaşılmamıştır.



7. ÖNERİLER

Bitki EP işaretleri oldukça fazla örtüşen veri içermektedir. Bu sebeple işaret işleme, filtreleme, makine öğrenmesi, sensör tasarımı konularında araştırma ve geliştirme yapılması gereken önü açık bir alandır. İşaretlerin güç ve frekans analizlerinin yapılması konusunda, statik etki ve örnekleme konusunda yeni tasarım gerektirmektedir.

Ayrıca, yeni sensör arayüzlerinin literatürde gösterilen yeni malzeme metotları ile yeni yüzey sensör arayüz tasarımları yapılabilir.

Yine işaret işleme ve makine öğrenmesi gibi araçlar kullanılarak, spesifik amaç/test doğrultusunda gelişmiş araçlar kullanılmalıdır. Bu işaret ve analizlerin , neden-sonuç bağlamındaki testlerinin, tekrarlanabilir deneylerle ispat edilmesi izole testlerle mümkündür. Neden sonuç-bağlamında ise bu analiz çalışmaları, disiplinler arası çalışmada belirlenecek hedefler çerçevesinde yapılması gerekmektedir. Böylelikle EP işaretlerin metabolizma bağıntısının kurulması sağlanılabilir.

Spesifik kimyasallarla, spesifik tepkiler çok geniş bir alanı oluşturmaktadır. Özellikle öldürücü kimyasal etkiler, spesifik otçul böcek saldırısı gibi alanlar daha hızlı sonuç alınabilen popüler olduğu gibi literatürde bunu sürdürecektir.

Patojen, içsel döngü parametreleri ve sistematik parametreler sebep sonuç ilişkisinde ağırlığı değişkenlik gösteren tam olarak diğer uyarılarla ne kadar bağıntılı olduğu bilinmeyen parametreler olmakla girift ve geniş bir araştırma potansiyeli barındırmaktadır.

Bitki EP işaretleri algılama ve analiz konularında oldukça geniş ve çalışılması ilgi çekici yeni bir alandır. Ancak, EP işaret korelasyonları ve nedensellikleri, ileri ve erişilmesi disiplinler arası çalışma gerektiren bir alandır.

İşaretlerin, frekansa göre ayrıştırılması ve korelasyonun bulunması işaretlerin frekansının daha hassas şekilde algılanması gerekmektedir. Bu konuda daha hassas ölçümler gelecek çalışmalarda yapılabilir.

8. KAYNAKLAR

1. Baluška, F., Volkmann, D. ve Mancuso, S., Communication in plants: Neuronal aspects of plant life, 2006 1–438.
2. Online flora of all known plants. Accessed February 13, 2023. <http://www.worldfloraonline.org/>.
3. Trebacz, K., Dziubinska, H. ve Krol, E., Electrical signals in long-distance communication in plants, (2006) 277–290.
4. Oyarce, P. ve Gurovich, L., Evidence for the transmission of information through electric potentials in injured avocado trees, Journal of Plant Physiology, 168, 2 (2011) 103–108.
5. Dziubińska, H., Trbacz, K. ve Zawadzki, T., Transmission route for action potentials and variation potentials in *Helianthus annuus* L., Journal of Plant Physiology, 158, 9 (2001) 1167–1172.
6. Khait, I., Lewin-Epstein, O., Sharon, R., Saban, K., Perelman, R., Boonman, A., Yovel, Y. ve Hadany, L., Plants emit informative airborne sounds under stress, Biorxiv, (2018) 507590.
7. Harmer, S. L., The circadian system in higher plants, Annual Review of Plant Biology, 60 (2009) 357–377.
8. Haykin, S., Communication systems, 2008.
9. Volkov, A. G., Plant Electrophysiology Signaling and Responses, 2012 1–393.
10. Baluška, F. ve Ninkovic, V., Plant communication from an ecological perspective, 2010.
11. Noun, G., Lo Cascio, M., Spano, D., Marras, S. ve Sirca, C., Plant-based methodologies and approaches for estimating plant water status of mediterranean tree species: A semi-systematic review, Agronomy, 12, 9 (2022) 2127.
12. Noun, G., Lo Cascio, M., Spano, D., Marras, S. ve Sirca, C., Plant-based methodologies and approaches for estimating plant water status of mediterranean tree species: A semi-systematic review, Agronomy, 12, 9 (2022) 2127.
13. Messerli, M. A., Robinson, K. R. ve Smith, P. J. S. Electrochemical Sensor Applications to the Study of Molecular Physiology and Analyte Flux in Plants, *Bildiriler Kitabı*: 73–107, Springer Berlin Heidelberg, Berlin, Heidelberg, 2006.
14. Backster, C., Evidence of a primary perception in plant life, International Journal of Parapsychology, X, 4 (1968) 23. URL <http://scholar.google.com/scholar?hl=en&btnG=Search&q=intitle:Evidence+of+a+Primary+Perception+In+Plant+Life#0>.

15. Krapohl, D. J. ve Shaw, P. K., Chapter 11 - advanced topics, (2015) 231–273. URL <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9780128029244000116>.
16. Pollan, M., The intelligent plant, December 15, 2013. Accessed Jan 1, 2023. <https://www.newyorker.com/magazine/2013/12/23/the-intelligent-plant>.
17. Mancuso, S. ve Mugnai, S. Long-Distance Signal Transmission in Trees, *Bildiriler Kitabı*: 333–349, Springer Berlin Heidelberg, Berlin, Heidelberg, 2006. URL https://doi.org/10.1007/978-3-540-28516-8_23.
18. Tran, D., Dutoit, F., Najdenovska, E., Wallbridge, N., Plummer, C., Mazza, M., Raileanu, L. E. ve Camps, C., Electrophysiological assessment of plant status outside a Faraday cage using supervised machine learning, *Scientific Reports*, 9, 1 (2019) 1–9.
19. Cai, W. ve Qi, Q., Study on electrophysiological signal monitoring of plant under stress based on integrated op-amps and patch electrode, *Journal of Electrical and Computer Engineering*, 2017 (2017).
20. Skrzypczak, T., Krela, R., Kwiatkowski, W., Wadurkar, S., Smoczyńska, A. ve Wojtaszek, P., Plant Science view on biohybrid development, *Frontiers in Bioengineering and Biotechnology*, 5, AUG (2017) 1–17.
21. Król, E., Dziubinska, H. ve Trebacz, K., What do plants need action potentials for, *Action Potential: Biophysical and Cellular Context, Initiation, Phases and Propagation*. DuBois ML.(ed), (2010) 1–26.
22. Davies, E., New functions for electrical signals in plants, *New Phytologist*, 161, 3 (2004) 607–610.
23. Bresadola, M., Medicine and science in the life of luigi galvani (1737–1798), *Brain Research Bulletin*, 46, 5 (1998) 367–380.
24. Hoff, H. E., Galvani and the pre-galvanian electrophysiologists, *Annals of Science*, 1, 2 (1936) 157–172.
25. Kipnis, N., Luigi galvani and the debate on animal electricity, 1791–1800, *Annals of Science*, 44, 2 (1987) 107–142.
26. Baluška, F., Ninkovic, B., Velemir Tompkins ve Peter, C., *The Secret Life of Plants*, (1973).
27. Martonosi, A. N., Animal electricity, ca^{2+} and muscle contraction. a brief history of muscle research, *Acta Biochimica Polonica*, 47, 3 (2000) 493–516.
28. Matteucci, C., Sur un phenomene physiologique produit par les muscles en contraction, *Ann Chim Phys.*, 6 (1842) 339–341.
29. Sanderson, B. ve Scott, J., I. note on the electrical phenomena which accompany irritation of the leaf of *dionæa muscipula*, *Proceedings of the Royal Society of London*, 21, 139–147 (1873) 495–496.

