



**KAPASİTİF ALGILAMA DEVRELERİ VE  
BAZI UYGULAMALARI**

**Süleyman YİRMİBEŞ**

**Yüksek Lisans Tezi**

**Elektronik ve Haberleşme Mühendisliği Anabilim**

**Dalı**

**Danışman: Prof. Dr. Hafız ALİSOY**

**2021**

**T.C.**  
**TEKİRDAĞ NAMIK KEMAL ÜNİVERSİTESİ**  
**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**KAPASİTİF ALGILAMA DEVRELERİ VE BAZI UYGULAMALARI**

**Süleyman YİRMİBEŞ**

**ELEKTRONİK ve HABERLEŞME MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**DANIŞMAN: Prof. Dr. Hafız ALİSOY**

**TEKİRDAĞ-2021**

**Her hakkı saklıdır.**

# ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

KAPASİTİF ALGILAMA DEVRELERİ VE BAZI UYGULAMALARI

**Süleyman YİRMİBEŞ**

Tekirdağ Namık Kemal Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Elektronik ve Haberleşme Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Hafız ALİSOY

Bilgi ve kontrol sistemlerinin dünyadaki hızlı gelişiminin karakteristik bir özelliği, yaşamın tüm alanlarında çeşitli fiziksel niceliklerin algılayıcılarının(sensörlerinin) giderek yaygınlaşmasıdır. Sensörler endüstriyel kontrolde, üretim süreçlerinin otomasyonunda, otomobil, havacılık, roket-uzay ve havacılık teknolojisinde, tıpta ve güvenlik kontrol sistemlerinde her geçen gün daha yaygın kullanılır. Bu çalışmada, kapasitif algılama sensörü içeren elektronik devre tasarımı için matematiksel model geliştirilmiş ve devrenin algılama kapasitörü değerine bağlı olarak hassasiyetini (duyarlılığını) etkileyen parametrelerinin analizi verilmiştir. Bir bütün olarak, kapasitif algılama devresinin tüm komponentlerinin analizi verilmiş, devrenin tükettiği enerjiyi güvenli bir biçimde karşılayan güneş paneli ve akü hesabı verilerek uzaktan kontrollü yeni bir kapasitif algılama devresi tasarlanmıştır. Kapasitif algılama sensörü üzerinden tespit edilen durum bilgisi, geliştirilen mobil uygulama sayesinde, kablosuz olarak cep telefonu veya tablet gibi bir mobil cihaza aktarılarak, tasarlanan bu yeni sistemin başarılı bir şekilde pratik uygulaması gerçekleştirilmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Kapasitif Algılama Sensörü, Elektronik Devre Tasarımı, Kapasitif Algılama Matematiksel Modeli

2021, 76 sayfa

## **ABSTRACT**

MSc Thesis

**CAPACITIVE SENSING CIRCUITS AND SOME APPLICATIONS**

**Süleyman YİRMİBEŞ**

Tekirdağ Namık Kemal University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Electronics and Communication Engineering

Supervisor: Prof.Dr. Hafız ALİSOY

A characteristic feature of the rapid development of information and control systems in the world is the increasing spread of sensors of various physical quantities in all spheres of life. Sensors are increasingly used in industrial control, industrial process automation, automotive, aerospace, rocket – space technology, medicine and safety control systems. In this study, a mathematical model was developed for the design of an electronic circuit with a capacitive sensor and an analysis was given of the parameters that affect the sensitivity of the circuit depending on the value of the sensitive capacitor. Overall, all the components of the capacitive measuring circuit are analysed, and a new remotely controlled capacitive measuring circuit has been developed that gives the solar panel and battery design that safely matches the power consumption of the circuit. With the developed mobile application, the status information detected by the detection sensor is wirelessly transmitted to a mobile device such as a mobile phone or tablet, and the practical application of this new system has been successfully implemented.

**Keywords:** Capacitive Sensing Sensor, Electronic Circuit Design, Capacitive Sensing Mathematical Model

**2021, 76 pages**

# İÇİNDEKİLER

<b>ÖZET</b> .....	<b>i</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>ii</b>
<b>İÇİNDEKİLER</b> .....	<b>iii</b>
<b>ÇİZELGE DİZİNİ</b> .....	<b>v</b>
<b>ŞEKİL DİZİNİ</b> .....	<b>vi</b>
<b>SİMGELER ve KISALTMALAR</b> .....	<b>ix</b>
<b>TEŞEKKÜR</b> .....	<b>x</b>
<b>1. GİRİŞ</b> .....	<b>1</b>
<b>2. MATERYAL ve YÖNTEM</b> .....	<b>3</b>
2.1. Kapasitif Algılamanın Kullanım Örnekleri .....	3
2.2. Kapasitif Algılama Sensörlü Elektronik Devrelerin Temel Bileşenleri .....	20
2.2.1. İletken Desenli Perde .....	20
2.2.2. Kapasitif Sensör .....	21
2.2.3. Enerji Tüketimine Göre Motor Seçimi .....	22
2.2.4. Güneş Panellerinin Seçimi ve Hesaplanması .....	26
2.2.4.1. Fotoelektrik Tesisat Yapısı Sentezi.....	27
2.2.4.2. Güneş Pili Seçimi.....	28
2.2.5. Akü Pillerinin Seçimi ve Kapasitelerinin Hesaplanması .....	29
2.2.6. Şarj Kontrol Ünitesinin Hesaplanması .....	31
<b>3. KAPASİTİF ALGILAMA SENSÖRLERİ İHTİVA EDEN ELEKTRONİK DEVRELERİN TASARIMI VE MATEMATİKSEL MODELLENMESİ</b> .....	<b>32</b>
3.1. Kapasitif Algılama Sensörleri İhtiva Eden Elektronik Devrelerin Temel Bileşenleri..	32
3.2. Kapasitif Algılama Sensörleri İhtiva Eden Elektronik Devrelerin Matematiksel Modellenmesi.....	33
3.3. Kapasitif Algılama Sensörü İçeren Devre Tasarımı .....	43
<b>4. KAPASİTİF ALGILAMA SENSÖRÜ İHTİVA EDEN PROTOTİP DEVRE UYGULAMASI</b> .....	<b>48</b>
4.1. Prototip devresi için mikrodenetleyici tasarımı .....	48
4.2. Haberleşme Sistemleri .....	49
4.2.1. Bluetooth Haberleşme .....	50
4.2.2. RF Haberleşme .....	50
4.3. Elektronik Kartların Birleştirilmesi .....	51

4.4. RF Kumanda Sinyalinin Alınması, Çözülmesi ve Üretilmesi .....	52
4.5. Prototip Mikrodenetleyici Yazılımı .....	55
4.6. Prototip Mobil Uygulama Yazılımı .....	56
<b>5. SONUÇ VE ÖNERİLER.....</b>	<b>59</b>
<b>KAYNAKLAR .....</b>	<b>60</b>
<b>EKLER .....</b>	<b>64</b>



## ÇİZELGE DİZİNİ

Çizelge 2.1. Gün içerisinde Stor Perdenin Çalışması dolayısıyla tüketilen elektrik enerjisi (gece saat 01:00 dan öğlen saat 12:00 kadar).....	23
Çizelge 2.2. Gün içerisinde Stor Perdenin Çalışması dolayısıyla tüketilen elektrik enerjisi (öğlen saat 13:00 dan gece saat 24:00 kadar) .....	24
Çizelge 2.3. Güneş pillerinin teknik parametrelerine göre istatistiksel analizi .....	28
Çizelge 2.4. PLX-20146 GP' nin teknik parametreleri .....	28
Çizelge 2.5. Akü pil özellikleri.....	30
Çizelge 3.1. C1 üzerinde oluşacak kapasite değerlerine karşılık R6 üzerinden ölçülen gerilim değerleri.....	45



## ŞEKİL DİZİNİ

Şekil 2.1.Kapasitif algılama.....	3
Şekil 2.2. Thracker cihazı ile donatılmış bir ekranın prototipi.....	4
Şekil 2.3. Merkezde 2 alıcı kenarlarda 8 verici bulunan masanın içyapısı .....	5
Şekil 2.4. Döndürme ve uzaklaştırma hareketleri.....	5
Şekil 2.5. Nesnelerin dokunmasını ve kavramasını hassas hale getirmek için kapasitif profiller (kapı tokmağı örneği) .....	6
Şekil 2.6. Gerilim algılama elemanı yapısı, şematiği ve 8x8 algılama dizisi.....	6
Şekil 2.7. Eldiven üzerine yerleştirilmiş esnek kapasitif elektrot.....	7
Şekil 2.8. Capacitivo yapısı ve algılama örnekleri .....	7
Şekil 2.9. Örnek kapasitif dokunmatik ekran cihazı.....	8
Şekil 2.10. Kapasitif zemin sensör elektrotu ızgara modelinin görünümü.....	9
Şekil 2.11. Kapasitif hareket tanımlama ünitesi ve sistem blok şeması .....	10
Şekil 2.12. İki iletken kumaş arasındaki mesafe ve açılara bağlı olarak kapasite duyarlılığındaki değişimler. (A) Nefes alma ve nefes verme sürecindeki genel nefes alma mekaniği. (B, C) derin nefes alma ve (D) sırasında nefes alma aktiviteleri sırasıyla ayakta, (E) oturarak ve (F) yatarak .....	11
Şekil 2.13. Esnek kapasitif basınç sensörü yapısı ve uygulanan basınca verdiği tepkinin zamana göre değişim grafiği.....	12
Şekil 2.14. Kapasitif sensörlerin su ile genişletilmiş yakınlık aralığı tespiti ve olası uygulamalar. ....	13
Şekil 2.15. Çeşitli vücut parçalarının eylemleri ile gerçekleşen fiziksel etkileşimlerin kapasitif algılanması.....	13
Şekil 2.16. Kapasitif sensör kartı şeması.....	14
Şekil 2.17. Deneilerde kullanılan nesnelere a) Bakır, b) Alüminyum, c) Çelik, d) Plastik, e) Ahşap Kaplama.....	15
Şekil 2.18. Çift modlu dokunsal sensörün kavramsal diyagramı (a) Bir robot koluna yerleştirilmiş sensör (b) Robot eline yerleştirilmiş sensör .....	15
Şekil 2.19. Kapasitif sensör dizisinin prototipi.....	16
Şekil 2.20. Kapasitif koltuk doluluk sensörüne sahip otomobil koltuğunun şematik gösterimi .....	16
Şekil 2.21. Sensörün yapısının ve eşdeğer devresinin karakterizasyonu (a) Sensörünün sandviç yapısının şematik gösterimi (b) Karşılık gelen ağırlık görüntüsü (c) Cihazın farklı alanlarının geçirgenlik eğrileri (d) Ölçümlerde kapasitif sensörün eşdeğer devresi .....	17
Şekil 2.22. a) Yatay yüzeyden uzaklaşırken alınan ölçüm b) Dikey yüzeyden uzaklaşırken alınan ölçüm c) Sensör önünden kum akıtılırken alınan ölçüm .....	18



Şekil 2.23. Bilekliğin ortamdaki diğer bileklikle ve diğer nesnelere etkileşimi .....	18
Şekil 2.24. a) Omurilik yaralanması olan bir kişi tarafından giyilen prototip sistemi b)Kapasitif sensör kartı c) İletken teller kullanılarak kot kumaşa dikilmiş sensör dizisi .....	19
Şekil 2.25. Perde kumaşı üzerine iletken iplikle dokunacak desen .....	20
Şekil 2.26. Azoteq IQS227AS kapasitif sensör kartı.....	22
Şekil 2.27. WSERD 30-B Stor perde mekanizması .....	26
Şekil 3.1. Kapasitif algılama sensörünün sembolik gösterimi.....	32
Şekil 3.2. Kapasitif Algılama Devresinin temel bileşenleri .....	32
Şekil 3.3. RC tabanlı gerilim bölücü devrelerinde kapasitif sensörlerle bilgi sinyali oluşturma şemasının sembolik gösterimi .....	34
Şekil 3.4. Kapasitif sensörlü empedans ölçer devrede bilgi sinyali oluşturma şematik gösterimi .....	34
Şekil 3.5. Akım-Voltaj dönüştürücüsünün girişindeki akımı optimize eden kapasitif sensörlü devrenin şematik gösterimi.....	35
Şekil3.6. Kapasitif algılama sensörlü elektronik devre hassasiyetinin iyileştirilmesinin eşdeğer devresi.....	36
Şekil 3.7. Algılama sensörünün ölçüm hücresinin eşdeğer devresi .....	37
Şekil 3.8. Karakteristik denklemin belirlenmesine olanak sağlayan eşdeğer devre .....	38
Şekil 3.9. Farklı $R_x$ - sızıntı(parazit) direnç değerleri için, $C_1, C_x$ kondansatörleri üzerindeki voltaj hassasiyet fonksiyonunun zamana bağlı olarak değişimi.....	41
Şekil 3.10. Farklı $R_x$ -sızıntı(parazit) direnç değerleri için, akım-voltaj dönüştürücüsünün (AVC) girişindeki akım hassasiyet fonksiyonunun zamana bağlı olarak değişimi .....	41
Şekil 3.11. Bağlı akım duyarlılığı fonksiyonunun maksimum değerinin ( $C_x/C_1$ ) oranına göre değişimi .....	42
Şekil 3.12. C1 kapasitif algılama sensörü ihtiva eden güvenlik sisteminin basit elektronik devresi .....	43
Şekil 3.13. Kapasitif algılama devresinin LTSPICE programı ile oluşturulan modeli .....	45
Şekil 3.14. C1 değeri 0.1pF olduğunda R6 üzerine oluşan gerilim-zaman grafiği .....	46
Şekil 3.15. C1 değeri 4 pF olduğunda R6 üzerine oluşan gerilim-zaman grafiği .....	46
Şekil 3.16. C1 değeri 10 pF olduğunda R6 üzerine oluşan gerilim-zaman grafiği .....	46
Şekil 4.1. Tasarlanan mikrodenetleyici kartının devre şeması .....	48
Şekil 4.2. Tasarlanan mikrodenetleyici kartı baskı devre şeması.....	49
Şekil 4.3. Elemanların montajı yapıldıktan sonra mikrodenetleyici kartının görünümü.....	49
Şekil 4.4. Kartların birleştirildikten sonraki görünümleri .....	51
Şekil 4.5. RF verici tarafından gönderilen sinyal örneği .....	52
Şekil 4.6. Lojik analizör programı ekran görüntüsü .....	53

Şekil 4.7. Kod çözme işlemi.....	54
Şekil 4.8. Arduino IDE kullanılarak kodun tekrar üretilmesi.....	54
Şekil 4.9. Mobil uygulamanın bluetooth bağlantısı öncesi ekran görüntüsü.....	56
Şekil 4.10. Seçim yapıldığında uygulama ekranı görüntüsü .....	57
Şekil 4.11. Perdeye yaklaşma durumunda mobil uygulamanın ekran görüntüsü.....	57
Şekil 4.12. Perdeye temas edilmesi durumunda mobil uygulamanın ekran görüntüsü.....	58



## SİMGELER VE KISALTMALAR

V	: Volt
A	: Amper
U	: Gerilim
I	: Akım
W	: Watt
h	: Saat (hour)
Hz	: Hertz
KHz	: Kilo Hertz
MHz	: Mega Hertz
GHz	: Giga Hertz
pF	: Piko Farad
RF	: Radyo frekansı
N	: Tur (devir)
MD	: Mikrodenetleyici
Q	: Transistör
D	: Diyot
ADC	: Analog Dijital Converter (Analog Dijital Dönüştürücü)
GP	: Güneş Paneli
AVC	: Akım Gerilim Dönüştürücü
DAQ	: Depolama Örnekleme Devresi
IC	: Entegre Devre
ATI	: Anten Ayarlama Arayüzü
OGKS	: Otonom Güneş Kaynağı Sistemi
AP	: Akümülatör
rpm	: Dakikadaki Tur Sayısı
PV	: Foto Voltaik (Photo Voltaic)
PVT	: Foto Voltaik Termal (Photo VoltaicThermal)

## TEŞEKKÜR

Tezimin konusunun belirlenmesi ve çalışmanın yürütülmesinde yardımlarını, bilgisini ve desteğini esirgemeyen danışmanım Prof. Dr. Sayın Hafız ALİSOY' a teşekkürlerimi sunarım.

Çalışmalarım sırasında gösterdiği sabır ve destek için eşim Yasemin YİRMİBEŞ' e, sürekli çalışmalarına izin veren küçük kızlarım Aslı ve Aylin' e teşekkür ederim.

Tüm yaşamım boyunca olduğu gibi yüksek lisans çalışmamda da verdikleri destek ve moral için annem Hayriye YİRMİBEŞ' e, babam Rahmi YİRMİBEŞ' e, ablalarım Fatma TOPUZ ve Havva HAFTACIOĞULLARI' na, abim Yakup YİRMİBEŞ' e teşekkür ederim.

Yüksek lisans eğitimimde süreci takip etmekte, tez çalışmamın yazım kurallarının denetiminde ve teknik konularda desteğini esirgemeyen Yüksek Bil. Müh. Engin AKKOCA' ya, yazılım desteği sebebi ile Mehmet Emin YAMAN' a teşekkür ederim. Elektronik komponent konusunda verdiği bilgi ve desteğinden dolayı Elek.&Hab. Müh. Hüseyin Murat KOPARIR' a ve Tekirdağ Namık Kemal Üniversitesi, Çorlu Mühendislik Fakültesi Elektronik ve Haberleşme Mühendisliği Bölümü hocalarıma teşekkür ederim.

Ayrıca elektronik biliminin doğmasına, kablosuz haberleşme yapabilmemize, bu teknolojinin ulaşabilir olmasına, bilginin paylaşılarak çoğalacağı ortamlar sağlanmasına imkân sağlayan, gelmiş geçmiş tüm bilim insanlarına, bilim destekçilerine, bilime değer veren tüm insanlara saygılarımı sunar, teşekkür ederim.

Haziran, 2021

Süleyman YİRMİBEŞ  
Elektronik Öğretmeni  
Elektronik ve Haberleşme Mühendisi

## 1. GİRİŞ

Yirminci yüzyılın sonlarında ve yirmibirincinci yüzyılın başlarında, bilgi ve kontrol sistemlerinin dünyadaki hızlı gelişiminin karakteristik bir özelliği, yaşamın tüm alanlarında çeşitli fiziksel niceliklerin sensörlerinin giderek yaygınlaşmasıdır. Sensörler endüstriyel kontrolde, üretim süreçlerinin otomasyonunda, otomobil, havacılık, roket-uzay teknolojisinde, tıpta ve güvenlik kontrol sistemlerinde her geçen gün daha yaygın kullanılır [1-7].

Çeşitli fiziksel büyüklüklerin sensörleri, bilgi ve kontrol sistemlerinin teknik seviyesini ve maliyetini belirleyen ana unsurlar haline gelmiştir. Ayrıca, yüksek metrolojik özelliklere ek olarak, çeşitli fiziksel büyüklüklerdeki sensörler yüksek derecede güvenilirliğe, dayanıklılığa, stabiliteye, küçük boyutlara, ağırlığa ve güç tüketimine sahip olmalıdır [2].

Yaşanan ekonomik zorluklar veya daha yüksek maddi imkânlarla sahip olmak isteği, insanları suça teşvik etmekte, özellikle de sahibinin göremediği mekânları hedef haline getirmektedir [3]. Güvenlik ihtiyacının karşılanması için öncelikle tehlikeli durumun algılanmasını sağlayacak sensörlere ihtiyaç vardır. Bir sensörün değişik kullanım şekilleri ile daha farklı güvenlik sistemleri geliştirilebilir.

Nesnelerin veya insanların varlığını algılayıp bilgisayara bu bilgiyi aktarmanın yollarından biri elektrik alan algılamasıdır. İnsan-makine arayüzü için “elektrik alan” algılamanın bilinen ilk kullanımı Leon Theremin' in müzik aletiydi. Bir osilatörün perdesini ve genliğini kontrol etmek için iki çok yönlü anten kullanılmıştır [4]. Çok küçük el hareketlerine bile tepki veren bu müzik aleti ile makineden çıkan ses, istenildiği gibi kontrol edilebiliyordu. 20. yüzyılın başlarında, dokunmadan insanın varlığını algılamanın yolunu açan bu yöntem uzay teknolojilerinden güvenliğe kadar birçok alanda kullanılmıştır.

Polimerik tabanlı esnek kapasitif algılama sensörleri ihtiva eden güvenlik sistemlerinin incelenmesi güncel ve öncelikli araştırma alanlarını kapsamaktadır. Bu tez çalışmasının temel amacı, dışarıdan gelen bir temas veya yaklaşmayı algılayabilen ve algılanan durumun niteliğini uzaktan kontrol eden kapasitif algılama tabanlı bir elektronik devre tasarımından oluşmaktadır.

Belirtilen stratejik hedefe ulaşmak için, bu tez çalışmasında aşağıda tanımlanan problemler ele alınmıştır:

- Öncelikli olarak konuya ilişkin literatür araştırması yapılarak, konunun güncelliği tespit edilmiş, daha sonra ise kapasitif algılama niteliğini etkileyen temel faktörlerin belirlenmesi;
- Polimerik tabanlı esnek yüzeylerde oluşturulan kapasitif algılama sensörleri ihtiva eden elektronik devrenin oluşturulması;
- Kapasitif algılama sensörleri için yeni bir matematiksel model tanımlanması ve bu matematiksel modelden elde edilen sonuçların analizi yapılarak, devre parametrelerinin ve kapasitif algılama niteliğini etkileyen temel faktörlerin analizi;
- Tasarlanan uzaktan kontrollü güvenlik sistemi prototipi için gerekli yazılımların verilmesi.

Özellikle, polimerik tabanlı esnek kapasitif algılama sensörleri ihtiva eden elektronik devrelerin matematiksel modelinin oluşturulması ve bu modele karşılık gelen uygulama devresinden elde edilecek sonuçların, sensörler için temel fiziksel prensiplerin analizi ve uygulanması açısından önem arz etmekte olup, bu tez çalışmasının pratik önemini ifade etmektedir.

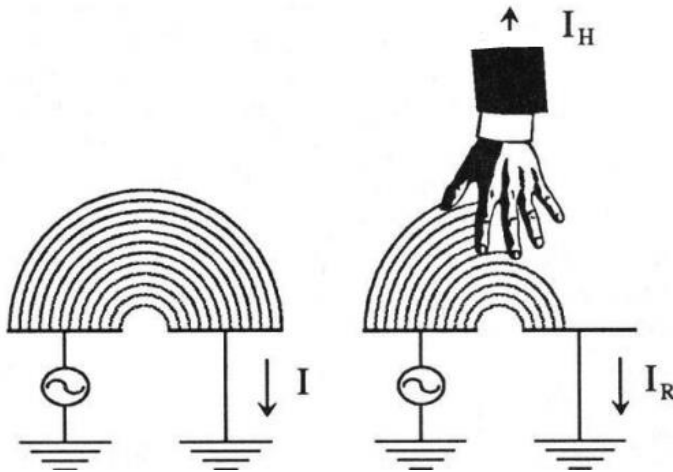
## 2. MATERYAL VE YÖNTEM

### 2.1. Kapasitif Algılamanın Kullanım Örnekleri

Kapasitif algılamının niteliği elektrotların sayısına, büyüklüğüne, desen motifine ve kullanılacak kapasitif sensör teknolojisinin özelliğine göre değişiklik gösterebilir. Bu sayede tespit edilmek istenen durumun sadece var olup olmadığı algılanabildiği gibi varlığın yapısı, büyüklüğü, duruşu, pozisyonu ve maddesel özellikleri de ayırt edilebilir.

Bir dielektrik ortamla yalıtılmış iki veya daha fazla elektrot, çevresindeki bir nesne ile, elektrot-nesne arasındaki mesafeye bağlı olarak bir elektriksel etkileşim oluşturabilir [5]. Kapasitif algılama için en az 2 elektrota ihtiyaç duyulur. Kapasitif sensörün elektrik alanı içerisine iletkenlik özelliğine sahip bir cisim yaklaştığında sensör kapasitesinde değişikliğe neden olur. Sensör kapasitesinde oluşan değişimin miktarına bağlı olarak sensöre yaklaşan veya dokunan bir cismin varlığını algılayabiliriz.