30. Presents list, Proceedings of the Royal Society of London, 43, 258-265 (1888) 181–184.
31. Haberlandt, G., *Sinnesorgane im Pflanzenreich: zur perception mechanischer Reize*, 1906.
32. Bose, J. C., *Comparative electro-physiology: a physico-physiological study*, 1907.
33. Bose, J. C., *Researches on irritability of plants*, 1913.
34. J. C. Bose, *The nervous mechanism of plants*, 1926.
35. Cole, K. S., Alternating current conductance and direct current excitation of nerve, Science, 79, 2042 (1934) 164–165.
36. Cole, K. S. ve Curtis, H. J., Electric impedance of the squid giant axon during activity, Journal of General Physiology, 22, 5 (1939) 649–670.
37. 2023, N. P. O. A., The nobel prize in physiology or medicine 1963, Jan 2023. Accessed Jan 1, 2023. <https://www.nobelprize.org/prizes/medicine/1963/summary/>.
38. Baldwin, I. T. ve Schultz, J. C., Rapid changes in tree leaf chemistry induced by damage: evidence for communication between plants, Science, 221, 4607 (1983) 277–279.
39. Fromm, J. ve Lautner, S., Electrical signals and their physiological significance, Plant, Cell and Environment, , 30 (2007) 249–257.
40. Chatterjee, S. K., Malik, O. ve Gupta, S., Chemical sensing employing plant electrical signal response-classification of stimuli using curve fitting coefficients as features, Biosensors, 8, 3 (2018) 1–21.
41. Chatterjee, S. K., Ghosh, S., Das, S., Manzella, V., Vitaletti, A., Masi, E., Santopolo, L., Mancuso, S. ve Maharatna, K., Forward and inverse modelling approaches for prediction of light stimulus from electrophysiological response in plants, Measurement: Journal of the International Measurement Confederation, 53 (2014) 101–116.
42. Najdenovska, E., Dutoit, F., Tran, D., Plummer, C., Wallbridge, N., Camps, C. ve Raileanu, L. E., Classification of plant electrophysiology signals for detection of spider mites infestation in tomatoes, Applied Sciences, 11, 4 (2021) 1414.
43. Zimmermann, U., Bitter, R., Marchiori, P. E. R., Rüger, S., Ehrenberger, W., Sukhorukov, V. L., Schüttler, A. ve Ribeiro, R. V., A non-invasive plant-based probe for continuous monitoring of water stress in real time: a new tool for irrigation scheduling and deeper insight into drought and salinity stress physiology, Theoretical and Experimental Plant Physiology, 25 (2013) 2–11.
44. Cai, W. ve Qi, Q., Study on Electrophysiological Signal Monitoring of Plant under Stress Based on Integrated Op-Amps and Patch Electrode, Journal of Electrical and Computer Engineering, 2017 (2017).
45. Gadallah, S. I., Ghoneim, M. S., Elwakil, A. S., Said, L. A., Madian, A. H. ve Radwan, A. G., Plant Tissue Modelling Using Power-Law Filters, Sensors, 22, 15 (2022) 1–14.

46. Kapoulea, S., Psychalinos, C. ve Elwakil, A. S., Power law filters: A new class of fractional-order filters without a fractional-order laplacian operator, AEU-International Journal of Electronics and Communications, 129 (2021) 153537.
47. Luo, Y., Li, W., Lin, Q., Zhang, F., He, K., Yang, D., Loh, X. J. ve Chen, X., A morphable ionic electrode based on thermogel for non-invasive hairy plant electrophysiology, Advanced Materials, 33, 14 (2021) 2007848.
48. Zhao, Y., Gao, S., Zhu, J., Li, J., Xu, H., Xu, K., Cheng, H. ve Huang, X., Multifunctional stretchable sensors for continuous monitoring of long-term leaf physiology and microclimate, ACS omega, 4, 5 (2019) 9522–9530.
49. Lee, G., Wei, Q. ve Zhu, Y., Emerging Wearable Sensors for Plant Health Monitoring, Advanced Functional Materials, 31, 52 (2021) 1–14.
50. Kim, J. J., Allison, L. K. ve Andrew, T. L., Vapor-printed polymer electrodes for long-term, on-demand health monitoring, Science advances, 5, 3 (2019) 463.
51. Das, S., Ajiwibawa, B. J., Chatterjee, S. K., Ghosh, S., Maharatna, K., Dasmahapatra, S., Vitaletti, A., Masi, E. ve Mancuso, S. v., Drift removal in plant electrical signals via iir filtering using wavelet energy, Computers and Electronics in Agriculture, 118 (2015) 23.
52. Chatterjee, S. K., Das, S., Maharatna, K., Masi, E., Santopolo, L., Colzi, I., Mancuso, S. ve Vitaletti, A., Comparison of decision tree based classification strategies to detect external chemical stimuli from raw and filtered plant electrical response, Sensors and Actuators, B: Chemical, 249 (2017) 278–295.
53. Hock, B. ve Elstner, E. F., Plant toxicology, 24, 5 2004 434.
54. Mudrilov, M., Ladeynova, M., Grinberg, M., Balalaeva, I. ve Vodeneev, V., Electrical signaling of plants under abiotic stressors: transmission of stimulus-specific information, International Journal of Molecular Sciences, 22, 19 (2021) 10715.
55. Gull, A., Lone, A. A. ve Wani, N. U. I., Biotic and abiotic stresses in plants, Abiotic and biotic stress in plants, (2019) 1–19.
56. Fromm, J., Hajirezaei, M. R., Becker, V. K. ve Lautner, S., Electrical signaling along the phloem and its physiological responses in the maize leaf, Frontiers in Plant Science, 4, July (2013) 1–7.
57. Volana Randriamandimbisoa, M., Manitra Nany Razafindralambo, N. A., Fakra, D., Lucia Ravoajanahary, D., Claude Gatina, J. ve Jaffrezic-Renault, N., Electrical response of plants to environmental stimuli: A short review and perspectives for meteorological applications, Sensors International, 1, October (2020).
58. Khalil, S. F., Mohktar, M. S. ve Ibrahim, F., The theory and fundamentals of bioimpedance analysis in clinical status monitoring and diagnosis of diseases, Sensors (Switzerland), 14, 6 (2014) 10895–10928.

59. Koziolok, C., Grams, T. E. E., Schreiber, U., Matyssek, R. ve Fromm, J., Transient knockout of photosynthesis mediated by electrical signals, New Phytologist, 161, 3 (2004) 715–722.
60. Fromm, J. ve Lautner, S., Electrical signals and their physiological significance in plants, Plant, Cell Environment, 30, 3 (2007) 249–257.
61. Stanković, B., Witters, D. L., Zawadzki, T. ve Davies, E., Action potentials and variation potentials in sunflower: an analysis of their relationships and distinguishing characteristics, Physiologia Plantarum, 103, 1 (1998) 51–58.
62. Forterre, Y., Skotheim, J. M., Dumais, J. ve Mahadevan, L., How the venus flytrap snaps, Nature, 433, 7024 (2005) 421–425.
63. Jacobson, S. L., Receptor response in venus's fly-trap, Journal of General Physiology, 49, 1 (1965) 117–129.
64. Mancuso, S., Hydraulic and electrical transmission of wound-induced signals in *Vitis vinifera*, Functional Plant Biology, 26, 1 (1999) 55.
65. Zawadzki, T., Davies, E., Dziubinska, H. ve Trebacz, K., Characteristics of action potentials in *Helianthus annuus*, Physiologia Plantarum, 83, 4 (1991) 601–604.
66. Davies, E. Electrical Signals in Plants: Facts and Hypotheses, 1, chapter 17, *Bildiriler Kitabı*: 430–445, Springer, Berlin, Heidelberg, 2006.
67. Shimmen, T., Electrical perception of "Death Message" in *Chara*: Analysis of rapid component and ionic process, Plant and Cell Physiology, 43, 12 (2002) 1575–1584.
68. Antkowiak, B., Mayer, W. E. ve Engelmann, W., Oscillations of the membrane potential of pulvinar motor cells In Situ in relation to leaflet movements of *Desmodium motorium*, Journal of Experimental Botany, 42, 7 (1991) 901–910. URL <https://academic.oup.com/jxb/article/42/7/901/535046>.
69. Mitsuno, T. ve Sibaoka, T., Rhythmic electrical potential change of motor pulvinus in lateral leaflet of *codariocalyx motorius*, 1989.
70. Shannon, C. E., Communication in the presence of noise, Proceedings of the IRE, 37, 1 (1949) 10–21.
71. Mueller, S., Upgrading and repairing PCs, 2003.
72. Universal Asynchronous Receiver/Transmitter (UART) User Guide, *Teknik Rapor SPRUGP1*, Texas Instruments Incorporated, 2010.
73. telephone laboratories, B., Transmission system for communications, 1971.
74. Schottky, W., Über spontane stromschwankungen in verschiedenen elektrizitätsleitern, Annalen der physik, 362, 23 (1918) 541–567.
75. Bellamy, J. C., Digital telephony john wiley & sons inc, Chichester, UK, (1982).
76. Benedetto, S., Biglieri, E. ve Castellani, V., Digital transmission theory, 1988.

77. Robert, K., Understanding and Eliminating 1/f Noise, Analog Dialogue, 51, 05 (2017) 1–12.
78. Device Solutions Business Division, Noise measures, Teknik rapor, Panasonic Co., Ltd., 1, 2020.
79. Yarom, Y. ve Hounsgaard, J., Voltage fluctuations in neurons: signal or noise?, Physiological reviews, 91, 3 (2011) 917–929.
80. Selen, L., Wolpert, D. et al., Noise in the nervous system, Nat. Rev. Neurosci., 9 (2008) 292–303.
81. Fromm, J. ve Spanswick, R., Characteristics of action potentials in willow (*Salix viminalis* L.), Journal of Experimental Botany, 44, 7 (1993) 1119–1125.
82. Meder, F., Saar, S., Taccola, S., Filippeschi, C., Mattoli, V. ve Mazzolai, B., Ultraconformable, Self-Adhering Surface Electrodes for Measuring Electrical Signals in Plants, Advanced Materials Technologies, 6, 4 (2021) 2001182.
83. Mousavi, S. A. R., Nguyen, C. T., Farmer, E. E. ve Kellenberger, S., Measuring surface potential changes on leaves, Nature Protocols, 9, 8 (2014) 1997–2004.
84. Harrison, R. R., A Versatile Integrated Circuit for the Acquisition of Biopotentials, , Cicc (2007) 115–122.
85. Volkov, A. G., Signaling in electrical networks of the Venus flytrap (*Dionaea muscipula* Ellis), Bioelectrochemistry, 125 (2019) 25–32.
86. A. G. Volkov, Plant Electrophysiology: Methods and cell electrophysiology, Bildiriler Kitabı: 1–362.
87. Integrated taxonomic information system, <https://www.itis.gov/>. Accessed May 1, 2023.
88. Britannica, T. E. o. E., hydrangea, Encyclopedia Britannica. URL <https://www.britannica.com/plant/hydrangea>. Accessed May 12, 2023.
89. Britannica, T. E. o. E., tomato, Encyclopedia Britannica. URL <https://www.britannica.com/plant/tomato>. Accessed May 12, 2023.
90. Britannica, T. E. o. E., Solanaceae, Encyclopedia Britannica. URL <https://www.britannica.com/plant/Solanaceae>. Accessed May 12, 2023.
91. Britannica, T. E. o. E., loquat, Encyclopedia Britannica. URL <https://www.britannica.com/plant/loquat>. Accessed May 12, 2023.
92. Britannica, T. E. o. E., tree, Encyclopedia Britannica. URL <https://www.britannica.com/plant/tree>. Accessed May 12, 2023.
93. Baker, B., How delta-sigma ADCs work Part 1, Teknik Rapor SLYT438A, Texas Instruments Incorporated, Dallas, Texas, 2011.
94. B. Baker, How delta-sigma ADCs work Part 2, , SLYT438 (2016) 8.