İnsan vücudu çoğunlukla iyonize sudan oluşur ve belirli vücut dokusu türlerindeki su oranındaki farklılıklar, ayırt edilebilen farklı elektriksel özelliklere neden olur [6]. Şekil 2.1’de görüldüğü gibi salınımlı bir gönderme elektrotu ile sanal toprak alıcı elektrotu arasında oluşturulan bir çift kutuplu elektrik alanın kuvvet çizgileri, bir el tarafından kesilir. El çift kutup alanına doğru daha fazla hareket ettikçe topraklanmış yüzeye aktarılan yer değiştirme akım miktarı azalır [4]. Bu sayede yaklaşımlar veya dokunmalar da kapasitif sensörler tarafından algılanabilir.

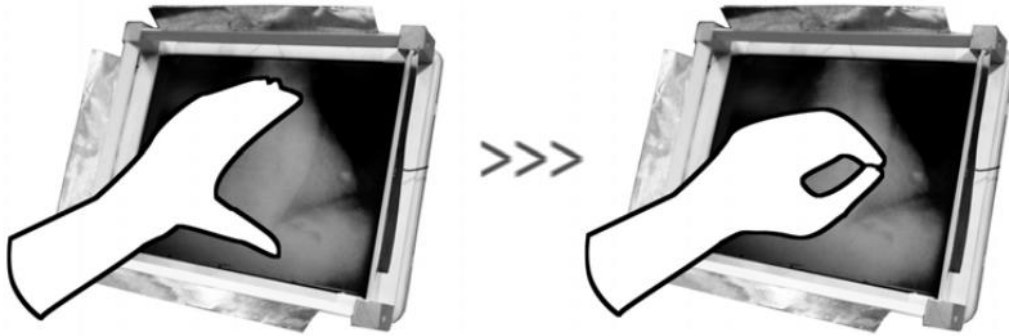


Şekil 2.1. Kapasitif algılamının sembolik gösterimi

Kapasitif olarak algılanan nesnenin yaklaşım ve temas dışında başka özelliklerinin de algılanması istendiğinde, elektrotların ve sensör devrelerinin yapısında bazı değişiklikler yapmak gerekir.

Kapasitif algılamaya dayanan farklı ticari entegre devreler (IC) mevcuttur [7]. Bu entegre devreler tek kanallı veya çok kanallı olduğu gibi, analog veya dijital çıkış verebilirler. Kanal sayıları bağlanabilecek elektrot sayısını belirler. Dijital çıkışlı entegrelerde tespit edilen nesnenin var olup olmadığı bilgisine ulaşılabilirken, analog çıkışlı entegrelerde nesneye ait konum, pozisyon, hız ve maddesel özellikleri gibi birçok bilgisi elde edilebilir.

Thracker adı verilen bir projede, halka açık ekranlar veya posterler gibi küçük ölçekli aktif alanlarda bir ekranın önündeki el hareketlerini izlemek için düşük maliyetli ve sağlam bir donanım sunulmuştur. Thracker, kullanıcı girişini izlemek için kapasitif algılama kullanır. Thracker, elinizle ekrandaki bir nesneyi seçme ve düşürme gibi tamamen yeni etkileşim modlarına izin verir [7]. Şekil 2.2' de görüleceği gibi bu projede bir ekranın 4 kenarına yerleştirilen metal parçalar elektrot olarak kullanılmış ve bu elektrotlardan alınan analog veriler sayesinde ekranın kontrolü sağlanmıştır. Hareketli parçasının olmaması ve sağlam bir yapıya sahip olması için bu yöntem tercih edilmiştir.



Şekil 2.2. Thracker cihazı ile donatılmış bir ekranın prototipi

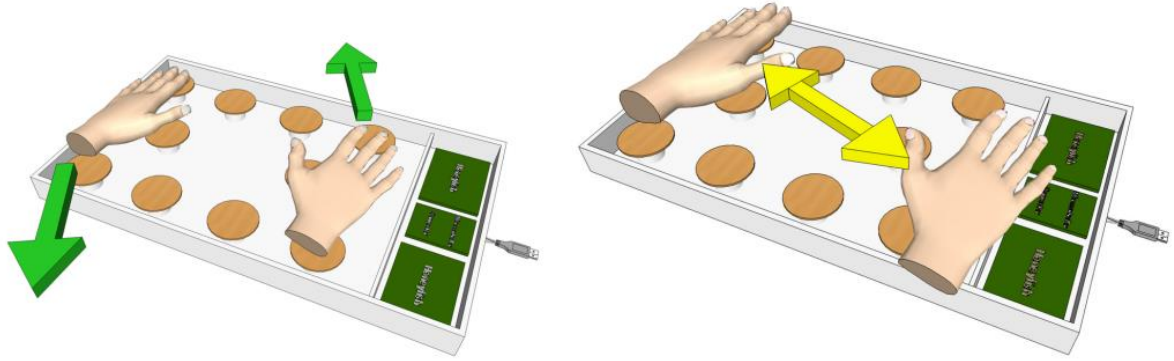
Başka bir projede ise, gözle görünmeyecek şekilde gizlendiği halde algılama yapabilmemesinden dolayı kapasitif yakınlık sensörleri tercih edilmiş ve gerçek zamanlı olarak nesnelere tanımak için yeni bir yöntem önerilmiştir. Bu tekniği kullanıcı arayüzlerine uygulayarak, az sayıda sensörle donatılmış bir yüzeyin üzerinde farklı konfigürasyonlarda birden fazla insan elinin 3D konumunu tespit etmek mümkündür [8]. Şekil 2.3' de merkezde 2



alıcı ve kenarlarda 8 verici elektrotu bulunan bir masanın içi görülmektedir. Kullanılırken masanın üstüne bir tabla konulmakta ve içi görünmemektedir. Şekil 2.4’ de görüldüğü gibi, değişik el hareketleri bu elektrotlar tarafından algılanıp yorumlanabilmektedir.



Şekil 2.3. Merkeзде 2 alıcı kenarlarda 8 verici bulunan masanın iç yapısı



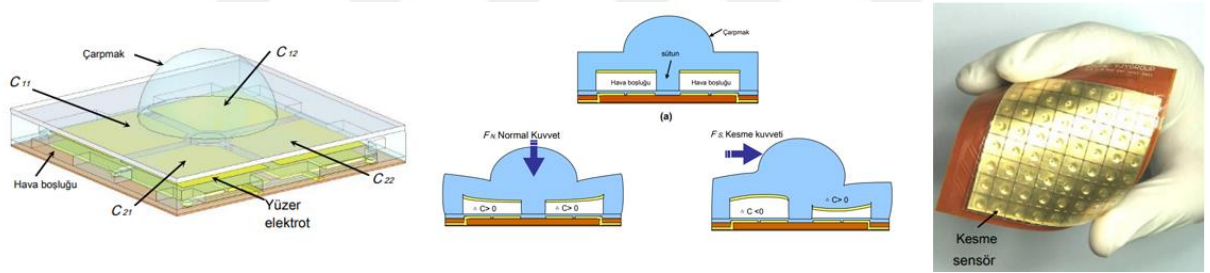
Şekil 2.4. Döndürme ve uzaklaştırma hareketleri

Kapasitif sensörler sayesinde, nesnelerin bazı özellikleri temas yoluyla da tespit edilebilmektedirler. Touché ismi verilen bir projede, kapı tokmağı, kapının geneli veya bir masa üzerine yerleştirilen elektrotlara dokunulduğunda, temas eden insana dair birçok özelliğin algılanabileceği gösterilmiştir. Sadece yanında durduğunu, vurmak için kolunu kaldırdığını, kapıyı ittiğini veya ona yaslandığını hissedebilir. Alternatif olarak, bir sandalye veya masa, oturan bir kişinin duruşunu hissedebilir, yaslanmış veya öne doğru eğilmiş, kollar kolçakta olsun ya da olmasın, yüzeyde çalışan bir veya iki kol ve bunların konfigürasyonunu tespit edebilir [9].



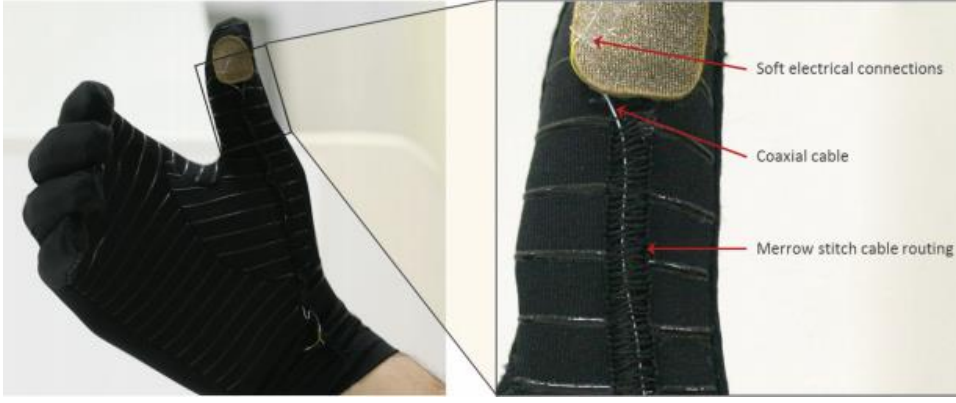
Şekil 2.5. Nesnelerin dokunmasını ve kavramasını hassas hale getirmek için kapasitif profiller (kapı tokmağı örneği)

Şekil 2.5’deki örneklerde sabit yüzeylerde esnek olmayan elektrotlar sayesinde yapılan algılamalar görülmektedir. Alternatif olarak esnek yüzeylerde yapılan çalışmalar da mevcuttur [10], [11]. Elektrotların dizilimi ve kullanılan esnek materyaller sayesinde temas edilen yüzeye uygulanan baskının miktarını ve yönünü algılamak da mümkündür. Bunun için elektrotların yüzeyinde esnek bir yüzey katmanı kullanılabilir. Yapay bir deri gibi tasarlanmış esnek yüzey katmanına baskı uygulandığında altında bulunan elektrotlara olan mesafelerine bağlı olarak baskının miktarı ve yönü tespit edilebilmektedir [12]. Şekil 2.6’ da gerilim algılama elemanının büyütülmüş hali, algılama şematığı ve 8x8’ lik algılama dizisi görülmektedir.



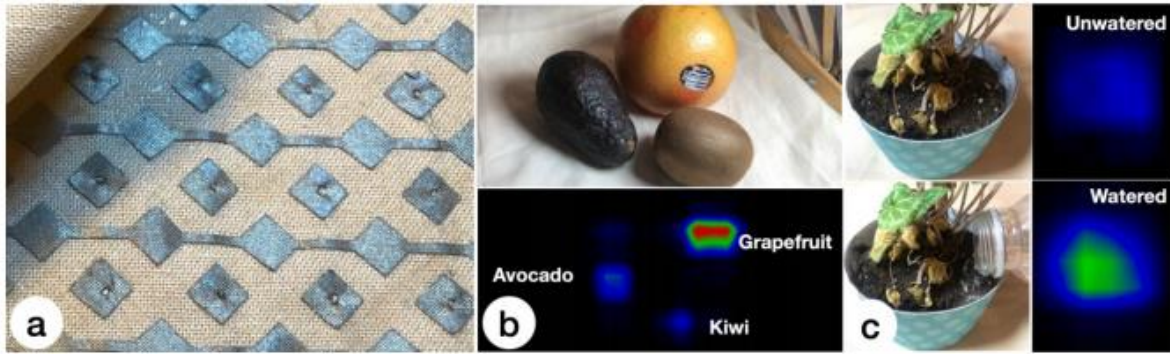
Şekil 2.6. Gerilim algılama elemanı yapısı, şematığı ve 8x8 algılama dizisi

Esnek basınç sensörlerinde, paralel plaka kapasitif algılama teknolojisi, sinyal tekrarlanabilirliği, sıcaklık duyarsızlığı ve göreceli tasarım ve yapım basitliği nedeniyle popülerdir [13]. Esnekliğin daha da artırılabilmesi için plakalar metal levhalar yerine iletken kumaşlardan seçilebilir. İletken kumaşlar arasına yerleştirilen esnek dielektrik yapı sayesinde, yumuşak basınç sensörüne harici bir kuvvet uygulandığında, sensörün dielektrik katman kalınlığı değişir, bu da sensörün kapasitansında bir değişikliğe yol açar [13]. Esnekliği sebebiyle iletken kumaşlardan oluşturulmuş kapasitif sensörler, giyilebilir teknolojilere de uygulanabilir özelliğe sahiptir. Şekil 2.7’ de bir eldivene monte edilmiş esnek kapasitif basınç sensörü görülmektedir.



Şekil 2.7. Eldiven üzerine yerleştirilmiş esnek kapasitif elektrot

Kumaş üzerine yerleştirilen iletken elektrotlar sayesinde, tekstil ürününün bir kısmı ya da tamamı sensöre dönüştürülebilir. Kumaşın esnekliği sayesinde ise çok farklı alanlara uygulaması mümkündür. Capacitivo adı verilen bir projede esnek kumaş ile oluşturulmuş kapasitif sensör masa örtüsü olarak kullanılmış ve temas tabanlı nesne tanıma gerçekleştirilmiştir. Şekil 2.8’de (a), temas halinde olduğu çok çeşitli metalik olmayan günlük nesnelere algılayabilen etkileşimli bir kumaştır. (b) Örneğin, kumaş sensörü farklı meyve türlerini algılayabilir. (c) Bir sofralık bitkinin toprağının ıslak mı kuru mu olduğunu da algılayabilir [14].

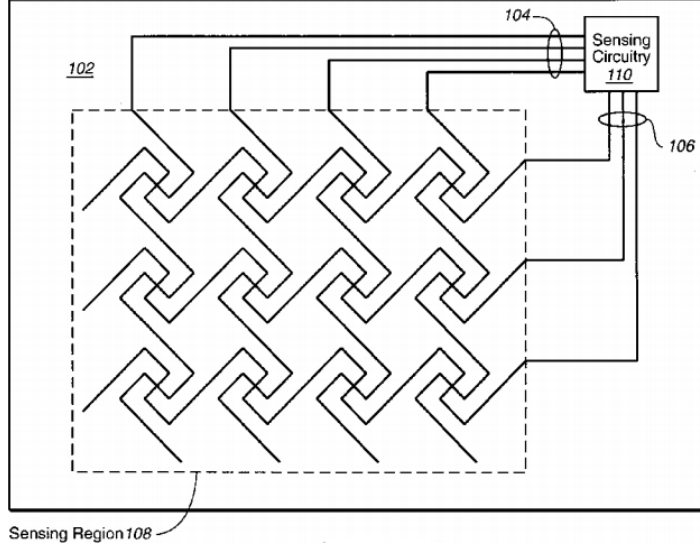


Şekil 2.8. Capacitivo yapısı ve algılama örnekleri

Bu projede de görüldüğü üzere kapasitif sensörün algılamasında, elektrotların sayısı, şekli, büyüklüğü ve elektrotlar arası mesafe büyük önem taşımaktadır. Bir kapasitif algılama cihazı geleneksel olarak iletken teller veya izlerle üretildiğinde, bu iletken izlerin bir veya daha fazlasında yerel açık devre kusurları meydana gelebilir.

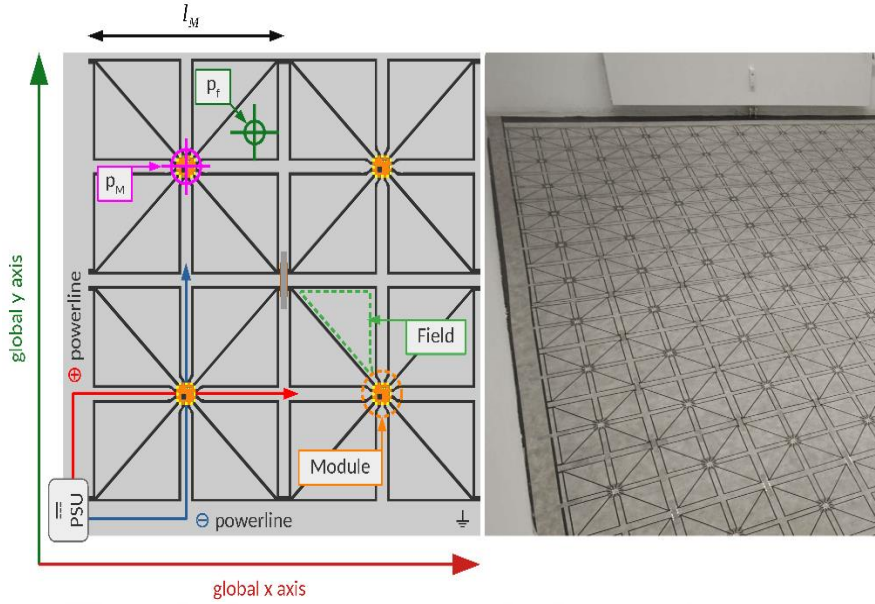
İletken sensör izinde açık devre hatası varsa, tipik olarak işlevsizdir veya kesmenin bir tarafındaki her şey onu çalıştıran devreden çıkarılır. Bu nedenle, kapasitif bir sensör cihazı

üretim sürecinin verimi, açık devre kusurları ile azalır. Üretim sürecinde kapasitif sensörün planlanmasında kullanılacak olan desenler hassasiyeti artırırken oluşabilecek bazı hatalarında önüne geçmeye olanak sağlamaktadır [15]. Şekil 2.9’ da bir dokunmatik ekran için planlanmış desen modeli görülmektedir.



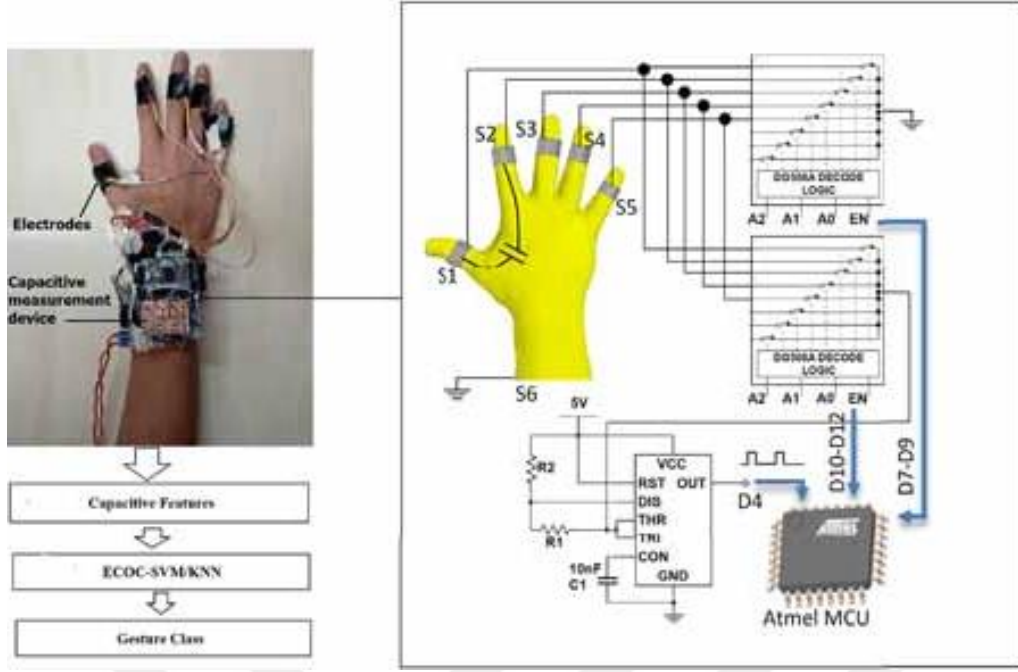
Şekil 2.9. Örnek kapasitif dokunmatik ekran cihazı

Yürüyüş kalıpları, insanın iki ayaklı hareketini sağlayan karmaşık kinematiklerin bir sonucudur ve bir kişinin sağlık durumu hakkında çok şey ortaya çıkarabilir. Bunları analiz etmek, araştırmacıların hastalıkların seyrine dair yeni bilgiler edinmeleri ve doktorların yaralanmalardan sonra iyileşme sürecini takip etmeleri için faydalıdır. Bir kişinin yürüyüşü standart yürüyüş kalıplarıyla karşılaştırılarak bazı rahatsızlıklar tespit edilebilir. Yapılan çalışmada, zemindeki ayak temaslarının zamanını ve konumunu algılayabilen kapasitif bir sensör zemini ile yürüyüş modellerini yakalamak için oluşturulmuş deneysel bir kurulumu açıklamaktadır. Bu kurulumla, 42 katılımcının farklı modlarda, diğerlerinin yanı sıra normal hızda sensör zemini üzerinde yürüdüğü bir veri seti kaydedilmiştir. Uzun kısa süreli bellek birimlerine dayalı tekrarlayan bir sinir ağı eğitilmiş ve yalnızca zemin sensörü verilerinden yürüme modunu tanımaya yönelik sınıflandırma görevi için değerlendirilmiştir. Ayrıca katılımcılardan parmak uçlarına kalkmaları istenip, test öncesi ve sonrası yürüyüşleri kaydedilerek yürüyüş modelleri oluşturulmuştur [16]. Şekil 2.10’da hazırlanan zemin sensör elektrot ızgarası görülmektedir.



Şekil 2.10.Kapasitif zemin sensör elektrotu ızgara modelinin görünümü

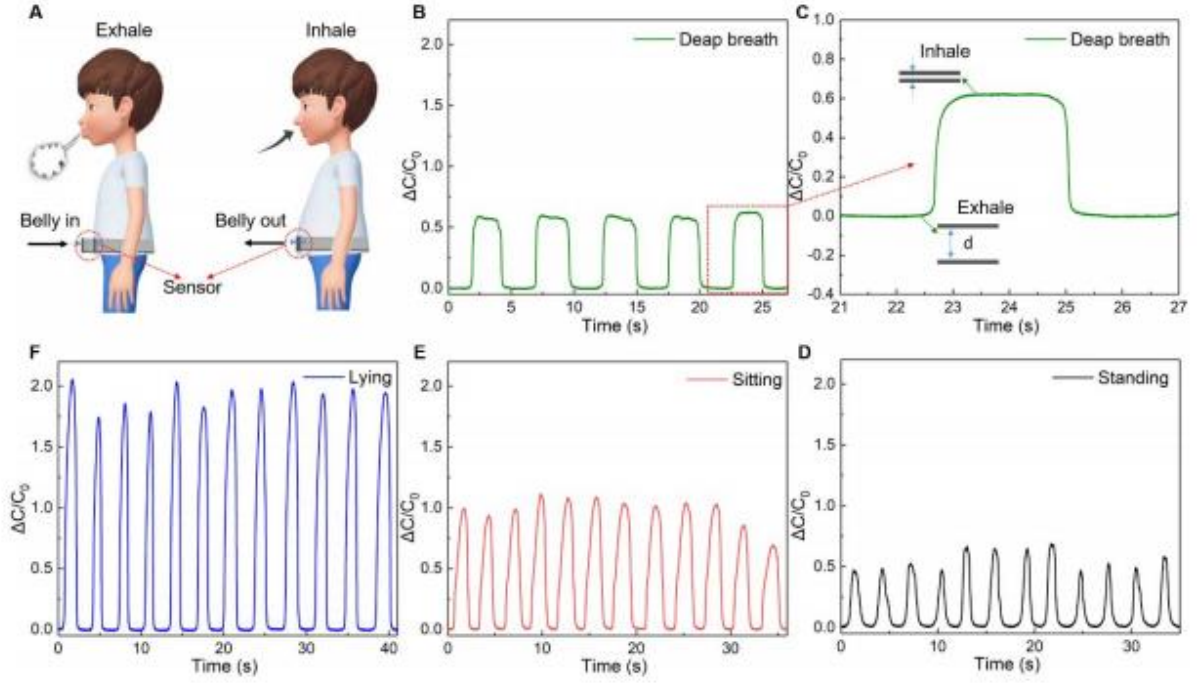
Yapılan bir çalışmada, el hareketlerini tanımak için etkili, düşük maliyetli bir kapasitif sensör cihazı önerilmiştir. Hareket tanıma teknolojisi, makinelerin insan hareketlerini anlamasını sağlar. Teknoloji, oyun ve sanal gerçeklik uygulamaları için önemli bir etkinleştirici olarak kabul edilir. Özellikle parmakların üzerine yerleştirilen elektrotlardan kapasitans değerlerini yakalamak için giyilebilir bir kapasitif sensör ünitesi prototipi tasarlanmıştır. Sensör, parmak kapasitans değerlerini yakalar. Her hareketin belirli parmak kapasitans değerleri vardır. Sensörün çıkışına bir medyan filtresi uygulanarak, jest sınıflandırma eğitimi ve test görevleri için 15 özellik çıkarılmıştır. Ardından, algılama verilerine daha fazla bilgi sağlamak için çeşitli analizler yapılmıştır. İki makine öğrenimi algoritması uygulanarak birbiri ile karşılaştırılmıştır. Katılımcı içi ve katılımcılar arası veri setleri için eğitim ve test tanıma oranları gözlemlenmiştir. Çapraz doğrulama kullanarak, katılımcı içi veriler için yaklaşık %99'luk bir sınıflandırma oranı elde edilmiştir. Her iki makine öğrenimi yaklaşımını kullanarak sıkıştırılmış özellik veri seti için %97'lik daha düşük bir tanıma oranı (ortalama çapraz doğrulama testi) elde edilmiştir [17]. Şekil 2.11' de kapasitif hareket tanımlama ünitesinin prototipi ve sistem blok şeması görülmektedir.



Şekil 2.11.Kapasitif hareket tanımlama ünitesi ve sistem blok şeması

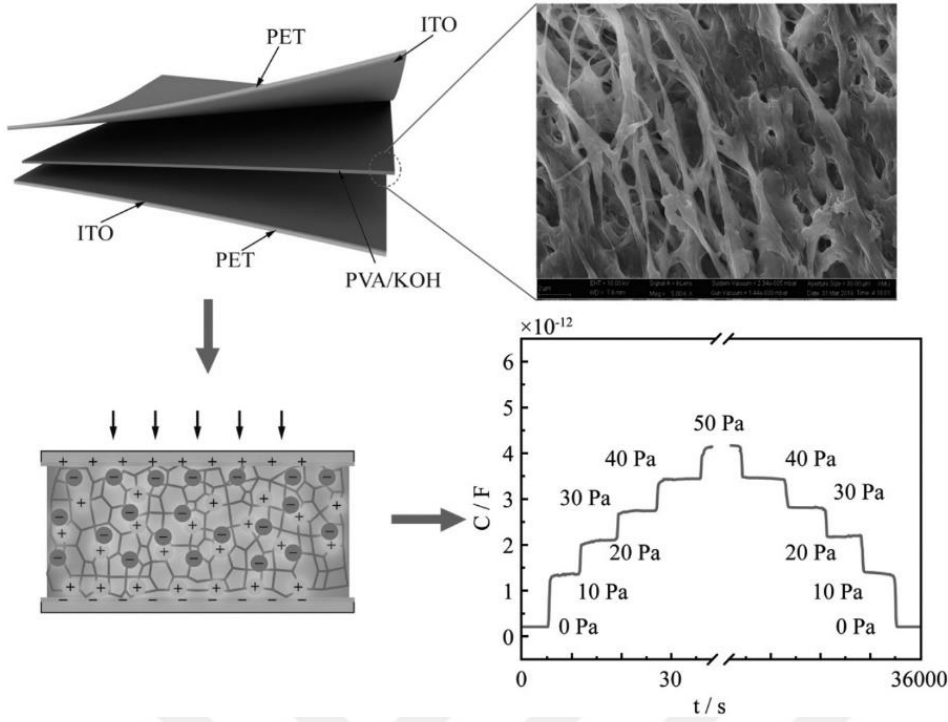
Giyilebilir sensör teknolojilerine olan ilgi de, özellikle çeşitli insan sağlığı koşullarının sürekli izlenmesi amacıyla giderek artıyor. Bununla birlikte, mevcut katı sensörler, daha düşük dayanıklılık ve zayıf konfor gibi bariz dezavantajlara sahiptir. Burada, temel bir bileşen olarak pamuklu kumaş kullanarak giyilebilir sensörleri verimli bir şekilde elde etmek için bir strateji önerilmiştir. İletken malzemeler, pamuk lifleri üzerine uyumlu bir şekilde kaplanır ve yüksek düzeyde elektriksel olarak iletken bir ara bağlantı ağına yol açar. Oluşturulan iletken ağ da giyilebilir kapasitif sensörlere imkân tanır [16].

Yapılan projede esnek, rahat ve dayanıklı özelliklere sahip tekstil tabanlı bir kapasitif sensör kanıtlanmıştır. Bu sensörün mükemmel elektriksel iletkenliği sayesinde yüksek hassasiyetli sinyal toplama kolaylığı sağlanmıştır. Kapasitans üzerine derin araştırma sonuçlarına dayanarak, iki iletken kumaş arasındaki mesafe ve açılarının etkileri kapasitif duyarlılığa katkıda bulunur. Ek olarak, tekstil tabanlı kapasitif sensör, fiziksel rehabilitasyon egzersizleri sırasında insan nefes alma, konuşma, göz kırpma ve eklem hareketlerini gerçek zamanlı olarak izlemek için başarıyla kullanılmıştır [18]. Şekil 2.12’ de sensör yapısı ve elde edilen veriler görülmektedir.



Şekil 2.12. İki iletken kumaş arasındaki mesafe ve açılara bağlı olarak kapasite duyarlılığındaki değişimler. (A) Nefes alma ve nefes verme sürecindeki genel nefes alma mekaniği. (B, C) derin nefes alma ve (D) sırasında nefes alma aktiviteleri sırasıyla ayakta, (E) oturarak ve (F) yatarak

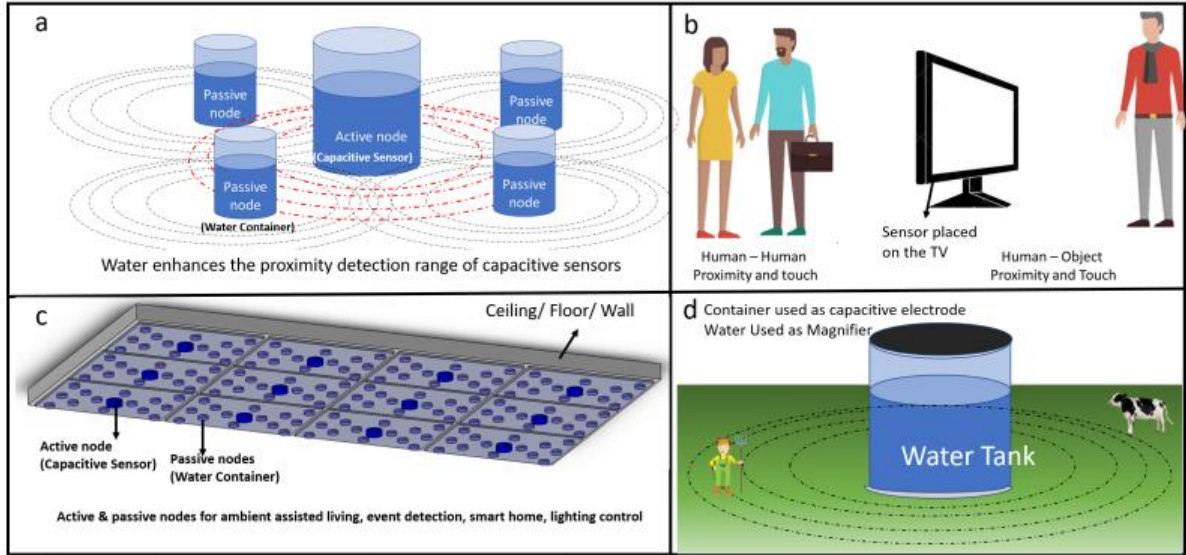
Esnek basınç sensörleri de son birkaç on yılda giderek daha fazla tanınmaktadır. Fakat üstün bir hassasiyet ve geniş algılama aralığı ile üretmek konusunda hala bir zorluk vardır. Yapılan çalışmada, gözenekli bir iyonik membrana dayalı oldukça esnek, hassas ve kapasitif bir basınç sensörü geliştirilmiştir. Sensörün algılama mekanizması, elektrotlar membran arasındaki elektrikli çift katmanlı kapasitörlere dayanmaktadır. Mikro gözenekli bu tür elastomer dielektrik tabakanın, deforme edilebilirliğini geliştirerek, hassasiyet büyük ölçüde artırılır ve algılanabilir basınç aralığı önemli ölçüde genişletilir. Geliştirilen sensörün geleneksel basınç sensörüne kıyasla, yüksek hassasiyet ve hızlı dinamik tepkiler sağladığı görülmüştür. Daha da önemlisi, sensör eğilme deformasyonuna karşı duyarsızdır ve düşük sıcaklık aralığında stabildir [19]. Şekil 2.13' de esnek basınç sensörünün yapısı ve basınca verdiği tepkinin zamana göre grafiği görülmektedir.



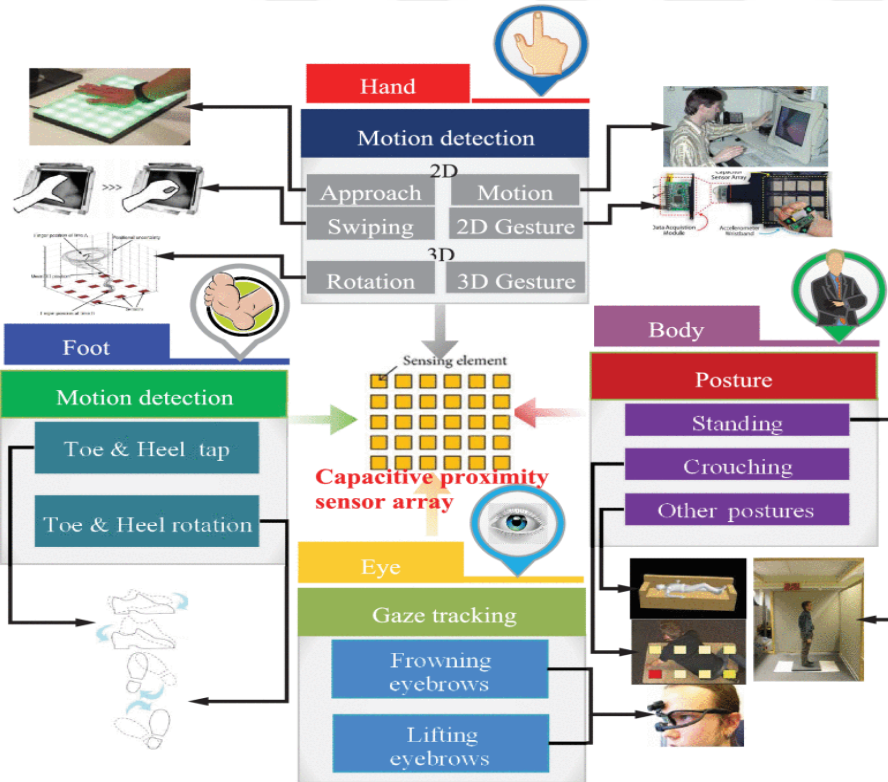
Şekil 2.13. Esnek kapasitif basınç sensörü yapısı ve uygulanan basınca verdiği tepkinin zamana göre değişim grafiği

Akıllı evlerde, ortak üretim hücreleri ve insan robot etkileşimindeki son gelişmeler nedeniyle insan varlığını algılayan sensörler artan bir ilgi gördü. Bu sensörler, çalışma sırasında güvenliği artırmak amacıyla insanların varlığına ilişkin robot farkındalığını artırmak için işbirlikçi robot hücrelerinde ve mobil robotlarda kullanılabilir. Yakınlık algılama sistemleri arasında kapasitif sensörler, düşük maliyetli olmaları ve basit insan yakınlık dedektörleri olmaları nedeniyle ilgi çekicidir, ancak algılama aralıkları sınırlıdır. Ref. [20]' de yapılan çalışmada, kapasitif bir sensörün yakınlık algılama aralığının, sensör bir su kabının yanına yerleştirildiğinde geliştirilebileceği gösterilmiştir. Ek olarak, birkaç santimetre ile ayrılmış olsalar bile, sinyalin birkaç bitişik su kabından geçebildiği görülmüştür. Bu fenomen, düşük maliyetli sensör ağlarının kurulmasında önemli bir etkiye sahiptir. Örneğin, sınırlı sayıda aktif kapasitif sensör düğümü, bir çiftlik, fabrika veya ev gibi geniş bir alanda insan veya hayvan yakınlığını algılamak için birkaç basit pasif düğümle, yani su kaplarıyla bağlanabilir. Bu etkiyi incelemek için maksimum yakınlık aralığının sensör boyutu, kap boyutu ve sıvı dolgu ile değişimi üzerine analiz yapılarak uygulama örnekleri ile gösterilmiştir. Bu etki farklı kap boyutları ve farklı sıvılarla test edilmiştir [20]. Şekil 2.14' de kapasitif sensörlerin algılama alanlarının su ile genişleme örneği görülmektedir.





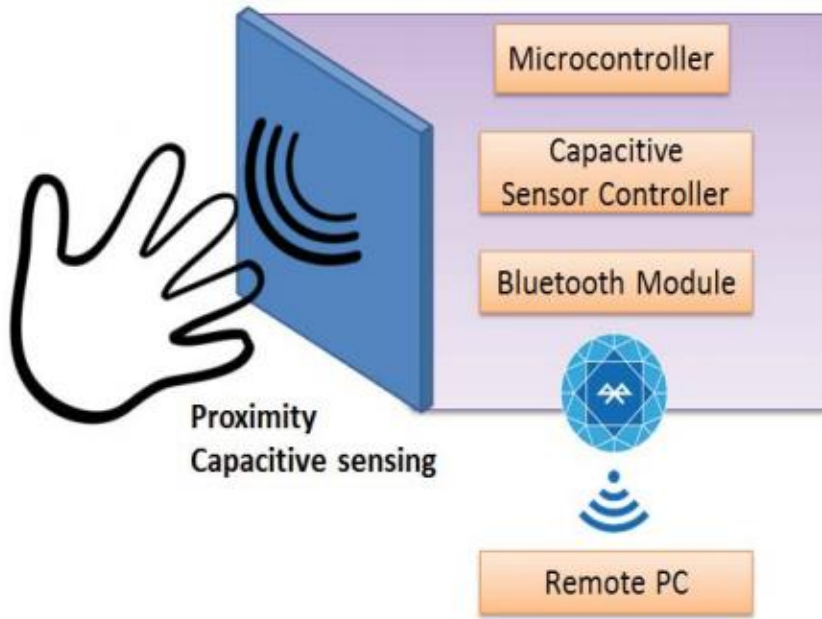
Şekil 2.14. Kapasitif sensörlerin su ile genişletilmiş yakınlık aralığı tespiti ve olası uygulamalar a) Bir aktif ve pasif düğümlerle genişlemiş algılama aralığı b) Bu kavram insan-insan, insan-nesne ve insan-robot etkileşiminde kullanılabilir c) Bir tavana yerleştirilen sensör ağının akıllı evlerde kullanımı. d) Büyük bir su deposundaki kapasitif bir sensör, insan/hayvan gözetimi ve hareket dedektörü olarak kullanılabilir



Şekil 2.15. Çeşitli vücut parçalarının eylemleri ile gerçekleşen fiziksel etkileşimlerin kapasitif algılanması

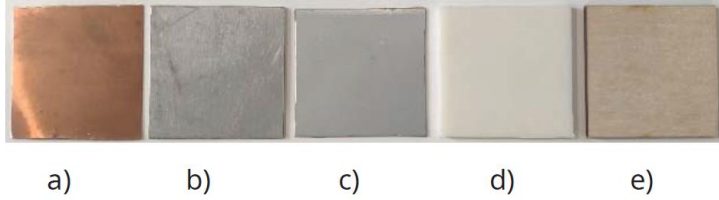
Kapasitif yakınlık sensörleri, basit tasarımları, düşük maliyetleri ve düşük tüketimleri nedeniyle her yerde bulunur. Diğer algılama yöntemleri ile karşılaştırıldığında daha fazla fiziksel niceliği ölçmek için kullanılabilir. Ye ve arkadaşlarının yaptığı çalışmada kapasitif yer değiştirme algılama kavramını tanıtmıştır. Kapasitif yer değiştirme algılama uygulamaları üç geniş kategori altında sunulmuştur. Bunlar, mesafe ölçümleri, dolaylı ölçümler ve akıllı ortamlarda gerçekleştirilen uygulamalar. Kapasitif yakınlık sensörlerinin hem algılama aralığının hem de doğruluğunun, çoklu sensör füzyonu ile geliştirilebileceği gösterilmiştir ve uygulama senaryoları, makine/derin öğrenme yaklaşımlarıyla kapsamlı olabilir [21]. Şekil 2.15’ de farklı vücut parçalarının beraber kullanımıyla fiziksel dünya etkileşimine dair bir görsel görülmektedir.

Chu ve Chang yaptıkları çalışmada, kullanıcı hareketini algılamak için Gizli Markov Modeli (Hidden Markov Model) kullanan yakınlık kapasitif sensörünü sunmuşlardır. İnsanların kronik hareketlerinin tahminine dayanan bir çalışma yapılmıştır. Hareketlerin sınıflandırması yapılarak, kullanıcıya giriş sinyaline göre olası sonuçlar oluşturulabilir. Gizli Markov Modelinin bir özelliği de olasılık kavramı trenini ve öğrenme tanımlama modelini kullanmasıdır. Bu nedenle, kullanıcı hareketini tanımlamaya yönelik Gizli Markov Modeli yöntemleri tatmin edici bir yanıtı sahiptir [22]. Şekil 2.16’ da örnek devre yapısı görülmektedir.



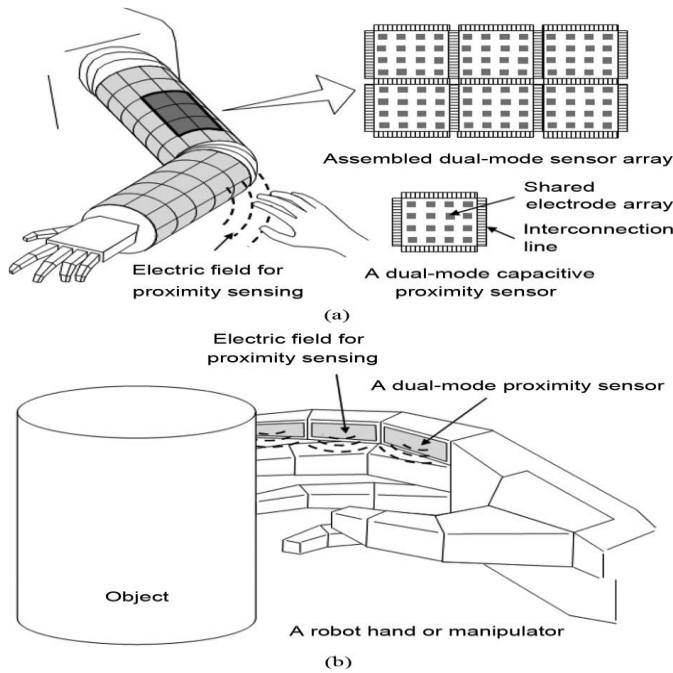
Şekil 2.16. Kapasitif sensör kartı şeması

Pavliuk ve arkadaşları tarafından yapılan çalışmada, antropomorfik (insan biçimci) bir robotun yapay dokunsal algılamasını sağlayan bir donanımın geliştirilmiştir. Bu amaçla yapılan analizler sayesinde, diğer tip robotlarda olduğu gibi antropomorfik robotların tutucularına da yerleştirilen kapasitif sensörlerin çoğunun mikroeletromekanik sistemler (MEMS) teknolojisi açısından uygulandığı keşfedilmiştir [23]. Bu çalışmada Şekil 2.17’ de görülen nesnelerin dışında su çözeltilerinin de ayırt edilebilmesi sağlanmıştır.



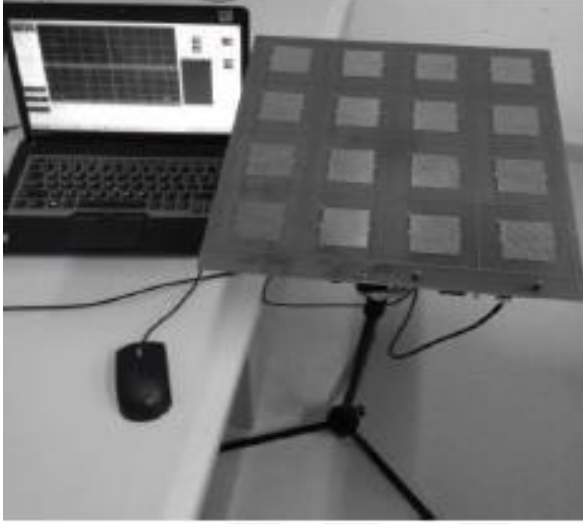
Şekil 2.17. Deneylerde kullanılan nesneler a) Bakır, b) Alüminyum, c) Çelik, d) Plastik, e) Ahşap Kaplama

Lee ve arkadaşları tarafından yapılan bir başka çalışmada ise, dokunma ve yaklaşma modlarına sahip kapasitif sensör bir robot koluna uygulanarak 17 cm’ ye kadar nesnelerin takibi yapılabilmektedir [24]. Şekil 2.18’ de robot koluna ve robot eline yerleştirilmiş kapasitif sensörler görülmektedir.

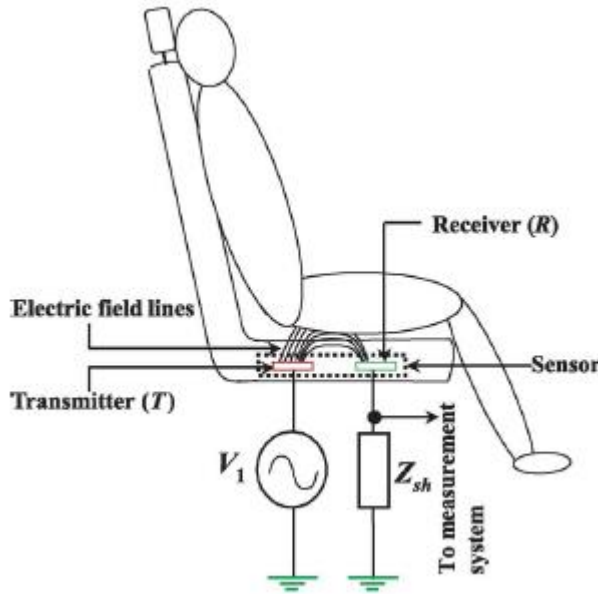


Şekil 2.18. Çift modlu dokunsal sensörün kavramsal diyagramı (a) Bir robot koluna yerleştirilmiş sensör (b) Robot eline yerleştirilmiş sensör

Ye ve arkadaşları yaptıkları çalışmada, ortalama 20 cm den az algılama mesafesine sahip kapasitif sensörleri, bir dizi halinde kullanarak algılama mesafelerini 45 cm' ye kadar el hareketlerini yakalayabilen bir sensör dizisi yapmayı başarmışlardır [25]. Şekil 2.19' da 4x4 lük sensör dizisinin prototipi görülmektedir.



Şekil 2.19. Kapasitif sensör dizisinin prototipi

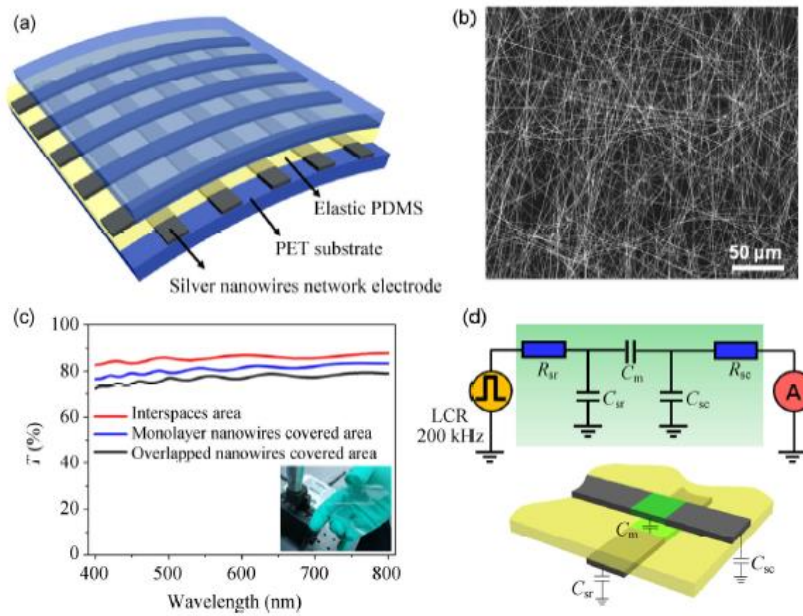


Şekil 2.20. Kapasitif koltuk doluluk sensörüne sahip otomobil koltuğunun şematik gösterimi

George ve arkadaşları, hava yastığı güvenlik sisteminin ayrılmaz bir parçası olan koltuk doluluk dedektörü üzerine bir çalışma yapmışlardır. Bu çalışmada endüktif ve kapasitif sensörleri birlikte kullanmışlardır. Sensör, elektrik alanının koruyucu etkisinden yararlanan bir yolcunun varlığını algımlarken, endüktif yakınlık özelliği, koltuğa yerleştirilebilecek iletken

nesnelerin (örneğin dizüstü bilgisayar) varlığını algılar ve güvenilir doluluk algılaması sağlamaya yardımcı olur [26]. Şekil 2.20’ de önerilen kapasitif koltuk doluluk sensörüne sahip otomobil koltuğunun resimli gösterimi görülmektedir.