95. MSP430i2xx Family User' s Guide, Teknik Rapor SLAU335A, Texas Instruments Incorporated, 2020.
96. Pawar, C., Khan, M. ve Saini, J., Design and analysis of adjustable constant current source with multi frequency for measurement of bioelectrical impedance, International Journal of Applied Engineering Research, 13, 1 (2018) 262–267.
97. Khalil, S. F., Mohktar, M. S. ve Ibrahim, F., The theory and fundamentals of bioimpedance analysis in clinical status monitoring and diagnosis of diseases, Sensors, 14, 6 (2014) 10895–10928.
98. Macdonald, J. R. ve Barsoukov, E., Impedance spectroscopy: theory, experiment, and applications, 2018.
99. Rhoades, D. F. Herbivore Population Dynamics and Plant Chemistry, chapter 6, Bildiriler Kitabı: 155–220, Academic Press, 1983.
100. Kaya, I., A study of high performance equalisation and pre-equalisation for high speed wireless data communications., Ph.d. thesis, University of Bristol, 1998.

9. EKLER

Ek I: İşlemcide Koşturulan Program

```
#include "msp430.h"

/* Array to store SD24 conversion results */
unsigned int ch0=0,ch1=0,ch2=0,Start=0;
int results[3];
char mode=0,modes=0;
float resf[3],resf_0[3]={0,0,0},dif_f[3]={0,0,0};
unsigned int absr[3];
int resi[3];
int ss=0;
int trig=1,trig0=-1;
int i=0,imax=1900,j=0,jmax=0,LED0=0;
void send(void);

void main(void) {
    unsigned long *jtagPwd = (unsigned long *)JTAG_DIS_PWD1;

    /* Feed the watchdog timer */
    WDTCTL = WDTPW | WDTCTL;

    if ((*jtagPwd != 0x00000000) && (*jtagPwd != 0xFFFFFFFF))
    {
        /* Disable JTAG */
        SYSJTAGDIS = JTAGDISKEY;
    }

    /* Calibration section
    * Check for the BORIFG flag in IFG1. Execute calibration if this was a
    * Else skip calibration
    */
    if (IFG1 & BORIFG)
    {
        /* Perform 2's complement checksum on 62 bytes of TLV data */
        unsigned int checksum = 0;
        unsigned char *TLV_address_for_parse = ((unsigned char *)TLV_START);
        unsigned int *TLV_address_for_checksum = ((unsigned int *)TLV_START + 1)

        do
        {
            checksum ^= *TLV_address_for_checksum++;
        } while (TLV_address_for_checksum <= (unsigned int *)TLV_END);
    }
}
```

```

checksum ^= 0xFFFF;
checksum++;

/* If check sum is not correct go to LPM4 */
if (*(unsigned int *)TLV_START) != checksum)
{
/* Enter LPM4 if checksum failed */
__bis_SR_register(LPM4_bits);
}

/* Check sum matched, now set calibration values */

/* Calibrate REF */
REFCAL1 = *(TLV_address_for_parse + TLV_CAL_REFCAL1);
REFCAL0 = *(TLV_address_for_parse + TLV_CAL_REFCAL0);

/* Calibrate DCO */
CSIRFCAL = *(TLV_address_for_parse + TLV_CAL_CSIRFCAL);
CSIRTCAL = *(TLV_address_for_parse + TLV_CAL_CSIRTCAL);
CSERFCAL = *(TLV_address_for_parse + TLV_CAL_CSERFCAL);
CSERTCAL = *(TLV_address_for_parse + TLV_CAL_CSERTCAL);

/* Calibrate SD24 */
SD24TRIM = *(TLV_address_for_parse + TLV_CAL_SD24TRIM);

/* Clear BORIFG */
IFG1 &= ~(BORIFG);
}
WDTCTL = WDTPW | WDTHOLD;           // Stop WDT
SD24CTL = SD24REFS;                 // Internal ref
for(i=0;i<2500;i++) ;
P1SEL0 |= BIT2 | BIT3;              // P1.2/3 eUSCI_A Function
P1SEL1 &= ~(BIT2 | BIT3);

P1DIR |= BIT0;                      // Set P1.4 as output
TA0CTL0 = CCIE;                     // CCR0 Interrupt Enabled
TA0CCR0 = 8192;
TA0CTL = TASSEL_2 | MC_1 | ID_3;    // SMCLK/8, Cont. Mode

UCA0CTL1 |= UCSWRST;                 // Hold eUSCI in reset
UCA0CTL1 |= UCSSEL_2;                // SMCLK
UCA0BR0 = 142;                       // 115200 baud
UCA0BR1 = 0;
UCA0MCTLW = 0x2200;

// UCA0BR0 = 0xAA;                   // 9600 baud

```

```

// UCA0BR1    = 0x06;
// UCA0MCTLW = 0xD600;
UCA0CTL1 &= ~UCSWRST;           // Release from reset
UCA0IE    |= UCRXIE;           // Enable RX interrupt

// SD24CTL = SD24REFS;           // Internal ref
SD24CCTL0 |= SD24SNGL | SD24GRP | SD24DF | SD24OSR_256 | SD24LSBACC;
SD24CCTL1 |= SD24SNGL | SD24GRP | SD24DF | SD24OSR_256 | SD24LSBACC;
SD24CCTL2 |= SD24SNGL | SD24IE | SD24DF | SD24OSR_256 | SD24LSBACC;
SD24INCTL0=SD24GAIN_16;
SD24INCTL1=SD24GAIN_16;
SD24INCTL2=SD24GAIN_16;

__delay_cycles(13000);

resf[0]=0.0;
resf[1]=0.0;
resf[2]=0.0;
while(1) {
    __bis_SR_register(GIE);           conversion
}

#if defined(__TI_COMPILER_VERSION__) || defined(__IAR_SYSTEMS_ICC__)
#pragma vector=SD24_VECTOR
__interrupt void SD24_ISR(void)
#elif defined(__GNUC__)
void __attribute__ ((interrupt(SD24_VECTOR))) SD24_ISR (void)
#else
#error Compiler not supported!
#endif
{
    switch (__even_in_range(SD24IV,SD24IV_SD24MEM3)) {
    case SD24IV_NONE: break;
    case SD24IV_SD24OVIFG: break;
    case SD24IV_SD24MEM0: break;
    case SD24IV_SD24MEM1: break;
    case SD24IV_SD24MEM2:
        results[0] = SD24MEM0;           // Save CH0 results (clears IFG)
        results[1] = SD24MEM1;           // Save CH1 results (clears IFG)
        results[2] = SD24MEM2;           // Save CH2 results (clears IFG)
        __bic_SR_register_on_exit(LPM0_bits); // Wake up
        break;
    case SD24IV_SD24MEM3: break;
    default: break;
    }
}