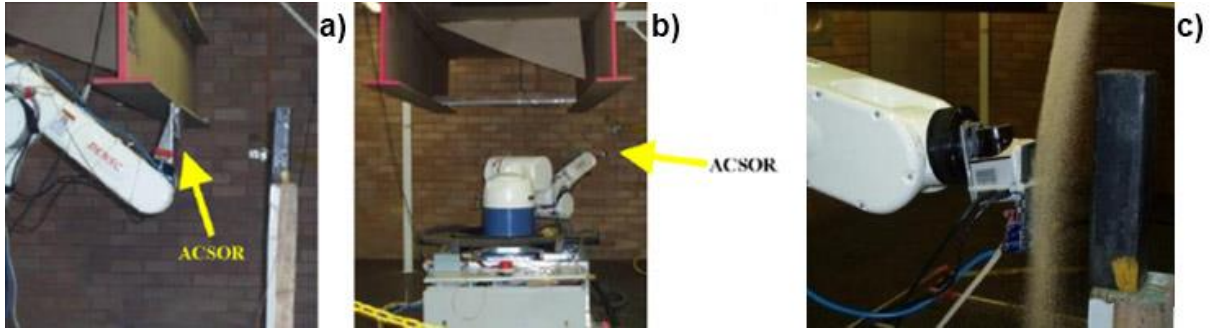
Zhang ve arkadaşları ise yaptıkları çalışmada, yakınlık ve basınç algılama yeteneğini tek bir cihazda birleştiren şeffaf, matris yapılı çift fonksiyonlu bir kapasitif sensör sunmuşlardır. Yapılan çalışmada hızlı tepki, yüksek kararlılık ve yüksek geri bildirim ile yaklaşan nesnelerin ve uygulanan basıncın kesin konum tanımlamasını gerçekleştirmişlerdir [27]. Şekil 2.21’ de sensörün yapısının ve eşdeğer devresinin karakterizasyonu görülmektedir.



Şekil 2.21. Sensörün yapısının ve eşdeğer devresinin karakterizasyonu (a) Sensörünün sandviç yapısının şematik gösterimi (b) Karşılık gelen ağın görüntüsü (c) Cihazın farklı alanlarının geçirgenlik eğrileri (d) Ölçümlerde kapasitif sensörün eşdeğer devresi

Kirchner ve arkadaşlarının yaptığı çalışma, kapasitif sensör için çok frekanslı yaklaşım kullanarak, nesne aralığı ve malzeme tipi tanımlaması yapan bir sistem sunmaktadır. Deneysel bir çalışma ile, farklı sensör sürücü frekanslarından alınan okumalardaki sapmanın ve ardışık okumalardaki varyasyonunun, birçok ortamda yaygın olarak bulunan bir dizi malzeme türünü ayırt etmek için yeterli bilgi sağladığı gösterilmiştir. Kapasitif tabanlı, nesneye nüfuz eden, malzeme tipi tanımlamasının çelik köprü bakımı için otonom bir robotik sistemle kullanılmasını hedeflenmişlerdir [28]. Şekil 2.22’ de sistemin robot koluna monte edilmiş ölçüm düzeneği görülmektedir. Şekil 2.22 a)’ da yatay yüzeyden uzaklaşırken alınan ölçüm, Şekil 2.22 b)’ de

dikey yüzeyden uzaklaşırken alınan ölçüm Şekil 2.22 c)' de ise sensör önünden kum akıtılırken alınan ölçüm şekilleri görülmektedir.



Şekil 2.22. a) Yatay yüzeyden uzaklaşırken alınan ölçüm b) Dikey yüzeyden uzaklaşırken alınan ölçüm c) Sensör önünden kum akıtılırken alınan ölçüm

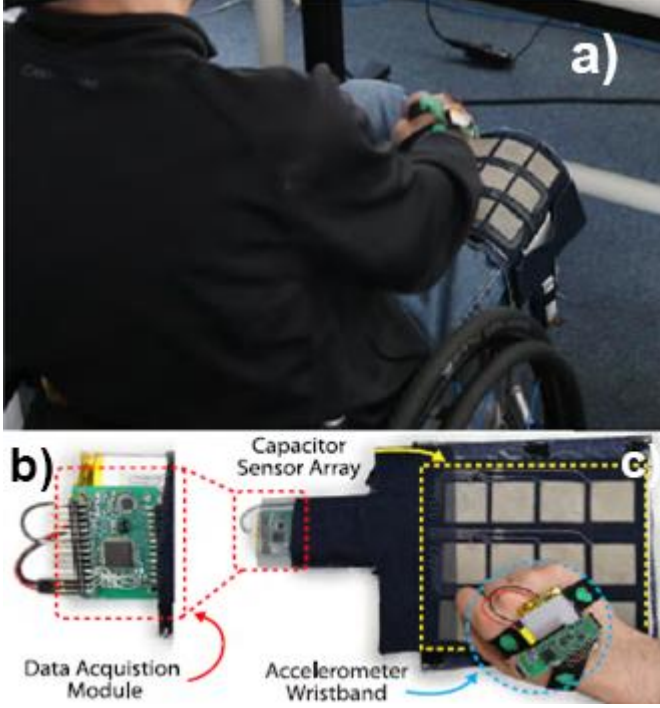
Bian ve arkadaşları yaptıkları çalışmada, akıllı bileklikler veya akıllı saatler ile kolayca tespit edilebilen el/kol hareketleri ve seçilmiş fizyolojik sinyaller gibi belirli bilgiler dışında her yerde bulunan yakın alan elektrik fenomeninin insan vücuduna etkisini keşfederek, tipik bilek veya kol ile ilişkili olmayan bilgilerin elde edilmesini sağlayan yeni bir bileklik türü yaklaşımını araştırmışlardır. Burada, ortamdaki nesnelerin vücutla ilgili elektrik potansiyeli değişimini algılayarak ortak faaliyetlerle grup çalışmalarını izleyebilen bir algılama prototipi geliştirmişlerdir [29]. Şekil 2.23' de bilekliğin ortamdaki diğer bileklikle ve sensör takılmış diğer nesnelerle etkileşimi görülmektedir.



Şekil 2.23. Bilekliğin ortamdaki diğer bileklikle ve diğer nesnelerle etkileşimi

Nelson ve arkadaşları yaptıkları çalışmada, felçli hastaların teknolojik çözümleri kullanırken, sürtünme etkileriyle ciltlerine zarar verebilecek sert kullanıcı giriş cihazları yerine kumaş kapasitif sensör dizilerini kullanan, temassız bir yakınlık hareketi tanıma sisteminin tasarımını, uygulamasını ve değerlendirmesini sunmuşlardır. Kumaş sensörler hafiftir, esnektir ve giysiler, çarşaf ve yastık kılıfları gibi gündelik kullanım öğelerine kolayca entegre

edilebilir. Hareket tanıma algoritmaları ile kullanıcıya göre kişiselleştirilmiş tanımlamalara izin verir. Sistemin, minimum kullanıcı eğitimi ve müdahalesi ile sensör konfigürasyonu ve yönlendirmesindeki değişikliklere uyum sağladığını ve yüzde 99 doğrulukla değişen karmaşıklıkta hareketleri tanıyabildiğini göstermişlerdir [30]. Şekil 2.24' de sistem prototipi görülmektedir.



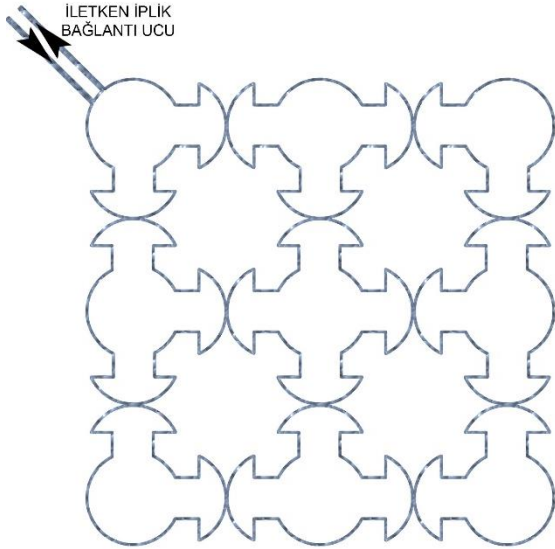
Şekil 2.24. a) Omurilik yaralanması olan bir kişi tarafından giyilen prototip sistemi b)Kapasitif sensör kartı c) İletken teller kullanılarak kot kumaşa dikilmiş sensör dizisi

## 2.2. Kapasitif Algılama Sensörlü Elektronik Devrelerin Temel Bileşenleri

Tez çalışmasının uygulaması sırasında kullanılacak donanım ekipmanlarının seçimi, sistemin kararlılığını ve verimliliğini etkileyeceğinden dolayı önemli bir yer tutmaktadır. Sistem donanımlarının seçimi sırasında en verimli olanının seçimi için farklı motorlar, güneş pilleri, sensörler ve enerjinin depolanacağı piller arasında karşılaştırma yapılmıştır.

### 2.2.1. İletken Desenli Perde

Kullanılacak perdenin kapasitif algılamada elektrot görevi yapabilmesi için iletken bir yüzeye sahip olması gerekmektedir. Bu iletken yüzeyin perde ile birlikte bükülüp eski haline gelebilmesi için kullanılacak materyalin de esnek bir yapıda olması önemlidir. Bu şartları sağlamak için iletken iplik kullanmak iyi bir seçenektir.



Şekil 2.25. Perde kumaşı üzerine iletken iplikle dokunacak desen

İletken ipliklerle oluşturulacak yüzeyin dokuma deseni, algılamanın hassasiyeti ve oluşabilecek arızaların önüne geçebilmek için doğru seçilmelidir. Bu desen oluşturulurken, perdenin mümkün olduğu kadar her noktasına ulaşabilmek amaçlanmıştır. Maliyet ve iş yükünü azaltmak için sensörün algılama mesafesini aşmayacak şekilde en az miktarda dokumaya ihtiyaç duyulacak desen modelini oluşturmak hedeflenmiştir. Ayrıca oluşabilecek açık devre durumlarında sistemin kararlılığının en asgari düzeyde etkilenmesini sağlamak için en uygun çizim oluşturulmaya çalışılmıştır. Bu hedeflerden hareketle oluşturduğumuz desen modeli Şekil 2.25' de görülmektedir [11].



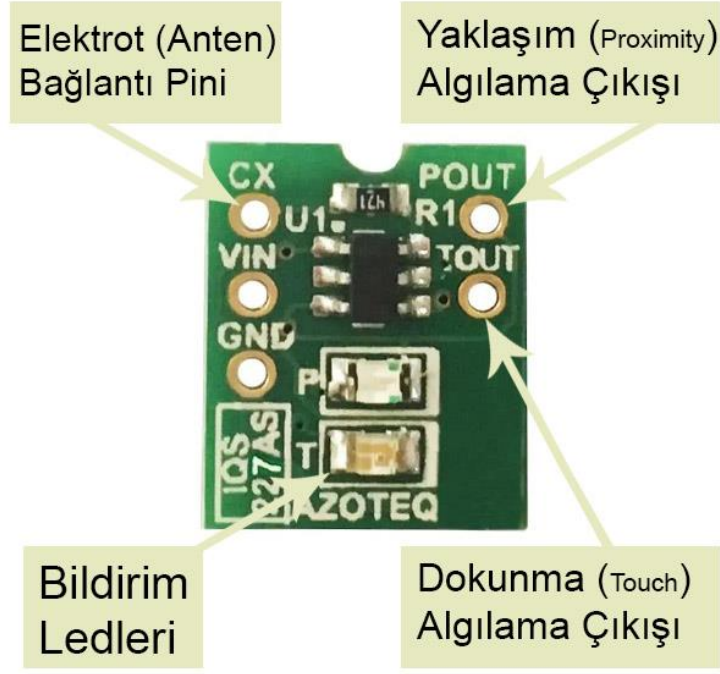
### 2.2.2. Kapasitif Sensör

Perde üzerine dokunan iletken iplikler, kapasitif sensörün algılama yapacağı elektrot görevini temsil etmektedir. Bu elektrotlardan alınan bilgiler kullanılacak devreye göre farklı değerlendirilebilirler. Kontrolü yapılmak istenen nesnenin ve durumun özelliklerine göre analog veya dijital sonuçlar üreten kapasitif sensörler tercih edilebilir.

Dijital çıkış üreten sensörler durumun veya nesnenin varlığının veya yokluğunun bilgisini, 0 veya 1 olarak dijital bilgi olarak verirler. Analog çıkış üreten sensörlerde ise 0 ve 1 gibi dijital değerlerin yanında, ara değerlerde üretebilirler. Bu sayede nesnenin mesafesi veya niteliği gibi bilgileri tahmin etmek mümkün olabilir.

Analog bilgi üreten kapasitif sensörler daha ayrıntılı bilgi verebilmesine rağmen, ölçüm yapacağı yüzeyin bulunduğu ortama ve yapısal özelliklerine bağlı değerler üretirler. Güvenlik perdesi sisteminde, perdenin açılıp kapatılırken perdenin konumuna göre üretilen kapasite miktarı değişecektir. Analog kapasitif sensörler değişen kapasite durumlarında farklı sonuçlar üreteceğinden ortaya çıkan sonuçlar yanıltıcı olabilir. Bu sebeple sistemimizde perdeye yaklaşan veya dokunan nesnelerin mesafesi veya niteliğinden ziyade varlığının bilgisini verecek, dijital çıkış üreten kapasitif sensör modeli kullanılmıştır.

Bu projede kapasitif algılama için Azoteq firması tarafından üretilen, tek antenden ölçüm yaparak, yaklaşım veya dokunmayı algılayabilen IQS 227AS entegresi kullanılmıştır. Entegre 30 cm ye kadar yakınlık algılayabilmektedir. Ayrıca 6mm plastik ve 10 mm cam üzerinden dokunmayı algılayıp buna bağlı lojik bir çıkış değeri üretebilmektedir. Entegre kendi içerisinde Otomatik Anten Ayarlama Uygulaması(ATI)' na sahiptir. Sensörü etkinleştiren uygulama ATI sayesinde elektrotların algılamasını en iyi halde tutabilmek için sürekli optimizasyon yapar. Bu optimizasyon sayesinde sensörün anten ucuna bağlı olan elektrotun özellikleri değiştiğinde 10 saniye içerisinde yeni duruma uyum sağlar. Sensör anten ucundan aldığı kapasite bilgisi sayesinde yaklaşım veya temas olduğunu algılar ve bu durumları ayrı çıkış pinlerine iletir. Şekil 2.26' da IQS 227AS kapasitif sensör kartı görülmektedir.



Şekil 2.26. Azoteq IQS 227AS kapasitif sensör kartı

Temas veya yaklaşım olarak elde edilen bu 2 çıkış değeri sayesinde, perdeye yaklaşım veya dokunma bilgisi olarak mikrodenetleyici tarafından işlenerek mobil cihaza kablosuz olarak aktarılmaktadır.

### 2.2.3. Enerji Tüketimine Göre Motor Seçimi

Yüksek lisans tez çalışması kapsamında kapasitif algılama devresinin bir uygulaması olarak tasarlanan güvenlik perdesi için kullanılacak motor için 3 farklı perde motorunun incelemesi yapılmıştır. Motorların her birinin gün içerisinde 10 cycle çalışması durumunda tüketilen toplam enerjinin hesaplaması, watt -saat cinsinden Çizelge 2.1 ve Çizelge 2.2' de verilmiştir.

Çizelge 2.1. Gün içerisinde stor perdenin çalışması dolayısıyla tüketilen elektrik enerjisi ( gece saat 01:00 dan öğlen saat 12:00 kadar)

Enerji Tüketicisi (Motor Çeşitleri)	Talep edilen Güç (W)	Miktar	Saatlik Tüketilen Enerji ( W )											
			W1	W2	W3	W4	W5	W6	W7	W8	W9	W10	W11	W12
WSERD30-B- 1.2/35	3	1								0,073	0,073	0,073	0,073	0,073
WSERD30- B- 2/35	3	1								0,127	0,127	0,127	0,127	0,127
SONESSE* 30	3	1								0,113	0,113	0,113	0,113	0,113

Çizelge 2.2. Gün içerisinde stor perdenin çalışması dolayısıyla tüketilen elektrik enerjisi ( öğlen saat 13:00 dan gece saat 24:00 kadar)

Enerji Tüketicisi (Motor Çeşitleri)	Talep edilen Güç(W)	Miktar	Saatlik Tüketilen Enerji ( <i>Watt · Saat</i> )											
			W13	W14	W15	W16	W17	W18	W19	W20	W21	W22	W23	W24
<b>WSERD30-B- 1.2/35</b>	3	1	0.075	0.075	0.075	0.075	0.075							
Bu motorun gün içerisinde tükettiği toplam güç			$\sum_{i=8}^{17} W_i = W_8 + W_9 + W_{10} + W_{11} + W_{12} + W_{13} + W_{14} + W_{15} + W_{16} + W_{17} = 0.75 (W \cdot h)$											
<b>WSERD30- B- 2/20</b>	3	1	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13							
Bu motorun gün içerisinde tükettiği toplam güç			$\sum_{i=8}^{17} W_i = W_8 + W_9 + W_{10} + W_{11} + W_{12} + W_{13} + W_{14} + W_{15} + W_{16} + W_{17} = 1.3 (W \cdot h)$											
<b>SONESSE*30</b>	3	1	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12							
Bu motorun gün içerisinde tükettiği toplam güç			$\sum_{i=8}^{17} W_i = W_8 + W_9 + W_{10} + W_{11} + W_{12} + W_{13} + W_{14} + W_{15} + W_{16} + W_{17} = 1.20 (W \cdot h)$											

Bu verilerin sonucunda motorların günlük ihtiyaç duydukları toplam güç değerleri;

$$\text{WSERD30- B- 1.2/35 motoru için} \quad W_{\text{WSERD30- B- 1.2/35}} = 0.75 \text{ (W} \cdot \text{h)};$$

$$\text{WSERD30- B- 2/20 motoru için} \quad W_{\text{WSERD30- B- 2/20}} = 1.30 \text{ (W} \cdot \text{h)};$$

$$\text{SONESSE*30 motoru için} \quad W_{\text{WSERD30- B- 2/20}} = 1.20 \text{ (W} \cdot \text{h)}$$

Bu hesaplamalar yapılırken aşağıdaki hususlar dikkate alınmıştır.

Bu motorların teknik özelliklerinden hareketle, dönel silindir çapı 25 mm olan WSERD30- B- 1.2/35 tipi motor için açısal hız değerinin  $\omega_1 = 35 \text{ rpm}$ , dönel silindir çapı 25 mm olan WSERD30- B- 2/20 tipi motor için  $\omega_2 = 20 \text{ rpm}$  ve dönel silindir çapı 28 mm olan SONESSE\*30 tipi motor için  $\omega_3 = 20 \text{ rpm}$  olduğu dikkate alınır, bir tam tur için birinci motorun  $T_1 = \frac{60}{35} = 1.714 \text{ s}$  ikinci motorun  $T_2 = \frac{60}{20} = 3 \text{ s}$  ve üçüncü motorun  $T_3 = \frac{60}{20} = 3 \text{ s}$  çalışması gerekmektedir.

Öte yandan her bir motorun bir tam tur yapması durumunda çizdiği yörüngenin uzunluğu  $l_i = 2\pi R_i$  formülünden hareketle  $l_1 = 2\pi R_1 = 2 * 3.14 * 1.25 = 7,85 \text{ cm}$ ,  $l_2 = 2\pi R_2 = 2 * 3.14 * 1.25 = 7,85 \text{ cm}$  ve  $l_3 = 2\pi R_3 = 2 * 3.14 * 1.4 = 8,792 \text{ cm}$  olarak belirlenir. Eğer stor perde boyunun 200 cm olduğu düşünülürse o halde motorların bu perdeyi tam sarması için uygun olarak  $N_1 = \frac{200}{7,85} = 25,477 \approx 26 \text{ tur}$ ,  $N_2 = \frac{200}{7,85} = 25,477 \approx 26 \text{ tur}$  ve  $N_3 = \frac{200}{8,792} = 22,74 \approx 23 \text{ tur}$  dönmesi gerekmektedir.

Bu koşullarda birinci motorun bir tam cycle (stor perdenin tam açılması ve toplanması için geçen süre) işlem için harcadığı zaman süresi  $t_1 = 2 \cdot N_1 \cdot T_1 = 89.128 \text{ s} \approx 1,49 \text{ dakika}$ , ikinci motorun bir tam cycle işlem için harcadığı zaman süresi  $t_2 = 2 \cdot N_2 \cdot T_2 = 152,86 \text{ s} \approx 2,55 \text{ dakika}$  ve üçüncü motorun bir tam cycle işlem için harcadığı zaman süresi  $t_3 = 2 \cdot N_3 \cdot T_3 = 138 \text{ s} \approx 2,3 \text{ dakika}$  olarak belirlenir.

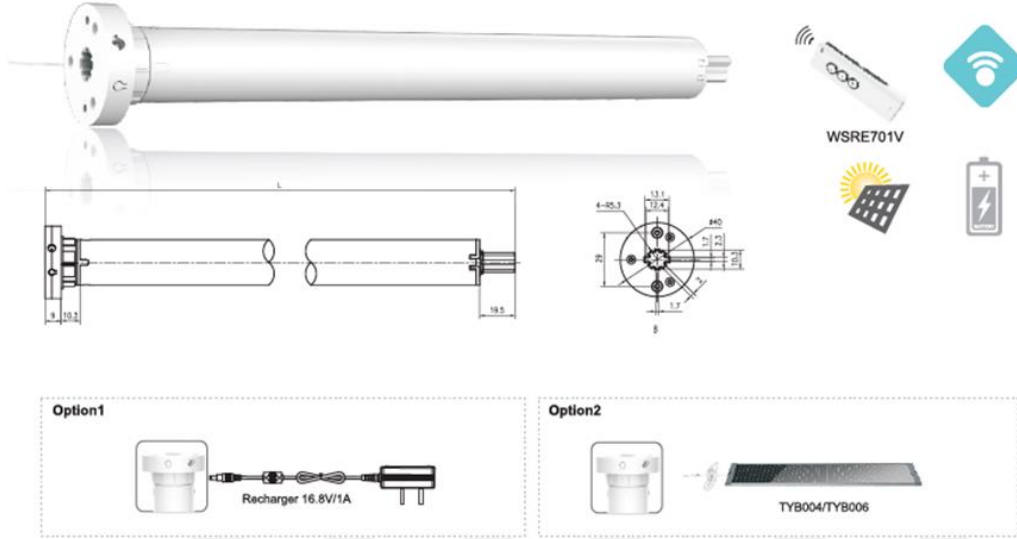
Eğer bu motorların bir saatte harcadığı ortalama gücün 3 Watt olduğu dikkate alınır o halde gün içerisinde gerçekleşmesi düşünülen 10 tam cycle işlemi için harcanan enerji miktarı uygun olarak;

$$\text{WSERD30- B- 1.2/35 motoru için} \quad W_{\text{WSERD30- B- 1.2/35}} = 0.75 \text{ (W} \cdot \text{h)},$$

WSERD30- B- 2/20 motoru için  $W_{WSERD30-B-2/20} = 1.30 (W \cdot h)$  ve

SONESSE\*30 motoru için  $W_{SONESSE*30} = 1.20 (W \cdot h)$  olduğu sonucuna varırız.

Görüldüğü üzere, proje kapsamında tasarlanan perde için WSERD30-B- 1.2/35 motorunun kullanılması en iyi sonucu verecektir. Kullanılacak motor ve ekipmanları Şekil 2.27' de görülmektedir.