```

```

// Echo back RXed character, confirm TX buffer is ready first
#ifdef __TI_COMPILER_VERSION__ || defined(__IAR_SYSTEMS_ICC__)
#pragma vector=USCI_A0_VECTOR
__interrupt void USCI_A0_ISR(void)
#elif defined(__GNUC__)
void __attribute__ ((interrupt(USCI_A0_VECTOR))) USCI_A0_ISR (void)
#else
#error Compiler not supported!
#endif
{
    __bic_SR_register(LPM3_bits|GIE);
    switch(__even_in_range(UCA0IV,USCI_UART_UCTXCFIFG)) {
    case USCI_NONE: break;
    case USCI_UART_UCRXIFG:
        switch(UCA0RXBUF){
        case 49:          // 1 sent 49 received
            ch0=0;
            break;
        case 50:          // 2 sent 50 received
            ch0=1;
            break;
        case 51:          // 3 sent 51 received
            ch1=0;
            break;
        case 52:          // 4 sent 52 received
            ch1=1;
            break;
        case 53:          // 5 sent 53 received
            ch2=0;
            break;
        case 54:          // 6 sent 54 received
            ch2=1;
            break;

        case 65:          // A sent 65 received
            SD24INCTL0=SD24GAIN_1;
            break;
        case 66:          // B sent 66 received
            SD24INCTL0=SD24GAIN_4;
            break;
        case 67:          // C sent 67 received
            SD24INCTL0=SD24GAIN_8;
            break;
        case 68:          // D sent 68 received
            SD24INCTL0=SD24GAIN_16;
            break;
    }
}

```

```

case 70:      // F sent 70 received
SD24INCTL1=SD24GAIN_1;
break;
case 71:      // G sent 71 received
SD24INCTL1=SD24GAIN_4;
break;
case 72:      // H sent 72 received
SD24INCTL1=SD24GAIN_8;
break;
case 73:      // I sent 73 received
SD24INCTL1=SD24GAIN_16;
break;

```

```

case 75:      // K sent 75 received
SD24INCTL2=SD24GAIN_1;
break;
case 76:      // L sent 76 received
SD24INCTL2=SD24GAIN_4;
break;
case 77:      // M sent 77 received
SD24INCTL2=SD24GAIN_8;
break;
case 78:      // N sent 78 received
SD24INCTL2=SD24GAIN_16;
break;
case 79:      // O sent 79 received
Start = 1;
break;
case 80:      // P sent 80 received
Start = 0;
break;
case 81:      // R sent 81 received
break;
}
break;

```

```

case USCI_UART_UCTXIFG: break;
case USCI_UART_UCSTTIFG: break;
case USCI_UART_UCTXCPRTIFG: break;
default: break;
}
}

```

```

void send(void){
while(!(UCA0IFG & UCTXIFG)) ;
UCA0TXBUF = 0xA;

```

```

while(!(UCA0IFG & UCTXIFG)) ;
UCA0TXBUF = resi[0] & 0xff;
while(!(UCA0IFG & UCTXIFG)) ;
UCA0TXBUF = (resi[0] >> 8) & 0xff;

while(!(UCA0IFG & UCTXIFG)) ;
UCA0TXBUF = resi[1] & 0xff;
while(!(UCA0IFG & UCTXIFG)) ;
UCA0TXBUF = (resi[1] >> 8) & 0xff;

while(!(UCA0IFG & UCTXIFG)) ;
UCA0TXBUF = resi[2] & 0xff;
while(!(UCA0IFG & UCTXIFG)) ;
UCA0TXBUF = (resi[2] >> 8) & 0xff;

}
#if defined(__TI_COMPILER_VERSION__) || defined(__IAR_SYSTEMS_ICC__)
#pragma vector=TIMER0_A0_VECTOR
__interrupt void TA0_ISR(void)
#elif defined(__GNUC__)
void __attribute__ ((interrupt(TIMER0_A0_VECTOR))) TA0_ISR (void)
#else
#error Compiler not supported!
#endif
{
    LED0++;
    if(LED0 > 1000) {
        P1OUT ^= BIT0;                // Toggle LED
        LED0=0;
    }
    resf[0]=(resf[0]*0.99+results[0]*0.01);
    resf[1]=(resf[1]*0.99+results[1]*0.01);
    resf[2]=(resf[2]*0.99+results[2]*0.01);

    resi[0]=(int)resf[0];
    resi[1]=(int)resf[1];
    resi[2]=(int)resf[2];
    send();
    SD24CCTL2 |= SD24SC;

    // TA0CCR0 += 5000;                // Add offset to CCR0
}

```

Ek II: Çizdirme Programı Kodu

```

"""
Created on Sat Apr 23 02:08:23 2022
@file: serialstudio.py
@author: Sefa Unal,Zubeyir Durgut
"""

import pyqtgraph as pg
import pyqtgraph.parametertree as ptree
from PyQt5 import QtWidgets, QtCore
from PyQt5.QtWidgets import QAction
import sys
import time
import serial
import serial.tools.list_ports as lp
import numpy as np
from scipy.fftpack import fft
import parser_sefa as sp

import json
class ConfigParser():
    def __init__(self, filename = "config.json"):
        self.configfile = filename

    def loadConfig(self):
        try:
            with open(self.configfile) as json_data_file:
                data = json.load(json_data_file)
            return data
        except:
            return

    def saveConfig(self, parameters:dict):
        try:
            with open(self.configfile,"w") as j:
                json.dump(parameters,j,indent = 2)
            return True
        except:
            return False

class SerialStudio(QtWidgets.QWidget):
    appname = "Serial Studio"

    parameters = {
        'conn': {
            'portname': '',
            'baudrate': 115200,

```



```

'databits': 8,
'stopbits': 1,
'parity': 'N'
},
'parser': {
'startbyte': [0xAA, 0xBB],
'endbyte': [],
'channel': 3,
'datatype': 4,
'endianness': 0
},
'channels': {
'activechs': [0, 1, 2],
'inactivechs': []
},
'plotter': {
'autoscale': True,
'buffersize': 16*4096,
'offset': 0,
'multiplier': 1
},
'fft': {
'autoscale': True,
'showdc': False,
'fftsize': 1024
}
}

```

```

ptchildren = [
dict(name='connect', title='Connect', type='action', children=[
dict(name='connected', title='Connected', type='str', value='', readonl
)],
dict(name='serialopts', title='Connection', type='group', children=[
dict(name='Custom Port', type='bool', value=False, enabled=True),
dict(name='PortList', title='Port', type='list', visible=True),
dict(name='PortStr', title='Port', type='str', value="/dev/pts/2", visi
dict(name='BaudRate', type='int', limits=[0, None], value=115200),
dict(name='Data Bits', type='list', limits=[5, 6, 7, 8], value=8),
dict(name='Stop Bits', type='list', limits=[1, 1.5, 2], value=1),
dict(name='Parity', type='list', limits={'None': 'N', 'Even': 'E', 'Odd
)],
dict(name='parseropts', title='Parser Options', type='group', children=
dict(name='StartByte', type='str', value="AA BB"),
dict(name='EndByte', type='str', value=""),
dict(name='Channels', type='int', limits=[0, 10], value=3),
dict(name='DataType', type='list', limits={'INT8': 0, 'UINT8': 1,
'INT16': 2, 'UINT16': 3,

```

```

'INT32': 4, 'UINT32': 5,
'INT64': 6, 'UINT64': 7,
'FLOAT': 8, 'DOUBLE': 9}, value=4),
dict(name='Endianness', type='list', limits={'LITTLE': 0, 'BIG': 1}, va
dict(name='Expected', type='str', value='', readonly=True),
]),
dict(name='channelopts', title='Channels', type='group'),
dict(name='plotteropts', title='Plotter Options', type='group', children
dict(name='Autoscale', type='bool', value=True, enabled=False),
dict(name='Plot Length', type='int', limits=[0, None], step=1000, value
dict(name='Multiplier', type='float', value=1.0, precision=2),
dict(name='Offset', type='float', value=0.0, precision=2),
]),
dict(name='fftopts', title='FFT Options', type='group', children=[
dict(name='Autoscale', type='bool', value=True, enabled=False),
dict(name='Show DC', type='bool', value=False),
dict(name='NSamples', type='int', limits=[0, None], value=1024),
]),
dict(name='stats', title='Stats', type='group', children=[
dict(name='Packet/s', type='int', value=0, readonly=True, units='pps'),
dict(name='Queue', type='int', value=0, readonly=True, units='packets'),
dict(name='Error/s', type='int', value=0, readonly=True, units='pps'),
]),
]

def __init__(self, debug=False):
    super().__init__()
    self.debug = debug
    self.defaultParams = self.parameters
    self.config = ConfigParser()
    self.initUI()
    self.initParser()
    self.loadconfig()

def initUI(self):
    self.ser = None
    self.queue = 0

# Parameter tree object
self.params = ptree.Parameter.create(name='Parameters', type='group', c
paramtree = ptree.ParameterTree(showHeader=False)
paramtree.setParameters(self.params)

self.params.child('channelopts').sigTreeStateChanged.connect(self.param
self.params.child('serialopts').sigTreeStateChanged.connect(self.paramS
self.params.child('parseropts').sigTreeStateChanged.connect(self.paramP
self.params.child('plotteropts').sigTreeStateChanged.connect(self.param

```

```

self.params.child('fftopts').sigTreeStateChanged.connect(self.paramFftC
self.params.child('connect').sigActivated.connect(self.connect)

# plotter object
glw = pg.GraphicsLayoutWidget()
self.plotter_t = glw.addPlot(row=0, col=0)
self.plotter_t.setMouseEnabled(x=True, y=False)
self.plotter_t.setLabel('left', 'amplitude', units='v')
self.plotter_t.setLabel('bottom', 'time', units='s')
legendt = self.plotter_t.addLegend()
legendt.anchor((1,0), (1,0))
self.plotter_f = glw.addPlot(title="FFT", row=1, col=0)
self.plotter_f.setMouseEnabled(x=True, y=False)
self.plotter_f.setLabel('left', 'amplitude', units='v')
self.plotter_f.setLabel('bottom', 'freq', units='Hz')
legendf = self.plotter_f.addLegend()
legendf.anchor((1,0), (1,0))

vbox = QtWidgets.QVBoxLayout(self)
self.statusBar = QtWidgets.QStatusBar(self)

splitter = QtWidgets.QSplitter(self)
splitter.addWidget(paramtree)
splitter.addWidget(glw)

menu_bar = QtWidgets.QMenuBar()
file_menu = menu_bar.addMenu('File')
config_menu = menu_bar.addMenu('Config')
exit_action = QAction('Exit', self)
exit_action.setShortcut("CTRL+Q")
exit_action.triggered.connect(exit)
file_menu.addAction(exit_action)
save_action = QAction('Save Config', self)
save_action.setShortcut("CTRL+S")
save_action.triggered.connect(self.saveconfig)
load_action = QAction('Load Config', self)
load_action.triggered.connect(self.loadconfig)
restore_action = QAction('Restore Config', self)
restore_action.triggered.connect(self.restoreconfig)
config_menu.addAction(save_action)
config_menu.addAction(load_action)
config_menu.addAction(restore_action)

vbox.addWidget(menu_bar)
vbox.addWidget(splitter, 1)
vbox.addWidget(self.statusBar)
self.setLayout(vbox)

```

```

# self.move(300, 200)
self.resize(1024, 700)
self.setWindowTitle(self.appname)
self.show()

def initParser(self):
    self.chdata = []

    # set parser
    self.parser =
    sp.SerialParser(aStartSequence=self.parameters['parser']['startbyte'],
aEndSequence=self.parameters['parser']['endbyte'],
aDataType=self.parameters['parser']['datatype'],
aNumChannel=self.parameters['parser']['channel'],
aEndianness=self.parameters['parser']['endianness'])

    # calculate X values for the plotter
    self.calculateXAxes()

    self.paramSerialChanged()
    self.paramParserChanged()
    self.paramPlotterChanged()
    self.paramFftChanged()
    self.paramChannelChanged()

    # update timers
    self.last_update = time.perf_counter()
    self.mean_dt = None

    self.timer = QtCore.QTimer(timerType=QtCore.Qt.PreciseTimer)
    self.timer.timeout.connect(self.update)
    self.timer.start(33)
    self.timerui = QtCore.QTimer()
    self.timerui.timeout.connect(self.updateui)
    self.timerui.start(500)

    def calculateXAxes(self):
        # calculate X values for the plotter
        ltplotlength = self.parameters['plotter']['buffersize']
        lfNSamples = self.parameters['fft']['fftsize']
        pps = self.parser.getPacketPerSecond()
        T = 0.001
        if pps != 0:
            T = 1 / self.parser.getPacketPerSecond() # 0.001
        self.Xt = np.linspace(0.0, ltplotlength*T, ltplotlength)
        self.Xf = np.linspace(0.0, 1.0/(2*T), lfNSamples // 2)

```

```

self.Yf0 = np.linspace(0.0, lfNSamples*T, lfNSamples // 2)
self.Yf1 = np.linspace(0.0, lfNSamples*T, lfNSamples // 2)
self.Yf2 = np.linspace(0.0, lfNSamples*T, lfNSamples // 2)