Şekil 2.27. WSERD 30-B Stor perde mekanizması

#### 2.2.4. Güneş Panellerinin Seçimi ve Hesaplanması

Teknolojinin hızlı gelişimine bağlı olarak yeni nesil fotovoltaik sistemlerde gün geçtikçe verimin yükselmesi, maliyetin düşmesi ve buna bağlı olarak enerji ihtiyacının karşılanması, fotovoltaik sistemlerin kullanımına olan ilgiyi önemli ölçüde artırmıştır. Güneş pillerinin (GP) birincil güç kaynağı olarak kullanıldığı otonom güç kaynağı sistemleri(OGKS), yaşamın çeşitli alanlarında giderek daha fazla kullanılmaktadır.

Güneş pilleri tabanlı otonom güç kaynağı sistemlerinin tasarımı ve onların sistemde çalışmaları esnasında bir takım problemler ortaya çıkmaktadır. Bu tür problemlerin çözümünde meydana gelen olayların fiziksel mekanizmasını anlamak için simülasyon (benzetim) yöntemleri yaygın olarak kullanılmaktadır. Tanımlanan koşullar doğrultusunda otonom güç kaynaklı bir sistemde ihtiyaç duyulan güç balansını (dengesini) temin etmek için, benzetim modelinden hareketle tasarım aşamasında güneş pili güç değeri ve akü pili kapasite değerleri doğru bir biçimde belirlenebilir. Ayrıca, benzetim modeli otonom güç kaynaklı bir sistemde

çalışma esnasında sistemin bileşenlerinde (güneş pilinde, akü pilinde ve sistem kontrol devresinde) meydana gelen değişimleri belirlemeye olanak sağlar.

Böylece, otonom güç kaynaklı bir sistemin benzetim modelini oluşturmak için sistemi oluşturan tüm bileşenlerinin (güneş pili, akü pili, yük ve mikro denetleyici) benzetim modelinin belirlenmesine ihtiyaç duyulmaktadır.

Bireysel araştırmacıların çalışma konusu olan güneş enerjisini kullanma sorunu, günümüzde tüm kamuoyunun yakın ilgisini çekmektedir. Güneş enerjisinden elektrik üretimi (Otonom güç kaynağı sistemleri) bugün hemen hemen tüm dünyada kullanılmaktadır ve bu konuya olan ilgi her geçen gün artmaktadır.

#### **2.2.4.1. Fotoelektrik Tesisat Yapısı Sentezi**

Güneş pilleri tabanlı otonom güç kaynağı sistemlerini hesaplamak için güneş modüllerinin nominal gücünü, sayısını, akü kapasitesini, inverter gücünü ve şarj-deşarj kontrolörünü belirlemek gerekir. Ayrıca, otonom güç kaynağı sistemlerinin kapasitesini hesaplamak için gerekli veriler şunlardır: coğrafi konum, her bir elektrik tüketicisinin toplam kapasitesi ve yaklaşık çalışma süresi.

Güneş pilleri tabanlı otonom güç kaynağı sisteminin(OGKS) ana bileşenleri şunlardır:

1) Güneş pili (GP) - birkaç kombine fotoelektrik dönüştürücü (güneş pilleri) - güneş enerjisini doğrudan doğru elektrik akımına dönüştüren yarı iletken bir aygıttır.

2) Şarj kontrolörü, GP ile akümülatör (AP) arasında bir ara bağlantı olan ve asıl görevi akünün kontrollü şarj-deşarjını gerçekleştirmek olan bir cihazdır.

3) Akü Pili, otonom güç kaynağı sisteminin bir bileşenidir, elektrik gücünü depolamaya ve ihtiyaca göre tüketiciye aktarmasını sağlar.

4) Gerilim çevirici (Inverter) - sabit bir gerilimi 50 Hz frekansla 220 Voltluk alternatif bir gerilime dönüştürmenize izin veren bir cihaz.

Çalışmanın amacı, uzaktan kontrollü kapasitif algılama özellikli motorize stor perde sistemin kesintisiz ve güvenilir çalışması için ihtiyaç duyulan elektrik enerjisini hesaplamaktır. Burada ihtiyaç duyacağımız sistemde, normal standart bir fotoelektrik tesisat gereksinimlerinde sadece gerilim çevirici (inverter) sistemine ihtiyaç duyulmamaktadır. Çünkü sistemimizin

ihtiyaç duyduğu gerilim seviyesi güneş panelinin şarj ettiği akünün gerilimi ile aynıdır ve doğru akımla çalışmaktadır. Yani aküdeki gerilimin alternatif akıma çevrilip yükseltilmesine gerek yoktur.

#### 2.2.4.2. Güneş Pili Seçimi

Güneş pili (GP) seçiminde çizelge 2.3’ de verilen bilgilerin istatistiksel analize istinaden, bir ön değerlendirme yapılacaktır. Birinci fotoelektrik dönüştürücü grubu, ikinci ince film GP olan kristal GP’ yi içerir.

Çizelge 2.3. Güneş pillerinin teknik parametrelerine göre istatistiksel analizi

Güneş pili tipleri	IKD	UAD	Iopt	Uopt	Pmax	ζ	η
C-Si	42,2	0,672	40,4	0,59	23,85	0,842	24
AsGa	28,2	1,034	27,422	0,92	25,826	0,886	26
poly-Si	38,1	0,644	36,409	0,564	20,54	0,837	20,5
a-Si	19,4	0,723	18,619	0,64	11,916	0,85	11,9
CuInGaSe2	35,7	0,66	34,120	0,58	19,791	0,84	19
CdTe	25,9	0,726	24,882	0,643	15,995	0,851	16

Monokristalli silisyum tabanlı yapıların üretimi teknolojik olarak karmaşık ve pahalı bir işlemdir. Bu nedenle ekonomik açıdan daha uygun olan, amorf **a-Si: H** alaşımları, galyum arsenit ve polikristal yarı iletkenler gibi malzemeleri içeren güneş pilleri kullanılmasına dikkat edilir. Bu projede otonom güç kaynağı sisteminin hesaplanması için PLX-20146 polikristalin GP seçilmiştir. PLX-20146 GP’ nin teknik parametreleri Çizelge 2.2.4.2.2’ de verilmiştir.

Çizelge 2.4. PLX-20146 GP’ nin teknik parametreleri

Güneş pili tipi	IKD (A)	UAD (V)	I (A)	U (V)	P <sub>max</sub> (W)
PLX-20146	0,27	14,4	0,25	12	3



Bir günde bir güneş pili tarafından üretilen elektrik enerji miktarı (2.1) ifadesindeki formülle bulunur:

$$W_{GP} = K \cdot P_{GP} \cdot t_1 = 4,18 * 0,003 * 0,0248 \approx 0,311 \text{ W} \cdot \text{h} \quad (2.1)$$

Bu ifadede  $K$  ortalama radyasyon katsayısı ( Türkiye için  $K = 4,18 \frac{kWh}{m^2}$  ),  $t_1$ - ise birinci motorun bir tam cycle işlem için harcadığı zaman süresidir (  $t_1 \approx 1,49 \text{ dak} = 0,0248 \text{ saat}$  ).

Bu koşullarda, yük olarak WSERD30- B- 1.2/35 motoru düşünülürse, o halde otonom güç kaynağı sisteminin çalışması için gerekli güneş paneli sayısının hesaplanması (2.2) ifadesindeki formüle belirlenecektir.

$$N_{GP} = \frac{W}{W_{GP}} = \frac{0,75}{0,311} = 2,41 \text{ adet} \quad (2.2)$$

Eğer güneş paneli sayısını üst sınıra doğru yuvarlayacak olursak ( $N_{GP} \approx 3$ ) o halde güneş panelinin bir gün içerisinde 10 tam cycle işlem için ürettiği enerji (2.3)ifadesindeki biçimde belirlenecektir.

$$W = W_{GP} * N_{GP} * 10 = 0,311 * 3 * 10 = 9,33 \frac{W \cdot h}{gün} \quad (2.3)$$

### 2.2.5. Akü Pillerinin Seçimi ve Kapasitelerinin Hesaplanması

Burada Akü Pili (AP) seçimine ilişkin durumlar analiz edilecektir. İstatistiksel analize istinaden akü pillerinin genişletilmiş matris özelliklerini içeren bilgiler 6 farklı akü pil türleri için Çizelge 2.2.5' de verilmiştir. Bu çizelge de aşağıdaki hususlara dikkat edilmelidir.

Akünün iç direnci, her bir elemanın iç direncine, koruma devresinin tipine ve aküdeki eleman sayısına bağlıdır. Li-İon ve lityum polimer pillerin koruma devresi onların iç dirençlerini ortalama olarak 0,1 Ohm artırır;

Batarya ömrü, servis bakımın düzenli olmasına ve tedavi döngülerinin (tam periyodik boşalma ve şarj işlemleri) kullanımına bağlıdır; Servis ömrü deşarj derecesine bağlıdır - kısmi deşarjlarda tam deşarjlardan daha uzundur;

Nikel-kadmiyum (Ni-Cd) ve nikel metal hidrit (Ni-MH) pillerin en yüksek boşalma akımına şarj işleminden hemen sonra izin verilir. Kendiliğinden boşalma nedeniyle, Ni-Cd piller şarj olduktan sonraki ilk 24 saat boyunca kapasitelerinin % 10'unu kaybederler, daha sonra kapasitedeki düşüş her 30 günde bir % 10'dur. Kendiliğinden boşalma sıcaklıkla artar;

Lityum-iyon ve lityum-polimer pillerin içine yerleştirilmiş bir koruma devresi, ayda yaklaşık % 3 oranında enerji tüketir; nikel-kadmiyum ve nikel-metal hidrit pil hücreleri üzerindeki voltajın tipik değeri boş moddayken 1.25 V iken, yük altında ise bu değer - 1.2 Volt 'tur. Nikel - kadmiyum piller en küçük şarj süresine sahiptir. En yüksek yük akımına olanak sağlayan bu piller, en düşük (fiyat/ömür) oranına sahip olup, doğru çalışma şartlarının tam olarak yerine getirilmesinin bu piller için kritik öneme sahip olduğu bilinmektedir.

Bu çalışmada sistemin kesintisiz ve güvenilir bir biçimde çalışmasını temin etmek amacıyla Ni - MH tipi akü pili kullanılmıştır.

Çizelge 2.5. Akü pil özellikleri

Özellikler	Akü Pil türleri					
	Ni-Cd	Ni-MH	Kurşun-asitik	Li-İyon	Li-İyon Polimerik	Jel
Enerji yoğunluğu, W / kg	45...80	60...120	150	110...160	100...130	180
İç direnç, mOhm	100...20(6V)	200...300 (6V)	<100 (12V)	150...200 (7.2V)	150...200(7.2V)	<100 (12V)
Kapasite% 80 oranında düşene kadar şarj / deşarj döngüsü sayısı	1500	300...500	200...300	500...1000	300...500	700
Hızlı şarj süresi, h	1	2...4	8...16	2...4	2...4	3,5
İzin Verilen Aşırı Yük	Orta	Düşük	Yüksek	Çok düşük	Düşük	Düşük
Oda sıcaklığında bir ayda kendiliğinden boşalma,%	20	30	5	10	10	3
Hücredeki voltaj, V	1,25	1,25	2	3,6	3,6	2
C Kapasitesine göre yük akımı :- tepe değer- en kabul edilebilir	20C (1C)	5C(0,5C)	5C(0,2C)	>2C(1C)	>2C (0,2C)	5C(0,2C)
Çalışma sıcaklığı aralığı, ° C	-40...60	-20...60	-20...60	-20...60	-20...60	-20...60
Üretim başlangıç yılı	1950	1990	1970	1991	1999	2000

Akü pil kapasitesi (2.4) ifadesi ile belirlenir

$$C_{AP} = \frac{W}{U} (1 + k_1) \quad (2.4)$$

Burada  $U$  - pilin sabit voltajı ve  $k_1$ - ise akü pilinin şarj- deşarjı kaybı faktörü olup  $k_1 = 0,3$  tür.

Böylece akü pil kapasitesi ;

$$C_{AP} = \frac{9,33}{12}(1 + 0,3) = 1,02 \text{ A} \cdot h \quad (2.5)$$

Tasarlanan sistemin kesintisiz çalışması için akü pil kapasitesi  $C_{AP} = 2000 \text{ mAh}$  olan 6V 2000 mAh Ni-MH tipi bir pil seçilmiştir.

### 2.2.6. Şarj Kontrol Ünitesinin Hesaplanması

6V 2000 mAh Ni-MH tipi pil, nominal kapasitenin% 10'u kadar bir akımla şarj edilir. Akü şarj akımı değeri aşağıdaki formülle belirlenir;

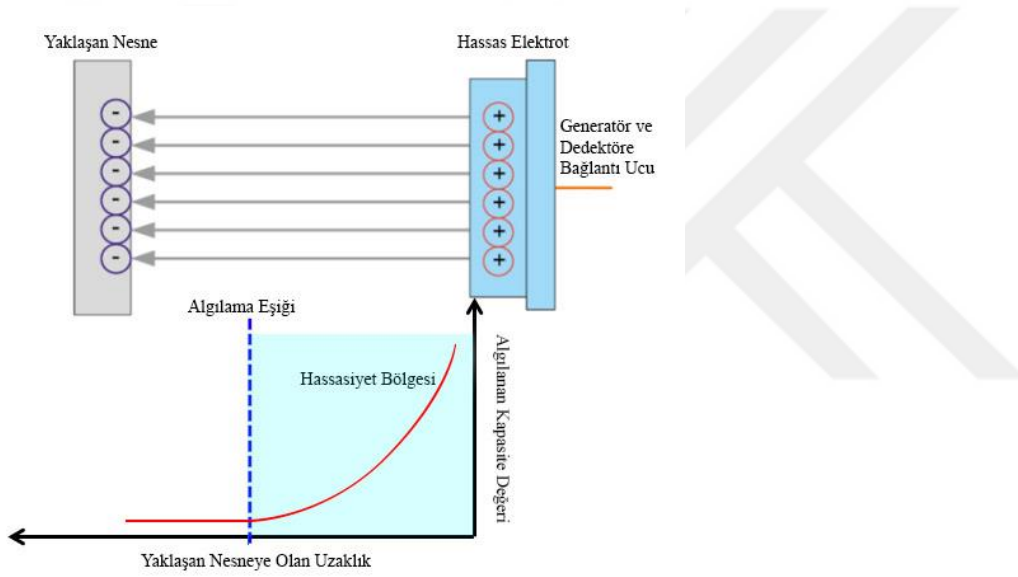
$$I_{AP} = 0,1 * C_{AP} = 0,1 * 2000 \text{ mA} = 200 \text{ mA} \quad (2.6)$$

Daha önce de açıklandığı gibi, bu çalışmada AC gerilime ihtiyaç olmadığı için inverter hesabı yapılmamıştır.

### 3. KAPASİTİF ALGILAMA SENSÖRLERİ İHTİVA EDEN ELEKTRONİK DEVRELERİN TASARIMI VE MATEMATİKSEL MODELLENMESİ

#### 3.1. Kapasitif Algılama Sensörleri İhtiva Eden Elektronik Devrelerin Temel Bileşenleri

Yaklaşan bir nesnenin kapasitif olarak algılanabilmesi için, kapasite değişimini algılayabilecek bir elektronik devreye ve iletken bir elektrotun algılama yapılmak istenen yüzeye yerleştirilerek bu devreye bağlanmasına ihtiyaç vardır. Polyester tabanlı esnek bir tekstil perde üzerinde iletken ipliklerle oluşturulmuş kapasitif algılama elektrot sistemi sembolik olarak şekil 3.1’de verilmiştir.



Şekil 3.1. Kapasitif algılama sensörünün sembolik gösterimi

Yaklaşan nesne algılama kapasitesinin hassas bölgesine girdikten sonra, nesnenin algılanmasını gerçekleştiren elektronik devre bileşenleri blok şema şeklinde şekil 3.2’de verilmiştir.



Şekil 3.2. Kapasitif Algılama Devresinin temel bileşenleri

Kapasitif algılama sensörleri ihtiva eden güvenlik sistemlerinin temel çalışma prensibi, şarj sırasında kapasitör plakalarından birinde ( hassas elektrotta) biriken elektrik yükünün değişiminin belirlenmesi (ölçülmesine) prensibine dayanır. Bu durumda sensöre yaklaşan herhangi bir nesne, kapasitörün ikinci plakasını oluşturmaktadır. Simülasyon için, "toprağa" bağlı olarak gösterilir, ancak bu gerekli değildir.

### **3.2. Kapasitif Algılama Sensörleri İhtiva Eden Elektronik Devrelerin Matematiksel Modellenmesi**

Modelleme, gerçek bir nesnenin fiziksel veya soyut bir analog nesne (model) ile değiştirilmesi, bu analogun özelliklerinin incelenmesi ve elde edilen sonuçların orijinal nesneye aktarılmasına dayanan bir araştırma yöntemi olup, modelin doğasına bağlı olarak, fiziksel modelleme ve matematiksel modelleme olarak ayırt edilir. Genel durumda, bir matematiksel model genellikle, belirli koşullar altında gerçek bir nesnenin davranışını gerekli doğrulukla yansıtan ve bu nesnenin ilgilenilen tüm özelliklerini belirlemeye izin veren herhangi bir matematiksel açıklama olarak anlaşılır [31].

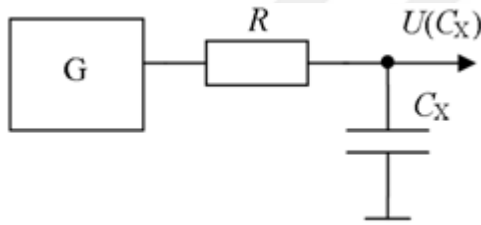
Teknolojinin ve özellikle elektronik sanayinin günlük ve çok hızlı değişimine bağlı olarak gelişen ve değişik teknik problemlerin çözümünde yaygın olarak kullanılan çeşitli elektronik devre sensörlerinin kullanımına olan talep her geçen gün artmaktadır. Dolayısıyla, değişik teknik problemlerin çözümünde, önceden belirlenmiş bazı özelliklerin temin edilebilmesi ve bu özellikler üzerine etki eden temel faktörlerin (ortam koşullarının) belirlenmesi önem arz etmektedir.

Bu tez çalışmasında, kapasitif algılama sensörleri ihtiva eden elektronik devrelerin oluşturulması ve matematiksel modellenmesi, tez çalışmasında belirlenen hedefe varmak için çözülmesi ön görülen temel problemlerden biri olarak incelenmiştir.

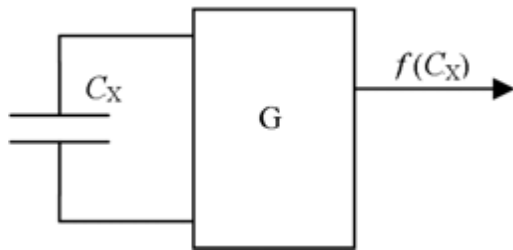
Günümüz koşullarında, bir kapasitif dönüştürücünün kapasitans değerini bulmak için üç ana yaklaşım vardır. Bu yöntemlerden en basit olanı, eşdeğer devresi Şekil 3.3' de gösterilen voltaj bölücünün çıkışındaki voltajı ölçmektir. Bu devrede G jeneratörü sinüzoidal bir voltaj üretir. Bu yöntemin uygulanması sonucu elde edilen çözümün dezavantajı, çıkış voltajının kapasitans değerine bağımlılığının doğrusal olmamasıdır. Bu hususa ek olarak, diğer bir dezavantaj ise, kapasitans dönüştürücüsünü şöntleyen kaçak direnç etkisine karşın bu yöntemin

sergilediği kararsızlıklardır. Bu nedenle, ağırlıklı olarak çoğu kapasitif sensör devrelerinde,  $C_x$  - algılama kapasitansı, G-jeneratörün frekans ayar elemanı olarak paralel veya seri salınım devresine veya bir osilatörün pozitif geri besleme devresine bağlanır.

Ölçüm doğruluğunu iyileştirmek ve sensörün duyarlılığını (hassasiyetini) artırmak için, pratikte genellikle doğrudan bir frekans ölçümü değil, çeşitli fark şemaları kullanılır. Bu durumda algılama kapasitansı, referans ve ölçüm osilatörlerinin frekansları toplandıktan sonra vuru frekansı ile veya referansa göre ölçüm darbesinin görev döngüsü değiştirilerek belirlenir. Ancak bu tür çözümlerin tüm varyantlarında parazitik dirençlerin etkisinden kurtulmak tamamen imkânsızdır. Ek olarak, her durumda, ölçülen kapasite ile bilgilendirici parametre arasında doğrusal olmayan bir ilişki vardır. Empedans ölçerlerde parazit direncinin etkisini ortadan kaldırmak mümkündür. Örneğin, Şekil 3.4 'de gösterilen devre için parazitik direncin etkisini ortadan kaldırmak için, devrede çıkış voltajının **genlik** ve aynı zamanda **fazında** ölçülmesi gerekiyor. Bilindiği üzere bu tür çözümler çok daha karmaşıktır ve yakınlık algılama sensörleri gibi basit cihazlarda uygulanmasına gereksinim duyulmamaktadır [10].



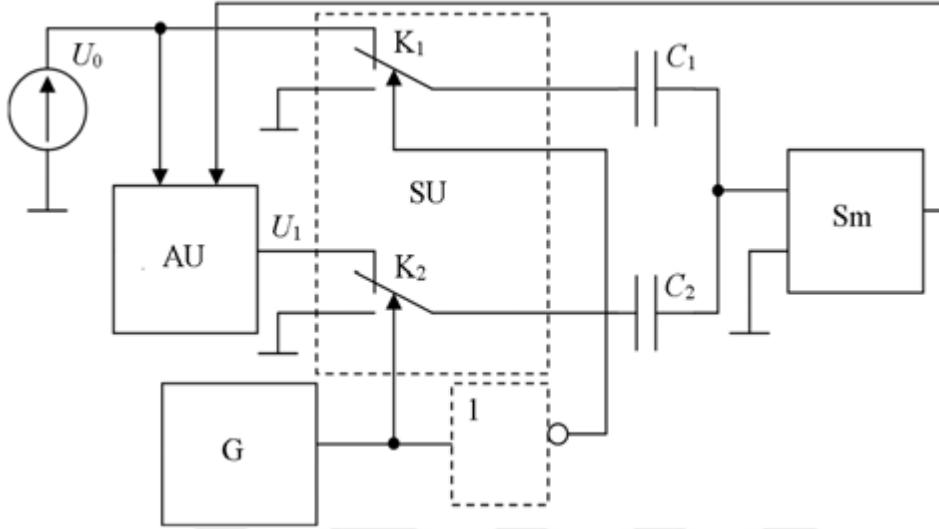
Şekil 3.3. RC tabanlı gerilim bölücü devrelerinde kapasitif sensörlerle bilgi sinyali oluşturma şemasının sembolik gösterimi



Şekil 3.4. Kapasitif sensörlü empedans ölçer devrede bilgi sinyali oluşturma şematik gösterimi

Bu nedenle, parazit direncinin kararsız olduğu, geniş bir aralıkta değiştiği ve değerinin belirlenmesinin gerekmediği durumlarda, algılama kapasitansı, geçici süreçlerin parametreleri

cinsinden örneğin, geçici sürecin başlangıcında kendisine voltaj uygulandıktan sonra kapasitör şarj akımının büyüklüğü ile belirlenebilir.



Şekil 3.5. Akım-Voltaj dönüştürücüsünün girişindeki akımı optimize eden kapasitif sensörlü devrenin şematik gösterimi

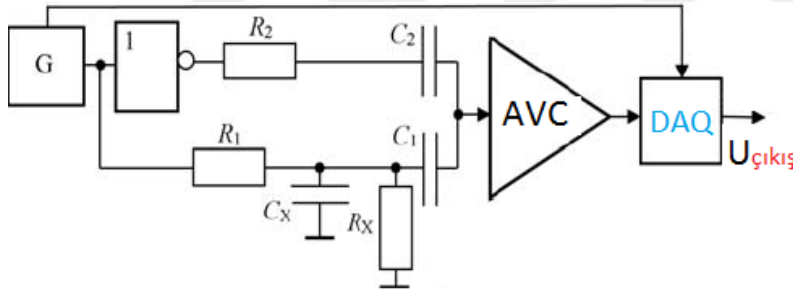
Bu tür çözüm yöntemlerinden biri Şekil3.2.3 'de verilmiştir. Burada –  $S_m$  çıkışı otomatik kontrol ünitesinin (MK) girişine bağlı olan toplama ve dönüştürme işlevlerini de gerçekleştirebilen bir akımı-voltaj dönüştürücüsüdür. Böyle bir cihazda, algılama kapasitenin değeri, devrede ön yükseltici girişine sağlanan toplam akımı minimize etmek için (MK) kontrol sistemi tarafından seçilen  $U_1$  gerilimi ile belirlenir [18]. Eğer  $U_1$  gerilimi  $U_0$  gerilimi ile aynı işarete sahipse o halde  $S_1$  anahtarına gelen kontrol gerilimi, şekilde kesikli çizgi ile gösterilen invertör üzerinden sağlanmalıdır.

Bu çözümün avantajı, çıktı sinyalinin ölçülen kapasite  $C_2$  değerine doğrusal bağımlılığı ve plakaları arasında akan kaçak akımlara zayıf bağımlılığıdır.

Bunun nedeni, kapasitans şarj akımının anahtarlama anında maksimum bir değere sahip olması ve bağlantı iletkenlerinin direncinin olmaması durumunda, ölçülen kapasitansa paralel olarak bağlanan ve üzerinden kaçak akımların aktığı  $R_x$ - direncin değerine bağlı olmamasıdır.

Bununla birlikte, böyle bir şemada bile, parazitik kaçak direncinin etkisinden tamamen kurtulmak mümkün değildir, çünkü parazit direnç değerinin azalması kapasitör şarj darbesinin süresini geciktirir ve şarj darbesinin genliğini ise artırır. Bu nedenle, örneğin ortamın nemi ve

ölçüm kondansatörünün plakalarının bulunduğu yüzeyin kirlenmesi gibi ortam parametrelerinin bir artışı nedeniyle ölçülen kapasitansın kaçak akımlarında bir artışla, MK (mikrokontrolörün) sağladığı U1 dengeleme gerilimi azalacaktır, bu da ölçülen kapasitansta bir azalmaya eşdeğerdir. Ayrıca, Şekil 1c'de gösterilen devrede, ölçüm kapasitörünün topraklanmadığını belirtelim. Bu ise otomasyon sistemlerinde bu devreyi kullanma olanaklarını önemli ölçüde sınırlar, çünkü otomasyon sistemlerinde kullanılan devrelerdeki ölçüm kapasitörünün plakalarından biri çoğunlukla topraklanmış bir nesnedir. Kapasitif algılama sensörleri ihtiva eden literatürde mevcut olan devrelerde bazı modifikasyonlar yapılarak, bu devrelerin yukarıda analiz edilen dezavantajları minimize edilebilir. Bu amaçla bu tez çalışmasında kapasitif algılama sensörü ihtiva eden elektronik devre duyarlılığının (hassasiyetinin) iyileştirilmesi problemi analiz edilmiştir. Kapasitif algılama sensörlü elektronik devre hassasiyetinin iyileştirilmesi için önerilen eşdeğer elektrik devresi şekil 3.6' da verilmiştir.



Şekil 3.6. Kapasitif algılama sensörlü elektronik devre hassasiyetinin iyileştirilmesinin eşdeğer devresi

Şekil 3.6' da gösterilen şemada G generatörü tarafından üretilen iki ters fazlı dikdörtgen darbe sinyali, aktif RC devreleri aracılığıyla akım-voltaj dönüştürücünün girişine uygulanır. Bu devrede algılama sensörü  $C_x$  kapasitansı ve  $R_x$  kaçak direnci ile temsil edilmiştir. Böyle bir elektronik devrede, maksimum duyarlılığa ulaşmak için, akım-voltaj dönüştürücünün girişine bağlanmış dalların her ikisinde bulunan kapasitörlerin toplam kapasitansı aynı olmalıdır. Pratikte değişik sensör versiyonları için bu koşulun sağlanması bazı sorunlar oluşturabilir. Bu nedenle uygulamada, kondansatörlerin kapasitansları genellikle yaklaşık olarak eşit ve  $C_x$  kapasitans değerinden birkaç kat daha yüksek seçilir.

Bu koşullarda, Akım-Voltaj Dönüştürücünün (AVC) çıkışındaki voltaj, algılama sensör kapasitansını da ihtiva eden devre girişindeki kolların oluşturdukları şarj akımları arasındaki farkla kontrol edilecektir. Akım-Voltaj Dönüştürücünün (AVC) çıkışındaki bu farkı algılamak



için, bir depolama örnekleme devresi kullanılır (DAQ). Bu depolama örnekleme devresi sinyal generatörüyle senkronize edilir.

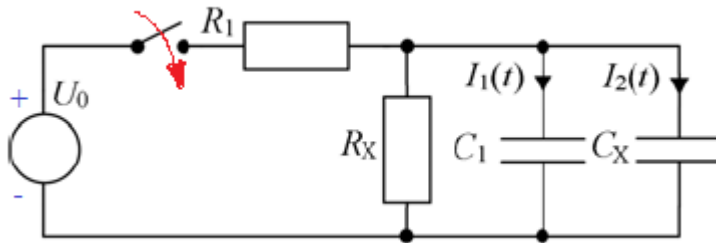
Önerilen bu devreyi mevcut eşdeğer devrelerden farklı kılan iki temel fark söylenilebilir.

Bular sırasıyla:

i) Algılama  $C_x$  - kapasitansın ikinci terminalinin akım-voltaj dönüştürücünün girişine bağlı değil, topraklanmış olmasıdır. Bu, daha önce belirtilen nedenle cihazın olası uygulama kapsamını önemli ölçüde genişletmeyi mümkün kılar. Aynı zamanda, bu devrede ölçülen  $C_x$  kapasitansın değerindeki bir artış,  $C_1$  kapasitörünün aşırı şarj akımında bir azalmaya yol açar, ancak kapasitans ile aşırı şarj akımı şiddeti arasındaki doğrusal ilişki yeterince sınırlı aralıkta korunur.

ii) Akım-Voltaj Dönüştürücünün (AVC) çıkışında, depolama örnekleme devresinin (DAQ) tüm geçici süreçten, çok kısa bir zaman aralığı (kapasitörün yeniden şarj sürecinin başladığı ana karşılık gelen zaman aralığı) seçmesidir. Bundan dolayı, akım-voltaj dönüştürücünün (AVC) giriş direncinin sıfıra eğilimli olmasının yanı sıra,  $C_x$  ölçüm kondansatörünün  $R_x$  parazitik direncinin çıkış sinyalinin değeri üzerindeki etkisini bastırmak mümkündür.

Şekil 3.6' da gösterilen devrenin çalışmasını analiz etmek için Şekil 3.7' de gösterilen algılama sensörünün ölçüm hücresinin eşdeğer devre modeli kullanılmıştır.



Şekil 3.7. Algılama sensörünün ölçüm hücresinin eşdeğer devresi

Şimdi ise algılama sensörünün ölçüm hücresinin eşdeğer devresinde anahtarın kapatılmasıyla, gerçekleşen geçiş (transient) süreçte kondansatörler üzerindeki voltaj

değişimini ve C1 kondansatörü üzerinden geçen şarj akımının zamana bağlı olarak devre parametreleri cinsinden değişimini belirleyelim.

Devrenin durumunu analiz etmek için öncelikle, devredeki S1 anahtarı açık konumda iken (yani devreye enerji vermeden önce) tüm dallarda elektrik akımının olmadığı ve ayrıca kondansatörlerin de yüksüz olduğunu belirtmemiz gerekiyor. Başka bir deyişle  $t = 0$  anında

$$I_1(t)|_{t=0} = 0, I_c(t)|_{t=0} = 0 \text{ ve } U_c(t)|_{t=0} = 0 \quad (3.1)$$

Devre enerji ile beslendikten sonra, geçiş (transient) süreci sonrasında devredeki kondansatör şarj olacaktır ve devredeki elektrik akımı artık  $U - R_1 - R_x$  kolu üzerinden akacaktır. Kararlaşmış durumda ( $t \rightarrow \infty$ ), kondansatör devreye paralel olarak bağlandığından,  $R_x$  - direnci üzerindeki gerilime eşit bir gerilimle yüklenecektir

$$U_c(t)|_{t \rightarrow \infty} = U_{R_x} = \frac{U_0}{R_1 + R_x} R_x \quad (3.2)$$

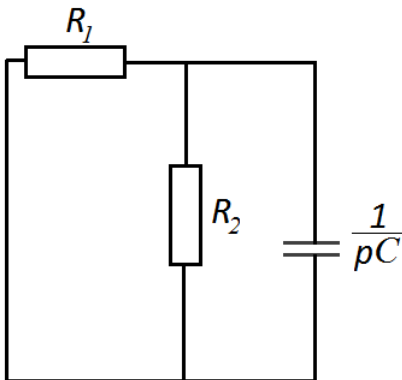
Kararlaşmış durum için devredeki akım değeri uygun olarak

$$I_1 = I_2 = \frac{U_0}{R_1 + R_x} \quad (3.3)$$

olacaktır.

İncelenen devrede gerçekleşen geçiş (transient) süreci analiz etmek için öncelikli olarak, anahtarlama süreci sonrası devrenin karakteristik denklemini oluşturmamız gerekiyor.

Bunu yapmak için, enerji kaynağını devreden çıkarıyoruz ve kapasitörü onun kompleks (karmaşık) direnciyle değiştiriyoruz. Bu durum şekil 3.8'de verilmiştir.



Şekil 3.8. Karakteristik denklemin belirlenmesine olanak sağlayan eşdeğer devre

İncelenen devre için Karakteristik denklemin belirlenmesine olanak sağlayan eşdeğer empedans aşağıdaki biçimde olacaktır.

$$\frac{1}{j\omega(C_1+C_x)} + \frac{R_1R_x}{R_1+R_x} = 0 \quad (3.4)$$

Eğer bu ifade de  $C = (C_1 + C_x)$  ve  $p = j\omega$  dönüşümü yapılırsa o halde karakteristik denklem

$$\frac{1}{pC} + \frac{R_1R_x}{R_1+R_x} = 0 \quad (3.5)$$

biçiminde olacaktır. Bu ifadeden hareketle karakteristik denklemin basit kökü aşağıdaki gibi belirlenir

$$p = -\frac{R_1+R_x}{CR_1R_x} \quad (3.6)$$

Bilindiği üzere bir transient süreçte, kondansatör üzerindeki voltaj, öz çözüm ve zorlanmış bileşenlerin toplamı biçiminde belirlenir, yani

$$U_C(t) = U_{öz} + U_{zor} \quad (3.7)$$

Burada  $U_{öz}$ , kondansatör üzerindeki voltajın öz çözüm (serbest) bileşeni olup  $U_{öz} = Ae^{pt}$  biçiminde belirlenir.  $U_{zor}$  ise  $t \rightarrow \infty$  durumunda kondansatör üzerindeki voltajın kararlaşmış değeri olup, geçiş sürecinde voltajın zorlanmış bileşeni olarak adlandırılır.

Kapasitör üzerindeki voltajın zorlanmış bileşeni (3.2) ifadesiyle belirlenir. Bu bileşenlerin dikkate alınmasıyla (3.7) yeniden düzenlenirse, kondansatör üzerindeki gerilim değişimi aşağıdaki ifade ile belirlenecektir

$$U_C(t) = Ae^{pt} + \frac{U_0R_x}{R_1+R_x} = Ae^{-\frac{R_1+R_x}{CR_1R_x}t} + \frac{U_0R_x}{R_1+R_x} \quad (3.8)$$

(3.8) ifadesinin içerdiği integral sabitini belirleyelim. Bu amaçla (3.8) ifadesi ile tanımlanan başlangıç koşuldan ve transient süreçte kondansatör üzerindeki voltajın süreklilik koşulundan  $U_C(0_-) = U_C(0_+) = U_C(0)$  yararlanmamız gerekmektedir. Bu hususların dikkate alınmasıyla

$$U_C(0) = A + \frac{U_0 R_x}{R_1 + R_x} = 0 \text{ ve } A = -\frac{U_0 R_x}{R_1 + R_x}$$

sonucuna ulaşırız. İntegral sabitinin belirlenmiş bu değeri (3.8) ifadesinde yerine yazılırsa, o halde incelenen devre için kondansatör üzerindeki voltaj değişimi

$$U_C(t) = \frac{U_0 R_x}{R_1 + R_x} \left( 1 - e^{-\frac{R_1 + R_x}{C R_1 R_x} t} \right) \quad (3.9)$$

Böylece incelenen devre için kondansatör üzerindeki  $U_C(t)$ - gerilim değişimi ifadesinden hareketle  $C_1$  – kondansatörü üzerindeki akımın devre parametreleri cinsinden değişimini belirlemeye olanak sağlayan ifadeyi belirleyebiliriz.

Buna göre;

$$I_1(t) = C_1 \frac{dU_C(t)}{dt} = \frac{C_1 U_0}{R_1 + R_x} e^{-\frac{R_1 + R_x}{(C_1 + C_x) R_1 R_x} t} \quad (3.10)$$

Bilindiği üzere, sentezlenen elektrik devresinin pratik uygulamasında, elemanlarının nominal parametrelerinin hesaplanan değerlerinden sapmaları meydana gelebilir. Bu amaçla, çoğunlukla eleman parametrelerindeki değişikliklerin cihaz özelliklerindeki değişikliklere etkisini değerlendirmek için duyarlılık kavramı tanıtılır [32].

Varsayalım ki keyfi bir elektrik devresinde,  $x_i$  bu incelenen elektrik devresinin  $i$ 'ci elemanı (parametresi) ve devrenin bu elemana bağlı özelliği ise  $F(x_i)$  olsun. O halde,  $F(x_i)$ 'nin  $x_i$  parametresindeki bir değişikliğe bağlı duyarlılığı (hassasiyeti), aşağıdaki gibi belirlenir.

$$S_{x_i}^{F(x_i)} = \lim_{\Delta x_i \rightarrow 0} \frac{\Delta F(x_i)/F(x_i)}{\Delta x_i/x_i} = \frac{\partial F(x_i)}{\partial x_i} \cdot \frac{x_i}{F(x_i)} \quad (3.11)$$

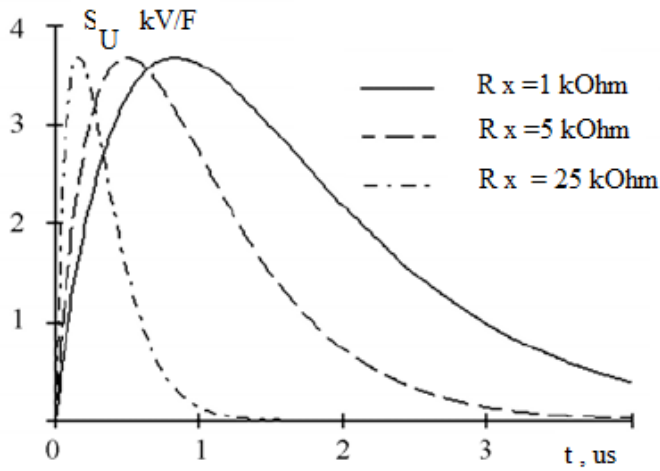
(3.9) ve (3.10) ifadelerinden hareketle,  $C_x$ - kapasitansının ve  $R_x$  kaçak direncinin zamana bağlı olarak algılama hassasiyeti üzerindeki etkisini inceleyelim. Bu amaçla (3.9) ve (3.10) ifadelerinin  $C_x$  parametresine göre türevini alalım.

$$S_U(t) = \frac{U_0 \cdot t}{R_1 (C_1 + C_x)^2} \cdot e^{-\frac{(R_1 + R_x)}{R_1 R_x (C_1 + C_x)} t} \quad (3.12)$$

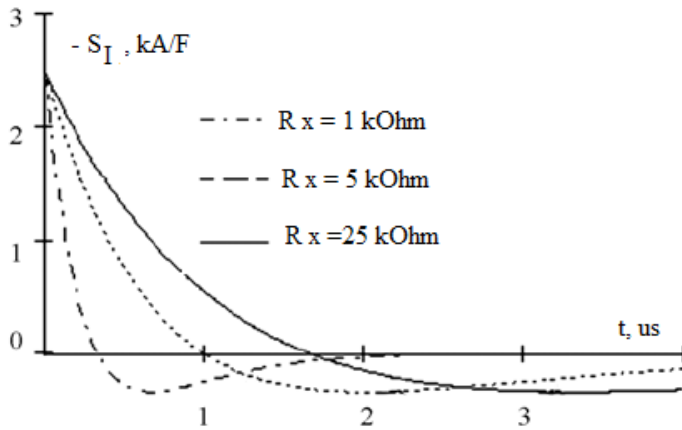
$$S_I(t) = \frac{U_0 \cdot C_1}{R_1 (C_1 + C_x)^2} \cdot \left( \frac{(R_1 + R_x) t}{R_1 R_x (C_1 + C_x)^2} - 1 \right) \cdot e^{-\frac{(R_1 + R_x)}{R_1 R_x (C_1 + C_x)} t} \quad (3.13)$$

Burada  $U_0$ - generatör çıkışındaki kare dalganın genliğini ifade etmektedir.

Bu ifadelerden hareketle farklı  $R_x$  - sızıntı(parazit) direnç değerleri için  $C_1, C_x$  kondansatörleri üzerindeki voltaj hassasiyet fonksiyonunun ve akım-voltaj dönüştürücünün (AVC) girişindeki akım hassasiyet fonksiyonunun zamana bağlı olarak değişimlerine karşılık gelen grafikler Şekil 3.9 'da ve Şekil 3.10 'da gösterilmiştir. Türetilen (3.12) ve (3.13) ifadelerinin, tez çalışmasında hedeflenen problemin analizi için etkinlik derecesini belirlemek amacıyla çizdirilen grafiklerde ifadelerin içerdiği parametreler için  $R_1 = 5 \text{ k}\Omega$  ,  $C_1 = 100 \text{ pF}$  ve  $U_0 = 10 \text{ V}$  değerleri alınmıştır.



Şekil 3.9. Farklı  $R_x$  - sızıntı(parazit) direnç değerleri için,  $C_1, C_x$  kondansatörleri üzerindeki voltaj hassasiyet fonksiyonunun zamana bağlı olarak değişimi



Şekil 3.10. Farklı  $R_x$  -sızıntı(parazit) direnç değerleri için, akım-voltaj dönüştürücünün (AVC) girişindeki akım hassasiyet fonksiyonunun zamana bağlı olarak değişimi

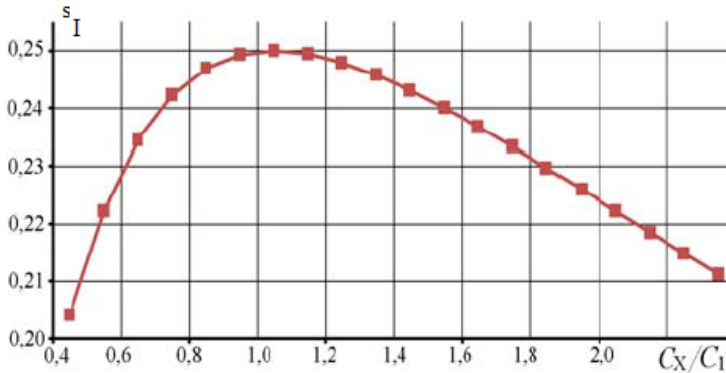
(3.12), (3.13) ifadeleri ile tanımlanan  $S_U(t)$  ve  $S_I(t)$  grafiklerden de görüldüğü üzere her iki durumda da  $R_x$  - sızıntı direnç değeri devrenin maksimum hassasiyet değerini

etkilememektedir. Bununla birlikte,  $S_U(t)$  fonksiyonu için, maksimum hassasiyetin tepe noktasının konumunun  $R_x$  direnç değerine bağlı olarak değiştiğini görüyoruz. Bu durumdan dolayı,  $C_x$  algılama kapasitansını belirlenmesi için  $U_C(t)$  bağımlılığının kullanılması mantıklı değildir. Eğer  $C_x$  algılama kapasitansını belirlenmesi için, geçiş (transient) sürecinin başlangıcından itibaren mümkün olan en kısa sürede ( $t \rightarrow 0$ ) şarj akımının zamana bağımlılığı kullanılırsa o halde, denklem (3.13) ve Şekil 3.9'da verilen grafikten de görülebileceği gibi,  $R_x$  sızıntı direncinin etkisini elimine etmiş oluruz. İncelenen devre için bu durum  $G$  generatörünün çıkışındaki voltaj düşüşüne karşılık gelir. Bu ana karşılık gelen hassasiyetin maksimum değeri aşağıdaki gibi belirlenecektir.

$$S_I(t)|_{t \rightarrow 0} = -\frac{U_0 \cdot C_x}{R_1(C_1 + C_x)^2} \quad (3.2.14)$$

Bu ifadeden de anlaşılacağı gibi,  $S_I(t)$  duyarlılık (hassasiyet) değeri burada da sabit olmayıp  $C_x$  ve  $C_1$  kapasitansları arasındaki orana bağlıdır ve  $C_x = C_1$  durumunda maksimum değere ulaşır.

$U_0 / R_1$  ve  $C_1$  parametrelerine göre normalize edilmiş (indirgenmiş)  $s_I\left(\frac{C_x}{C_1}\right) = -\frac{R_1}{U_0} S_I(0)$  şarj akımı duyarlılık (hassasiyet) fonksiyonunun grafiği Şekil 3.11' de verilmiştir.



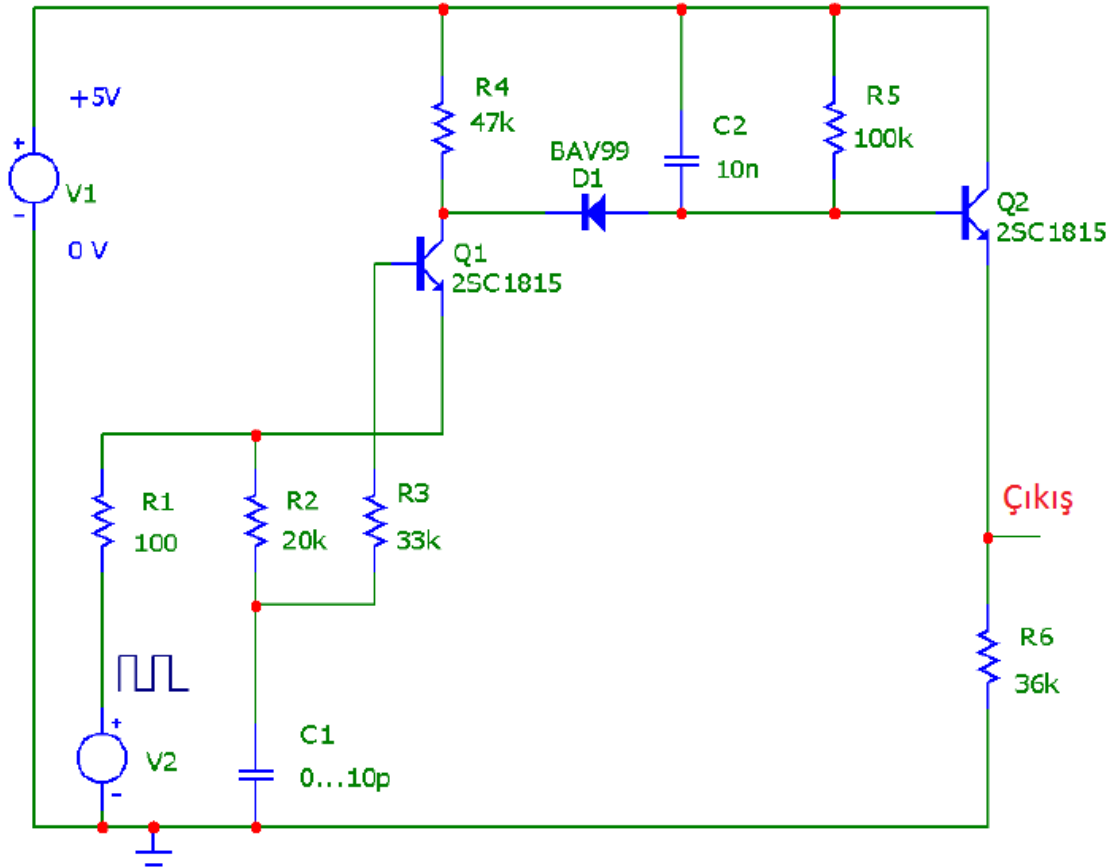
Şekil 3.11. Bağlı akım duyarlılığı fonksiyonunun maksimum değerinin ( $C_x/C_1$ ) oranına göre değişimi

Grafikten de görüldüğü üzere,  $\frac{C_x}{C_1} > 2$  koşullarında indirgenmiş şarj akımı fonksiyonunun hassasiyeti, olası maksimum değerinin yaklaşık %20' si kadar düşer. Ayrıca

grafikten de görüldüğü üzere,  $C_1$  kapasitans değerine göre  $C_x$  kapasitans değerindeki bir düşüş, artışından daha az tercih edilmelidir. Bunun nedeni  $C_x$  kapasitans parametresinin değerindeki bir azalma ile hassasiyet, bu parametrenin bir artış durumuna kıyasla çok daha hızlı bir şekilde sıfıra gider. Bu nedenle, en iyi sonuçları elde etmek için,  $C_x$  değerindeki beklenen değişiklik aralığına göre  $C_1 = 0.5 \cdot C_2$  seçilmesinin uygun olacağı düşünülmektedir.