```

```

def saveconfig(self):
    retval = self.config.saveConfig(self.parameters)
    if retval:
        msg = "Config file saved"
        self.statusBar.showMessage(msg)
        print(msg)
    else:
        msg = "Error saving config file"
        self.statusBar.showMessage(msg)
        print(msg)

```

```

def loadconfig(self):
    params = self.config.loadConfig()
    if params:
        self.parameters = params
        self.loadParameters()
        msg = "Config file loaded"
        self.statusBar.showMessage(msg)
        print(msg)
    else:
        msg = "Error loading config file"
        self.statusBar.showMessage(msg)
        print(msg)

```

```

def restoreconfig(self):
    self.parameters = self.defaultParams
    self.loadParameters()
    msg = "Config restored"
    self.statusBar.showMessage(msg)
    print(msg)

```

```

def loadParameters(self):
    seropts = self.params.child('seriopts')
    parseropts = self.params.child('parseropts')
    plotteropts = self.params.child('plotteropts')
    fftopts = self.params.child('fftopts')

```

```

with seropts.treeChangeBlocker():
    seropts.child('Custom Port').setValue(True)
    seropts.child('PortStr').setValue(self.parameters['conn']['portname'])
    seropts.child('BaudRate').setValue(self.parameters['conn']['baudrate'])
    seropts.child('Data Bits').setValue(self.parameters['conn']['databits'])

```

```

seropts.child('Stop Bits').setValue(self.parameters['conn']['stopbits'])
seropts.child('Parity').setValue(self.parameters['conn']['parity'])

with parseropts.treeChangeBlocker():
    startbytelist = self.parameters['parser']['startbyte']
    hexstr = ""
    for byte in startbytelist:
        hexstr += format(byte, 'X') + " "
    parseropts.child('StartByte').setValue(hexstr)

    endbytelist = self.parameters['parser']['endbyte']
    hexstr = ""
    for byte in endbytelist:
        hexstr += format(byte, 'X') + " "
    parseropts.child('EndByte').setValue(hexstr)
    parseropts.child('Channels').setValue(self.parameters['parser']['channel'])
    parseropts.child('DataType').setValue(self.parameters['parser']['datatype'])
    parseropts.child('Endianness').setValue(self.parameters['parser']['endianness'])

with plotteropts.treeChangeBlocker():
    plotteropts.child('Autoscale').setValue(self.parameters['plotter']['autoscale'])
    plotteropts.child('Plot Length').setValue(self.parameters['plotter']['plotlength'])
    plotteropts.child('Multiplier').setValue(self.parameters['plotter']['multiplier'])
    plotteropts.child('Offset').setValue(self.parameters['plotter']['offset'])

with fftopts.treeChangeBlocker():
    fftopts.child('Autoscale').setValue(self.parameters['fft']['autoscale'])
    fftopts.child('Show DC').setValue(self.parameters['fft']['showdc'])
    fftopts.child('NSamples').setValue(self.parameters['fft']['fftsize'])

def paramChannelChanged(self):
    if self.debug:
        print("paramChannelChanged")
    channelopts = self.params.child('channelopts')
    numchan = self.parameters['parser']['channel']

    # update active/inactive channels variable
    activechs = []
    inactivechs = []
    for ch in range(numchan):
        chname = "CH{}".format(ch)
        childval = channelopts.child(chname).value()
        if childval == True:
            activechs.append(ch)
        else:
            inactivechs.append(ch)
    self.parameters['channels']['activechs'] = activechs

```

```

self.parameters['channels']['inactivechs'] = inactivechs

def paramSerialChanged(self):
    if self.debug:
        print("paramSerialChanged")
        seropts = self.params.child('seriopts')
        customport = seropts['Custom Port']

    with seropts.treeChangeBlocker():
        if customport == True:
            seropts.child('PortStr').setOpts(visible=True)
            seropts.child('PortList').setOpts(visible=False)
            self.parameters['conn']['portname'] = seropts.child('PortStr').value()
        else:
            all_comports = lp.comports()
            ports = {}
            for port in sorted(all_comports):
                descstr = "{} : {}, {}".format(port.device, port.manufacturer, port.de
            ports[descstr] = port.device

            seropts.child('PortStr').setOpts(visible=False)
            seropts.child('PortList').setOpts(visible=True)
            seropts.child('PortList').setOpts(limits=ports)
            self.parameters['conn']['portname'] = seropts.child('PortList').value()

        self.parameters['conn']['baudrate'] = seropts.child('BaudRate').value()
        self.parameters['conn']['databits'] = seropts.child('Data Bits').value()
        self.parameters['conn']['stopbits'] = seropts.child('Stop Bits').value()
        self.parameters['conn']['parity'] = seropts.child('Parity').value()

def paramParserChanged(self):
    if self.debug:
        print("paramParserChanged")
        parseropts = self.params.child('parseropts')
        startByteStr = parseropts.child('StartByte').value()
        self.parameters['parser']['startbyte'] = list(bytearray.fromhex(startByteStr))
        endByteStr = parseropts.child('EndByte').value()
        self.parameters['parser']['endbyte'] = list(bytearray.fromhex(endByteStr))
        numchan = parseropts.child('Channels').value()
        self.parameters['parser']['channel'] = numchan
        self.parameters['parser']['datatype'] = parseropts.child('DataType').value()
        self.parameters['parser']['endianness'] = parseropts.child('Endianness').value()

    # add/remove channel entries in parameter tree
    channelopts = self.params.child('channelopts')
    childcount = len(channelopts.children())
    with channelopts.treeChangeBlocker():

```

```

for ch in range(max(numchan, childcount)):
    if ch >= numchan:
        channelopts.removeChild(
            channelopts.child("CH{}".format(ch)))
    elif ch >= childcount:
        name = "CH{}".format(ch)
        channelopts.addChild({'name': name, 'type': 'bool', 'value': True})

dataitems_t = self.plotter_t.listDataItems()
dataitems_f = self.plotter_f.listDataItems()
numdataitems = len(dataitems_t)

for ch in range(max(numchan, numdataitems)):
    if ch >= numchan:
        self.plotter_t.removeItem(dataitems_t[ch])
        self.plotter_f.removeItem(dataitems_f[ch])
    if ch >= numdataitems:
        # color = ['b', 'g', 'r', 'c', 'm', 'y', 'k', 'w']
        plotData = pg.PlotDataItem(pen=pgintColor(ch, hues=10), name="CH{}".format(ch))
        # plotData = pg.PlotDataItem(pen=color[ch], name="CH{}".format(ch))
        self.plotter_t.addItem(plotData)
        plotData = pg.PlotDataItem(pen=pgintColor(ch, hues=10), name="CH{}".format(ch))
        self.plotter_f.addItem(plotData)
        self.chdata.append([])

# set new parser config
self.parser.setParserScheme(aStartSequence=self.parameters['parser']['start'],
    aEndSequence=self.parameters['parser']['endbyte'],
    aDataType=self.parameters['parser']['datatype'],
    aNumChannel=self.parameters['parser']['channel'],
    aEndianness=self.parameters['parser']['endianness'])

expectedStr = self.parser.getExpected()
parseropts.child('Expected').setValue(expectedStr)

def paramPlotterChanged(self):
    if self.debug:
        print("paramPlotterChanged")
    plotteropts = self.params.child('plotteropts')
    self.parameters['plotter']['autoscale'] = plotteropts.child('Autoscale').value
    self.parameters['plotter']['buffersize'] = plotteropts.child('Plot Length').value
    self.parameters['plotter']['offset'] = plotteropts.child('Offset').value
    self.parameters['plotter']['multiplier'] = plotteropts.child('Multiplier').value
    self.calculateXAxes()

def paramFftChanged(self):