### 3.3. Kapasitif Algılama Sensörü İçeren Devre Tasarımı

Bu tez çalışmasında yukarıda analiz edilen hususlar göz önünde bulundurularak, tasarlanan kapasitif algılama sensörleri ihtiva eden güvenlik sistemlerinin basit elektronik devresi şekil 3.12’de verilmiştir.



Şekil 3.12.  $C_1$  kapasitif algılama sensörü ihtiva eden güvenlik sisteminin basit elektronik devresi

Devrede algılama sensörü olarak verilen  $C_1$  kapasitörün plakalarından biri, 120-180 kHz frekanslı bir kare dalga çıkışı verecek şekilde yapılandırılmış olan mikro denetleyicinin (MD) çıkışına ve diğer plakası ise toprağa bağlanır. Kapasitif algılama için tasarladığımız

elektronik devre şemasında bu mikro denetleyici sembolik olarak V2 voltaj kaynağı biçiminde gösterilmiştir. Ayrıca algılama kapasitörünün yüksek potansiyeli levhası Q1 transistörünün beyz ucuna bağlanır. Emiter de aynı generatöre bağlıdır. Micro Denetleyicinin (MD) çıkışı tamamlayıcı (komplementar) olduğu için bu, onun çıkışı dönüşümlü olarak "+" güç kaynağına ve ardından "0" a bağlanır. Şimdi ise bu yarı periyotlarda oluşan fiziksel olayları analiz edelim. Burada iki özel duruma bakalım.

1. Micro Denetleyicinin çıkışında lojik 1 olduğunda:

İlk önce, C1 kondansatörü hızlı bir şekilde R1, R2 dirençleri üzerinden şarj edilir. Hatırlayalım ki, C1 algılama kapasitans değerinin çok küçük olmasından dolayı, bir diyot ayırımına ihtiyaç ortadan kaldırılabilir. Böylece, böyle bir diyotun oluşturacağı parazitik kapasitans da ortadan kalkmış olur. Dolayısıyla R2 direnci tam şarj için yeterlidir.

$U_{BE} < 0$  olduğu için (ters yönde beslendiğinden dolayı) Q1 transistörü kapalıdır.

2. Micro Denetleyicinin çıkışında lojik 0 olduğunda:

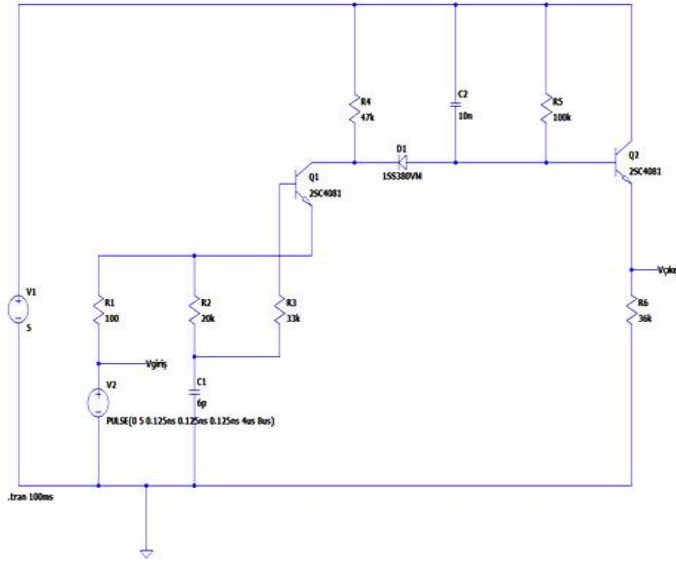
Bu durumda C1 kapasitörü R3 direnci, Q1 transistörünün Base-Emitter bölgesi ve Micro Denetleyicinin çıkışı üzerinden deşarj olur. Q1 transistörünün emitteri, Mikro Denetleyici çıkışı üzerinden "0V" a bağlandığından, deşarj akımı transistörü çok kısa bir süre için ilettime geçirir. Q1 transistörünü ilettime geçiren kollektör akımının etki süresi, C1 kapasitöründe depolanmış elektrik yükünün deşarj süresi ile belirlenir.

Devrede kullandığımız D1 diyotu ve C2 kapasitörü bir genlik detektörü oluşturur. Bu genlik dedektörü - C1 nesne algılama kapasitansıyla orantılı olarak R5 direnci üzerinde bir voltaj (potansiyel fark) oluşturulur. Tasarım devresinde kullandığımız Q2 transistörü, dirençleri Micro Denetleyicinin 'nin ADC'si ile uyumlu hale getirmek için gereklidir. Çıkış voltajı R6 direnci üzerinden ölçülür

Algılama sensörünü temsil eden bu elektronik devrenin LTSPICE simülasyon ortamındaki gösterimi Şekil 3.13 'de verilmiştir. Burada perde yüzeyinde iletken ipliklerle oluşturulan "perde-yaklaşan nesne" sisteminin kapasite değerine bağlı olarak elde edilen kapasite değerleri gerilime dönüştürülerek  $R_6 = 36\ k\Omega$  direnç üzerinden okunmaktadır. Şekil 3.14, Şekil 3.15 ve Şekil 3.16' da görüldüğü üzere "perde-yaklaşan nesne" sisteminin kapasite değerine bağlı olarak,  $R_6$  direnci üzerindeki gerilim değişimi hızına bağlı olarak perdeye yaklaşan nesnenin türü belirlenebilir. Polimerik tabanlı bir yüzeyde iletken ipliklerle



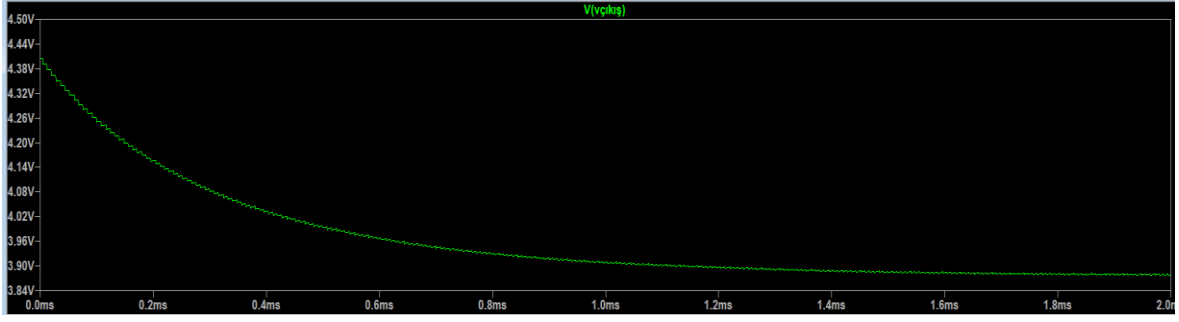
oluşturulan “perde-yaklaşan nesne” sisteminin bu özelliğini kullanarak oluşturulan güvenlik sistemi bir ilk olup fikri mülkiyet kapsamında değerlendirilmelidir.



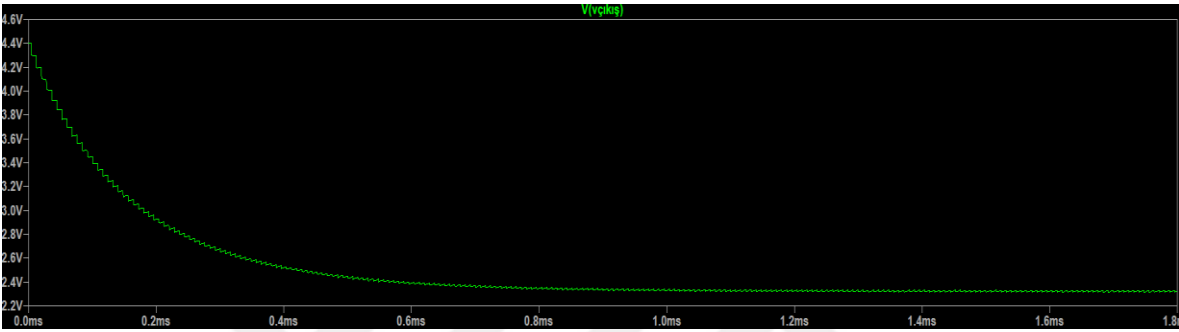
Şekil 3.13. Kapasitif algılama devresinin LTSPICE programı ile oluşturulan modeli

Çizelge 3.1. C1 üzerinde oluşacak kapasite değerlerine karşılık R6 üzerinden ölçülen gerilim değerleri

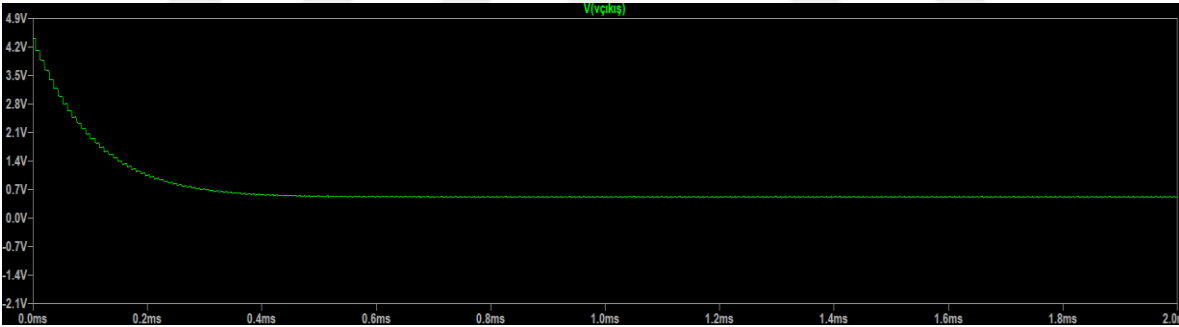
$C1(pF)$	$U_{in}(V)$	$U_{out}(V)$
0.1	4.4	3.87
1	4.4	3.51
2	4.4	3.09
3	4.4	2.69
4	4.4	2.29
5	4.4	1.92
6	4.4	1.56
7	4.4	1.20
8	4.4	0.96
9	4.4	0.72
10	4.4	V



Şekil 3.14. C1 değeri 0.1pF olduğunda R6 üzerine oluşan gerilim-zaman grafiği



Şekil 3.15. C1 değeri 4 pF olduğunda R6 üzerine oluşan gerilim-zaman grafiği



Şekil 3.16. C1 değeri 10 pF olduğunda R6 üzerine oluşan gerilim-zaman grafiği

Şekil 3.14, Şekil 3.15 ve Şekil 3.16' da görülen grafiklerde perde-yaklaşan nesne modellemesine göre C1 kapasitesinin 0,1 pF 4pF ve 10 pF olduğu durumlarda R6 direnci üzerindeki gerilimin zamana göre değişimi görülmektedir. Bu değerlere karşılık R6 direnci üzerinde oluşacak çıkış gerilimi çizelge 3.1' de listelenmiştir.

Bu modelleme sonucuna istinaden polimerik tabanlı bir perde üzerinde iletken ipliklerle oluşturulmuş kapasitif algılama sensöründen elde edilen bilgiye göre perdeye yaklaşan nesnenin türünün tahmin edilebileceği düşünülmektedir. Bu amaçla prototip olarak tasarlanmış

ve Şekil 3.13' de gösterilen elektronik devrede C1 algılama sensörünün kapasite değerine bağlı olarak R6 direnci üzerindeki gerilim değişim hızının analiz edilmesi tatmin edici sonuçların elde edilmesine olanak sağlar. Burada temel parametre olarak, şekil 3.1' de gösterilen algılama sensörün hassas bölgesi içerisinde sensöre yaklaşan nesnenin bağlı dielektrik sabitinin farklı olması bilgisinden yararlanır.

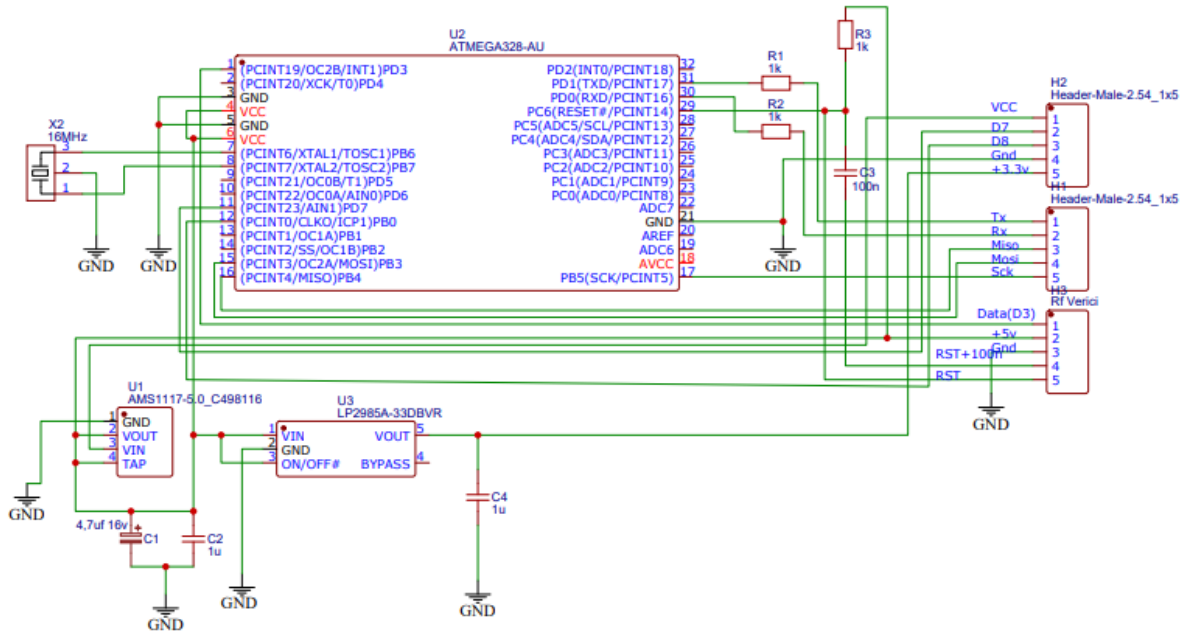


## 4. KAPASİTİF ALGILAMA SENSÖRÜ İHTİVA EDEN PROTOTİP DEVRE UYGULAMASI

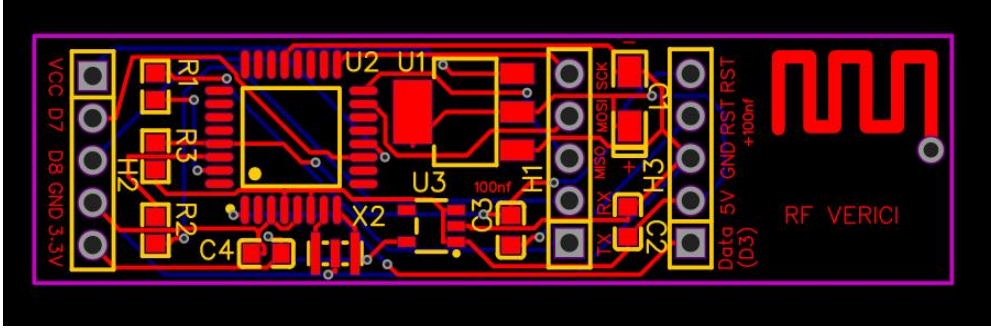
### 4.1. Prototip devresi için mikrodenetleyici tasarımı

Kapasitif sensörden gelen bilgiyi yorumlamak ve sistemi yönetebilmek için bir mikrodenetleyici devresine ihtiyaç vardır. Tez çalışmasında özel olarak hedeflenen prototip devre için 2 adet mikrodenetleyici (MD) kartı kullanma zarureti oluşmuştur. Bunun için Arduino Nano geliştirme kartını kullanmak istesek de, kartlardan birini yerleştireceğimiz alan için ölçüleri büyük geldiğinden kendi kartımızı tasarladık ve ürettik. Şekil 4.1’ de tasarladığımız kartın devre şeması görülmektedir.

Mikrodenetleyici devresi tasarlanırken küçük olabilmesi için en az sayıda eleman ve giriş – çıkış bacağı kullanılarak ihtiyacın karşılanması hedeflenmiştir. Kartın üzerine monte edilecek RF Vericisi için verici kartının boyutu kadar yer bırakılmış ve bu boşluk alana verici anteni görevi yapacak bir hat çizilmiştir. Bu tasarım sonucunda oluşturulan elektronik devre kartının genişliği 15 mm, uzunluğu ise 55 mm ebatlarında olmuştur. Şemadan hareketle çizilen baskı devre şeması Şekil 4.2’ de görülmektedir.

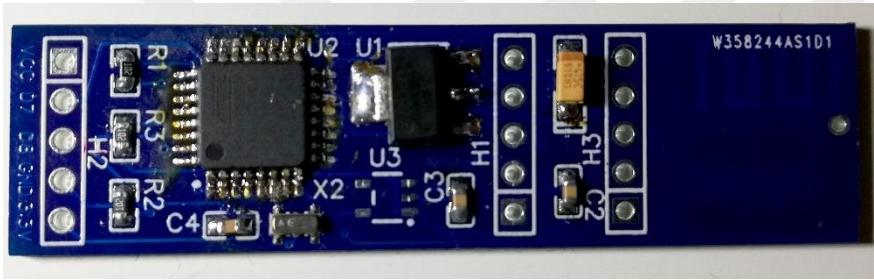


Şekil 4.1. Tasarlanan mikrodenetleyici kartının devre şeması



Şekil 4.2. Tasarlanan mikrodenetleyici kartı baskı devre şeması

Çizdiğimiz kartın profesyonel baskı devre kartı olarak basılması için gerekli çizim dosyaları Çinli bir üreticiye gönderilmiş ve üretimi yapılmıştır. Mikrodenetleyici devre kartı için gerekli elektronik elemanların kart üzerine montajı yapıldıktan sonraki görünümü şekil 4.3’ de görülmektedir.



Şekil 4.3. Elemanların montajı yapıldıktan sonra mikrodenetleyici kartının görünümü

Üretilen bu kart stor perdenin alt çıtası içerisine monte edilmiştir. Çıta içerisindeki kart bluetooth üzerinden android işletim sistemine sahip mobil cihaza bağlanarak veri alış verişi gerçekleştirir ve kapasitif sensörden gelen bilgiyi mobil cihaza iletir. Aynı zamanda mobil cihazdan gelen komuta göre karta bağlı olan RF verici sayesinde diğer denetleyici karta bilgi göndererek, perdenin açılıp kapanması kontrol edilir.

## 4.2. Haberleşme Sistemleri

Tez kapsamında yapılan motorlu güvenlik perdesinin kontrolü ve güvenlik alarm sisteminin haberleşmesi kapsamında çeşitli haberleşme protokolleri karşılaştırılmış ve bunlardan uygun görülenler sisteme dâhil edilmiştir.

Sistemin, perde motorunun kontrolü ve kapasitif algılama sensöründen gelen bilgilerin iletimi için kablosuz haberleşme sistemi kullanılması uygun görülmüştür.

Karşılaştırdığımız 3 farklı silindirik perde motorunun da kendine ait RF haberleşmeli kumandası mevcuttur. Bu durumda kapasitif algılama bilgisi için ayrı bir alarm devresi yapılması gerekmektedir. Bu durumda, ayrı bir kumanda yapmak yerine, hem perde motorunun kontrolünü hem de kapasitif sensörün alarmının istenilen kişilerce duyulmasını sağlayabilecek bir çözüm olarak, günümüzde çoğu insanın yanından ayırmadığı akıllı mobil cihazlardan faydalanmaya karar verilmiştir.

Mobil cihazların birçoğunda wi-fi ve bluetooth kablosuz haberleşme protokolleri mevcuttur. Mobil cihazlarla perde sistemini haberleştirebilmek için bu protokolleri kendi sistemimize de dâhil etmemiz ve uygun yazılımı yapmamız gerekmektedir.

Bu projenin yapısından dolayı bluetooth ve RF haberleşme sistemleri bir arada kullanılmıştır.

#### **4.2.1. Bluetooth Haberleşme**

Wi-fi haberleşme sisteminde cihazları birbirine bağlayacak bir yönlendiriciye ihtiyaç vardır. Wi-fi yönlendiricisinin veya wi-fi ağının bulunmadığı durumlarda da kontrol edilebilmesi için güvenlik perdesi sisteminin bluetooth üzerinden mobil cihaza bağlanması ve haberleşmenin bu şekilde sağlanması daha uygun görülmüştür.

Bluetooth 2.4Ghz frekans aralığında çalışarak 10-30 metre mesafede haberleşmeyi sağlayabilir. Kullanımı ve bağlantısı kolaydır. Aynı anda birkaç cihaza bağlanabilir. Bu bilgiler doğrultusunda mobil cihazla bağlantıyı sağlamak için HC-05 Bluetooth haberleşme kartı kullanılmıştır.

#### **4.2.2. RF Haberleşme**

Perde motoru ile kumandası RF haberleşme sinyali ile kablosuz olarak kontrol edilebilmektedir. Ayrıca motor üzerinde fiziksel bir buton takılarak perdenin manuel kontrolüne imkân sağlayan pin soketi mevcuttur. Buradaki pinlere iletken kablolar ile takılan bir butonla perdenin kumanda olmadan manuel olarak açıp kapanması da mümkündür.

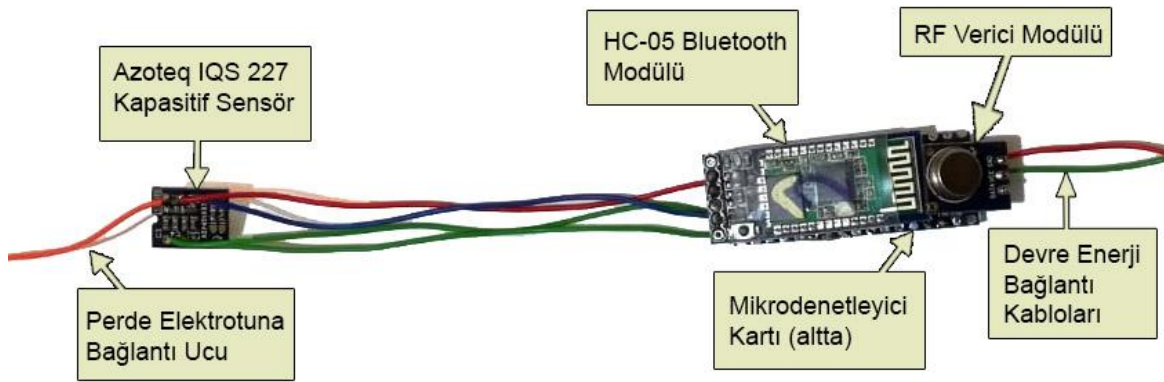
Kendi kumandası haricinde motoru uzaktan kontrol etmek istendiğinde bunu yapmanın yollarından biri kumandanın sinyal kodunu taklit eden başka bir kumanda yapmaktır. Başka bir

yol ise perdenin manuel fiziksel buton bağlamak için bırakılan sokete bağlanan, kablosuz haberleşme sistemine sahip bir elektronik devre yapmaktır.

Kumanda sinyalinin taklit edilmesi için öncelikle kumandanın butonuna basıldığında yaydığı sinyalin alınması ve daha sonra aynı sinyali yayacak kod üretilerek bu kodun RF verici vasıtasıyla yayılması gerekir.