```



```

if self.debug:
print("paramFftChanged")
fftopts = self.params.child('fftopts')
self.parameters['fft']['autoscale'] = fftopts.child('Autoscale').value()
self.parameters['fft']['showdc'] = fftopts.child('Show DC').value()
self.parameters['fft']['fftsize'] = fftopts.child('NSamples').value()
self.calculateXAxes()

def connect(self):
if self.debug:
print("Connect")
portname = self.parameters['conn']['portname']
baudrate = self.parameters['conn']['baudrate']
self.parameters['conn']['baudrate']
try:
self.ser = serial.Serial(port=portname,
baudrate=baudrate,
bytesize=self.parameters['conn']['databits'],
stopbits=self.parameters['conn']['stopbits'],
parity=self.parameters['conn']['parity'])
except:
msg = "Cannot connect to: {}".format(portname)
self.statusBar.showMessage(msg)
print(msg)
return

msg = "Connected to: {} ({} {}".format(portname, baudrate)
self.statusBar.showMessage(msg)
print(msg)

gconnect = self.params.child('connect')
connectedstr = "{} : {}".format(portname, baudrate)
gconnect.child('connected').setOpts(visible=True, value=connectedstr)
gconnect.setOpts(title="Disconnect")
gconnect.sigActivated.disconnect(self.connect)
gconnect.sigActivated.connect(self.disconnect)
self.params.child('serialopts').hide()
print(self.ser)

def disconnect(self):
if self.debug:
print("disconnect")
self.ser.close()

if self.ser.is_open == False:
gconnect = self.params.child('connect')
gconnect.setOpts(title="Connect")

```

```

gconnect.sigActivated.disconnect(self.disconnect)
gconnect.sigActivated.connect(self.connect)
self.params.child('serialopts').show()
self.params.child('connect').child('connected').setOpts(visible=False)

msg = "Disconnected"
self.statusBar.showMessage(msg)
print(msg)
else:
msg = "Unable to disconnect"
self.statusBar.showMessage(msg)
print(msg)

def update(self):
    """ called by timer at 30 Hz """
    timestamp = time.perf_counter()
    dt = timestamp - self.last_update
    if self.mean_dt is None:
        self.mean_dt = dt
    else:
        self.mean_dt = 0.95 * self.mean_dt + 0.05 * dt # average over fluctuat
    # print('refresh: {:.1f}ms -> {:.1f} fps'.format( 1000*self.mean_dt,
    self.last_update = timestamp

    if self.ser == None:
        return

    if not self.ser.is_open:
        return

    lDataBuffer = None
    try:
        inw = self.ser.in_waiting
        lDataBuffer = self.parser.parse(self.ser.read(inw))
    except:
        self.disconnect()
        print("Port disconnected...")
        return

    if len(lDataBuffer) == 0:
        return

    self.queue = len(lDataBuffer[0])
    if self.queue == 0:
        return

    multiplier = self.parameters['plotter']['multiplier']

```

```

offset = self.parameters['plotter']['offset']
for i, ch in enumerate(lDataBuffer):
    for j, data in enumerate(ch):
        data *= multiplier
        data += offset
    lDataBuffer[i][j] = data

numch = self.parameters['parser']['channel']
for ch in range(numch):
    self.chdata[ch].extend(lDataBuffer[ch])

activechs = self.parameters['channels']['activechs']
inactivechs = self.parameters['channels']['inactivechs']
dataItems_t = self.plotter_t.listDataItems()

# draw time domain plot
tstart = - min(self.parameters['plotter']['buffersize'] + 1, len(self.c
tend = -1

for ch in inactivechs:
    dataItems_t[ch].clear()
for ch in activechs:
    dataItems_t[ch].setData(
self.Xt[0:-tstart-1], self.chdata[ch][tstart:tend])

# draw frequency domain plot
lfNSamples = self.parameters['fft']['fftsize']
if(len(self.chdata[0]) > lfNSamples):
    tstart = -min(lfNSamples + 1, len(self.chdata[0]))
    fstart = 1
    if self.parameters['fft']['showdc'] == True:
        fstart = 0
    fend = (lfNSamples // 2) - 1

dataItems_f = self.plotter_f.listDataItems()
for ch in inactivechs:
    dataItems_f[ch].clear()
for ch in activechs:
    self.Yf = fft(self.chdata[ch][tstart:tend])
    dataItems_f[ch].setData(self.Xf[fstart:fend], abs(self.Yf[fstart:fend]))

def updateui(self):
    if self.parser == None:
        return
    self.params.child('stats').child('Queue').setValue(self.queue)
    self.params.child('stats').child('Packet/s').setValue(self.parser.getPa
    self.params.child('stats').child('Error/s').setValue(self.parser.getErr

```

```
self.calculateXAxes()
```

```
def main():
```

```
    app = QtWidgets.QApplication(sys.argv)
```

```
    ex = SerialStudio()
```

```
    sys.exit(app.exec_())
```

```
if __name__ == '__main__':
```

```
    main()
```



ÖZGEÇMİŞ

İlk, orta öğrenimini 21 Şubat İlk öğretim okulunda tamamladı. Lise öğrenimini Bayburt Dede Korkut Anadolu Lisesinde tamamlamıştır. 2009 Yılında Munzur Üniversitesi Elektrik-Elektronik Mühendisliği Fakültesini kazanmış ve 2014 yılında mezun olmuştur. Enerji ve Otomasyon sektörlerinde öğrenimine paralel çalışmıştır. Askerlik görevini 365/KD olarak yapmış ve hizmet belgesine layık görülmüştür. Haberleşme, filtreleme, ARM mimarisi ve programlama konularında uzmanlaşmak için Karadeniz Teknik Üniversitesi'nde yüksek lisans yapmıştır.