### 4.3. Elektronik Kartların Birleştirilmesi

Tüm bu işlemlerin sonucunda perde çitası içerisine yerleştirilecek olan kartların birleştirildikten sonraki görüntüsü Şekil 4.4’ de görülmektedir. Azoteq IQS 227AS kapasitif sensör kartı, bluetooth sinyallerinden etkilenmemesi amacıyla kablolarla uzağa taşınmıştır. Bluetooth ve RF verici modülleri, mikrodenetleyici kartının üzerine yerleştirilmiştir.

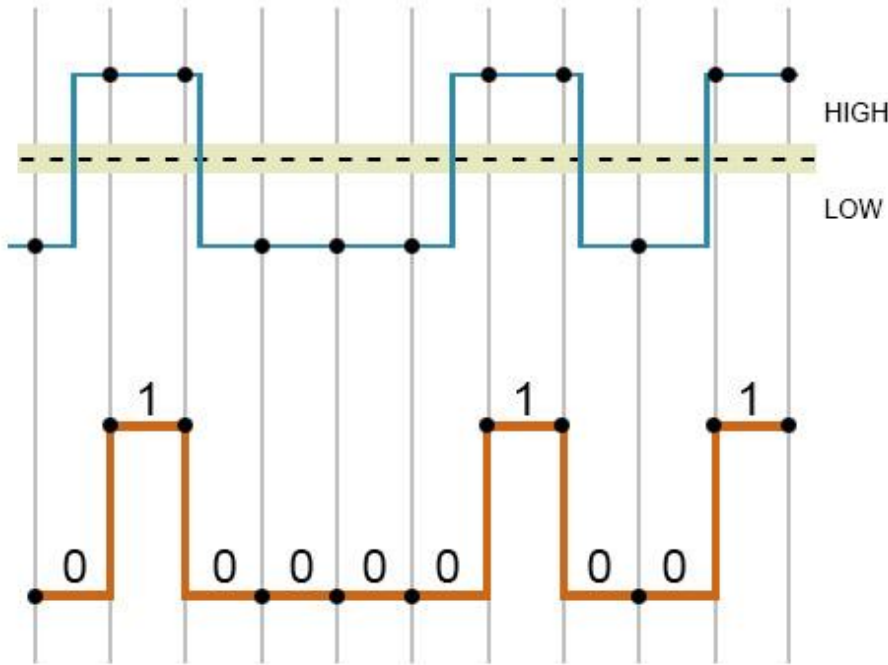


Şekil 4.4. Kartların birleştirildikten sonraki görünümü

#### 4.4. RF Kumanda Sinyalinin Alınması, Çözülmesi ve Üretilmesi

Tez çalışması kapsamında yapılan güvenlik perdesi projesinin yapımında mikrodenetleyicilerin programlanması için Arduino IDE yazılım geliştirme ortamı kullanılmıştır. Mobil cihazlar ile haberleşmeyi sağlayabilmek içinse, App Inventor uygulama geliştirme yazılımı kullanılmıştır. Ayrıca perde motorlarının kumandalarının kodlarının çözülebilmesi amacıyla kullanılan lojik analizörün bilgisayar uygulaması Saleae Logic den faydalanılmıştır.

RF kumandalar butonlarına basıldığında, RF vericileri sayesinde 433 Mhz frekans aralığında belirli bir kod düzeninde sinyal yayarlar. Dijital olarak gönderilen bu sinyalde kodlama sinyalin ne kadar süre lojik 1 veya lojik 0 olduğuna göre kodlanır. Gönderilen ham sinyal belli bir eşik değerinin üzerinde ise HIGH (lojik 1), altında ise LOW (lojik 0) kabul edilir. RF kumandalar tarafından yayılan sinyalin örneği Şekil 4.5' de görülmektedir.



Şekil 4.5. RF verici tarafından gönderilen sinyal örneği

Verici tarafından gönderilen her komut için ayrı bir kod düzeni vardır. Bu kod sinyali 100 metreye kadar yakındaki RF alıcılar tarafından okunur ve çözülür. Eğer çözülen kod, alıcı cihazda bir görev için tanımlanmışsa o görev yerine getirilir.



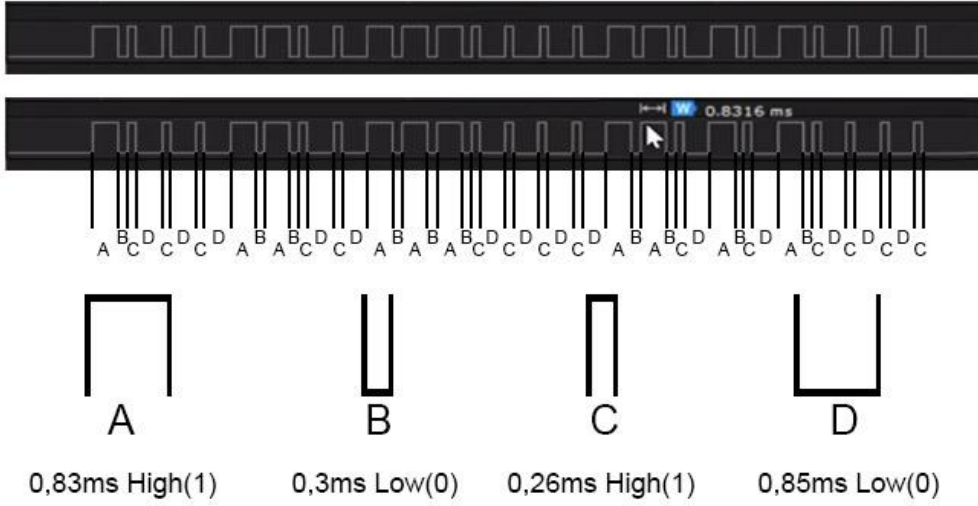
Herhangi bir RF vericinin kodu çözülmek istendiğinde, kumanda butonlarının her birine basıldığında gönderdiği sinyallerdeki kodlar tek tek çözümlenerek aynı sinyaller tekrar oluşturulur. Bu kod çözme işlemi için veri sinyallerini algılayıp, bu sinyalleri lojik değerlere dönüştürerek bilgisayara aktarmaya yarayan Lojik Analizör (Logic Analyser) cihazından faydalanılabilir.

Lojik analizör ile bir sinyal verisi ölçülmek istendiğinde, cihazın ölçüm kanallarından birine ölçülmek istenen sinyali alabilecek bir alıcı bağlanır. Burada alınmak istenen Radyo Frekansı olduğu için lojik analizörün 1 numaralı giriş kanalına RF alıcısının Data pini bağlanmıştır. Cihaz bilgisayara bağlandıktan sonra analiz programı açılıp çalıştırılır. Program çalıştığında ortamda bir RF sinyal kodu bulunmuyorsa ekranda anlamsız gürültü sinyalleri görülecektir. RF kumandanın butonuna basıldığında ise, belirli aralıklarla aynı kodlu sinyalin tekrar ettiği görülecektir. Lojik analizör program ekranında kumanda kodunun okunmasına ait ekran görüntüsü Şekil 4.6' da görülmektedir.



Şekil 4.6. Lojik analizör programı ekran görüntüsü

Programda her bir lojik değer ne kadar süre devam ettiği görülebilir. Tekrar eden kod sinyali tespit edildikten sonra bu sinyaldeki her bir lojik değer süresine göre birbirinden ayrılır. Kaç farklı lojik değer olduğu tespit edilir. Tekrar eden sinyalin bulunması, farklı lojik değerlerin tespiti ve isimlendirilmesi, bu lojik değerlerin sürelerinin ve sıralamasının tespiti yapılarak kod çözme işleminin yapılması Şekil 4.7' de görülmektedir.



Şekil 4.7. Kod çözüme işlemi

Kod çözüme işleminin ardından bu kodun tekrar üretilmesi işlemi gelmektedir. Arduino IDE yazılım geliştirme programı kullanılarak kodun tekrar üretilmesi işleminin nasıl yapılabileceği Şekil 4.8 de görülmektedir.

```

void setup() {
  pinMode(3,OUTPUT); // RF vericisinin data bacağına için 3 numaralı pin seçilmiştir.
}
void loop() {
  delay(6); // Kodun her tekrarının arasında bekleme süresi.
  A(); B(); C(); D(); C(); D(); C(); D(); A(); B(); A(); B(); //Metodların sırayla çağırılması.
  C(); D(); C(); D(); A(); B(); A(); B(); A(); B(); C(); D();
  C(); D(); C(); D(); C(); D(); A(); B(); A(); B(); C(); D();
  A(); B(); C(); D(); A(); B(); C(); D(); C(); D(); C(); D();
}

void A(){
  digitalWrite(3,1); //A kodunun oluşması için sinyal 1 konumuna çekilip 0,83 milisaniye bekletilir.
  delayMicroseconds(830);
}

void B(){
  digitalWrite(3,0); //B kodunun oluşması için sinyal 0 konumuna çekilip 0,3 milisaniye bekletilir.
  delayMicroseconds(300);
}

void C(){
  digitalWrite(3,1); //C kodunun oluşması için sinyal 1 konumuna çekilip 0,26 milisaniye bekletilir.
  delayMicroseconds(260);
}

void D(){
  digitalWrite(3,0); //D kodunun oluşması için sinyal 0 konumuna çekilip 0,8 milisaniye bekletilir.
  delayMicroseconds(800);
}

```

Şekil 4.8. Arduino IDE kullanılarak kodun tekrar üretilmesi

Çözülen kod mikrodenetleyicinin seçilen bir bacağına RF vericisinin bağlanmasıyla gönderilir. Her bir butona ait kodlar sırayla çözümlenerek tekrar üretilir.

Bu yöntemle çoğu RF kumandanın kodunu çözmek mümkündür. Fakat verimliliği sebebi ile tercih ettiğimiz WSERD30- B- 1.2/35 perde motorunun RF haberleşme protokolü olarak, girişim ve kopyalamanın önüne geçebilmek için kriptto şifrelemeli Rolling Code (yuvarlanan kod) haberleşme protokolü kullanılmıştır.

Yuvarlanan kod sisteminin amacı, tek yönlü bir haberleşme sisteminde saldırılara engel olmak için, alıcı tarafından yürütülecek komutları içeren bir uzaktan kumanda ile dinamik iletimler oluşturmaktır. Bu sistemdeki uzaktan kumanda benzersiz ve bir "seri numarasına", sabit bir "ayırıt etme değerine", dâhili bir "sayaca" ve bir "gizli anahtara" sahiptir. Düğmelerden birine her basıldığında, uzaktan kumandadaki sayaç artırılır, ayırım değeri ve yürütülecek komut ile birleştirilir ve ardından gizli anahtar ile şifrelenir. Yuvarlanan kod adı verilen şifreli metin, alıcıya gönderilmeden önce uzaktan kumandanın seri numarasına eklenir. Seri numarasını, ayırım değerini, son sayaç değerini ve tabii ki her bir geçerli uzaktan kumandanın gizli anahtarını saklayan alıcı, ilgili sayacını günceller ve gerekli kriterleri yerine getirildiğinde güvenli nesneye erişime izin verir [33].

Alıcının kumanda edilebilmesi için, yeni uzaktan kumandaların gizli anahtarını öğrenebilmelidir, dolayısıyla uygun bir öğrenme mekanizması gereklidir. Sırları açık bir şekilde göndermek sınırların dışındadır, bu nedenle Microchip, bir anahtar türetme işlevi kullanarak her bir uzaktan kumandanın anahtarını seri numarasından oluşturmayı önerir. Müşteriyi elde tutmak için, bir üreticinin alıcıları yalnızca aynı üreticinin uzaktan kumandalarıyla işbirliği yapmalıdır, aksi takdirde bir rakip yedek uzaktan kumanda satabilir. Böylece bir kez fabrikada yeni bir uzaktan kumanda üretmek için ve daha sonra müşteri güvenli erişim noktasında bir uzaktan kumanda kaydettirdiğinde alıcıda kullanılan üreticiye bağlı gizli bir parametreyi (üretici anahtarı) içermelidir [33].

Rolling code sebebi ile kumanda kodu kopyalanamadığından, motor kontrolü diğer bir yöntem olan, fiziksel buton soketi üzerinden yapılmıştır.

#### **4.5. Prototip Mikrodenetleyici Yazılımı**

Mikrodenetleyici yazılımları Arduino IDE yazılım platformu üzerinde yapılacaktır. Sistemde 2 farklı mikrodenetleyici kartı bulunacak ve bu kartlar birbiri ile haberleşirken kartlardan biri mobil cihaz ile haberleşebilecektir. Bu 2 mikrodenetleyicinin yazılımı ayrı ayrı yapılması gerekmektedir.

Mobil cihazla bluetooth üzerinden bağlantı kuracak olan mikrodenetleyici kapasitif sensörden aldığı bilgiyi mobil cihaza aktarırken aynı zamanda mobil cihazdan aldığı perde motorunu hareket ettirme komutunu alacaktır. Bunun için bluetooth bağlantısını seri haberleşmesi üzerinden yapacağından yazılımda seri haberleşme kodları bulunacaktır. Aynı zamanda motor hareket ettirme kodlarını aldığı anda bu bilgiyi yine mikrodenetleyiciye bağlı RF verici vasıtasıyla diğer mikrodenetleyiciye gönderecektir.

#### 4.6. Prototip Mobil Uygulama Yazılımı

Perde ile insan haberleşmesinde kullanılacak mobil cihazlar Android işletim sistemine sahip olacaktır. Bu yazılım App Inventor uygulama geliştirme platformu ile geliştirilmiştir. Bu uygulama ile bluetooth üzerinden perdede bulunan mikrodenetleyiciye bağlanılabilmektedir. Bağlantının kurulması için ilk olarak HC-05 Bluetooth cihazının telefonla eşleştirilmesi gerekmektedir. Daha sonra uygulamaya girildiğinde tek dokunuşla mikrodenetleyiciye bağlanmak mümkündür. Şekil 4.9' da uygulamanın bluetooth bağlantısı öncesi ekran görüntüsü görülmektedir. Ekran görüntüsünün üstünde görülen butonlar 3 ayrı perdeye ayrılmış özel butonlardır. Bunların dışında bir perdeye bağlantı kurulmak istendiğinde altta görülen mavi renkli butona basarak seçim yapılabilir.



Şekil 4.9. Mobil uygulamanın bluetooth bağlantısı öncesi ekran görüntüsü

Bir perde seçildiğinde ekran görüntüsü Şekil 4.10' da görülmektedir. Seçim yapıldığında seçilen perdenin simgesi renk değiştirerek seçimi göstermektedir. Aynı zamanda perdenin açıp kapatılması için kullanılan butonlar bağlantı olmadığı durumda pasifken, bağlantı kurulduktan sonra aktif hale gelmiştir. Perde üzerinde bir alarm durumu oluştuğunda perde

kontrol butonları tekrar pasif hale gelmekte, alarm durumu ortadan kalktığıında tekrar aktif olmaktadır.



Şekil 4.10. Seçim yapıldığında uygulama ekranı görüntüsü

Perdenin üzerinde bulunan iletken iplikler sayesinde perdeye herhangi özelliğe sahip bir nesne yaklaştığında, kapasitif olarak bu nesnenin yaklaştığı algılanmakta ve mobil cihazımıza bilgi gönderilerek, cihaz ekranında alarm sembolü renkli ikaz verirken, aynı zamanda kesikli kısa ritimlerle titremektedir. Yaklaşan nesne uzaklaştığında ise uyarı sinyalleri durmaktadır. Yaklaşım durumunda uyguma ekranının görüntüsü Şekil 4.11' de görülmektedir.



Şekil 4.11. Perdeye yaklaşma durumunda mobil uygulamanın ekran görüntüsü

Perdeye yaklaşan nesne eğer perdeye temas ederse, bu kez mobil cihaza, perdeye temas edildiği bilgisi gönderilir. Mobil cihaz bu kez uygulama ekranında renkli alarm verirken aynı zamanda sesli ikaz ve sürekli titreşimle uyarıda bulunur. Bu durumda temas eden nesne ayrılrsa

dahi uyarı aynı şekilde devam eder. Uygulama cihazın arka planında çalışmaya devam ettiği sürece, cihazda başka bir iş yapılıyor, başka bir uygulama kullanılıyor veya ekran tamamen kapatılmış olsa dahi uyarı mesajları aktif hale gelerek bildirim yapabilmektedir. Uyarının durması için uygulama ekranındaki alarm simgesine dokunmak gereklidir.

Perde üzerindeki elektrotlara dokunulduğunda uygulama ekranında oluşacak görüntü Şekil 4.12' de görülmektedir.



Şekil 4.12. Perdeye temas edilmesi durumunda mobil uygulamanın ekran görüntüsü

## 5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu tez çalışmasında elde edilen sonuçlar şöyle özetlenebilir. Öncelikli olarak konuya ilişkin literatür araştırması yapılarak, konunun güncelliği tespit edilmiş, daha sonra ise kapasitif algılama niteliğini etkileyen temel faktörler belirlenmiştir.

- Polimerik tabanlı esnek yüzeylerde oluşturulan kapasitif algılama sensörleri ihtiva eden elektronik devre tasarlanmış ve prototip oluşturularak tasarlanmış devrenin pratik uygulanması başarıyla gerçekleştirilmiştir. Sistem için gerekli olan enerji güneş panellerinden sağlanıp devre bileşenleri içerisinde bulunan pillerde depolanmaktadır.
- Kapasitif algılama sensörleri ihtiva eden elektronik devre için yeni bir matematiksel model oluşturulmuş ve matematiksel modelden elde edilen sonuçların analizi yapılarak, devre parametrelerini ve kapasitif algılama niteliğini etkileyen temel faktörlerin analizi verilmiştir.
- Tasarlanan uzaktan kontrollü güvenlik sistemi için gerekli yazılımlar verilmiştir. Ayrıca tasarlanan bu sistem, algılama sensörünün hassas bölgesi kapsamında elektrotlara bir yaklaşım veya bir temas algıladıklarında, sistemin mikrodenetleyici kartı durumu yorumlayıp bluetooth ile bağlı olduğu mobil cihaza durum bilgisini gönderir. Algılanan durumun niteliğine bağlı olarak, mobil cihaz ekranının kapalı olması veya başka bir uygulamanın açık olması durumu fark etmeksizin, cihaz sesli ve titreşimli olarak bir uyarı verir.

Öneri olarak, tasarlanan devrenin değişik teknik problemlerin çözümü için uygulanabilirliğini yaygınlaştırmak ve devre parametrelerinin optimize edilerek güvenlik sistemine yaklaşan nesnenin tür özelliklerine istinaden ayırt edilmesi üzerine yapılacak gelecek çalışılmalar bilimsel ve pratik açıdan önem arz etmektedir.

## KAYNAKLAR

- [1] V. L. Volkov, “Modeling of processes and systems in instrument making: Textbook / Arzamas, API NSTU,” 2008, p. 143.
- [2] V. A. Granovsky and T. N. Siraya, “The problem of the adequacy of models in measurements // Sensors & Systems №10.,” 2007, pp. 52–61.
- [3] P. Wibowo, S. A. Lubis, . Hermansyah, . Hamdani, and Z. Tharo, “Smart Home Security System Design Sensor Based on Pir and Microcontroller,” *Int. J. Glob. Sustain.*, vol. 1, no. 1, p. 67, 2017, doi: 10.5296/ijgs.v1i1.12053.
- [4] T. G. Zimmerman, J. R. Smith, J. A. Paradiso, D. Allport, and N. Gershenfeld, “Applying electric field sensing to human-computer interfaces,” *Conf. Hum. Factors Comput. Syst. - Proc.*, vol. 1, pp. 280–287, 1995, doi: 10.1145/223904.223940.
- [5] P. Examiner and T. Edwards, “Usoo64525 14Eb1,” vol. 1, no. 12, 2002.
- [6] A. Braun, R. Wichert, A. Kuijper, and D. W. Fellner, “Capacitive proximity sensing in smart environments,” *J. Ambient Intell. Smart Environ.*, vol. 7, no. 4, pp. 483–510, 2015, doi: 10.3233/AIS-150324.
- [7] R. Wimmer, P. Holleis, M. Kranz, and A. Schmidt, “Thracker - Using capacitive sensing for gesture recognition,” *Proc. - Int. Conf. Distrib. Comput. Syst.*, 2006, doi: 10.1109/ICDCSW.2006.109.
- [8] T. Grosse-Puppendahl, A. Braun, F. Kamieth, and A. Kuijper, “Swiss-Cheese Extended: An object recognition method for ubiquitous interfaces based on capacitive proximity sensing,” *Conf. Hum. Factors Comput. Syst. - Proc.*, pp. 1401–1410, 2013, doi: 10.1145/2470654.2466186.
- [9] M. Sato, I. Poupyrev, and C. Harrison, “Touché: Enhancing touch interaction on humans, screens, liquids, and everyday objects,” *Conf. Hum. Factors Comput. Syst. - Proc.*, no. c, pp. 483–492, 2012, doi: 10.1145/2207676.2207743.
- [10] O. Bayraktar, M. Yildirim, and H. Alisoy, “Development of Textile -Based Capacitive Proximity Sensing Structures on Roller Blind Fabrics,” *AUTEX2019 –19thWorld Textile Conference on Textiles at the Crossroads*. Ghent, Belgium, 2019.
- [11] M. Yildirim, U. Deveci, G. Selvi, and H. Alisoy, “No Title,” *Development of textile-*



- based capacitive proximity sensing structures on roller blind fabrics. Autex2021 – 20th World Textile Conference, Guimarães, Portugal & Online, 5-9 September 2021. .*
- [12] M. Y. Cheng, C. L. Lin, Y. T. Lai, and Y. J. Yang, “A polymer-based capacitive sensing array for normal and shear force measurement,” *Sensors (Switzerland)*, vol. 10, no. 11, pp. 10211–10225, 2010, doi: 10.3390/s101110211.
- [13] O. Atalay, A. Atalay, J. Gafford, and C. Walsh, “A Highly Sensitive Capacitive-Based Soft Pressure Sensor Based on a Conductive Fabric and a Microporous Dielectric Layer,” *Adv. Mater. Technol.*, vol. 3, no. 1, pp. 1–8, 2018, doi: 10.1002/admt.201700237.
- [14] T. Y. Wu, L. Tan, Y. Zhang, T. Seyed, and X. D. Yang, “Capacitivo: Contact-based object recognition on interactive fabrics using capacitive sensing,” *UIST 2020 - Proc. 33rd Annu. ACM Symp. User Interface Softw. Technol.*, pp. 649–661, 2020, doi: 10.1145/3379337.3415829.
- [15] S. Jose, “( 12 ) United States Patent ( 10 ) Patent No .: U . S . Patent,” vol. 2, no. 12, 2006.
- [16] R. Hoffmann, H. Brodowski, A. Steinhage, and M. Grzegorzec, “Detecting walking challenges in gait patterns using a capacitive sensor floor and recurrent neural networks,” *Sensors (Switzerland)*, vol. 21, no. 4, 2021, doi: 10.3390/s21041086.
- [17] W. K. Wong, F. H. Juwono, and B. T. T. Khoo, “Multi-Features Capacitive Hand Gesture Recognition Sensor: A Machine Learning Approach,” *IEEE Sens. J.*, vol. 21, no. 6, 2021, doi: 10.1109/JSEN.2021.3049273.
- [18] L. Chen *et al.*, “Textile-Based Capacitive Sensor for Physical Rehabilitation via Surface Topological Modification,” *ACS Nano*, vol. 14, no. 7, 2020, doi: 10.1021/acsnano.0c01643.
- [19] X. Yang, S. Chen, Y. Shi, Z. Fu, and B. Zhou, “A flexible highly sensitive capacitive pressure sensor,” *Sensors Actuators, A Phys.*, vol. 324, 2021, doi: 10.1016/j.sna.2021.112629.
- [20] R. P. Rocha, A. T. De Almeida, and M. Tavakoli, “Water based magnification of capacitive proximity sensors: Water containers as passive human detectors,” 2020, doi: 10.1109/IROS45743.2020.9340877.
- [21] Y. Ye, C. Zhang, C. He, X. Wang, J. Huang, and J. Deng, “A Review on Applications

- of Capacitive Displacement Sensing for Capacitive Proximity Sensor,” *IEEE Access*, vol. 8. 2020, doi: 10.1109/ACCESS.2020.2977716.
- [22] C. T. Chu and C. H. Chang, “The Hidden Markov Model with Proximity Capacitive Sensor to Detect User Gesture,” in *Proceedings of Technical Papers - International Microsystems, Packaging, Assembly, and Circuits Technology Conference, IMPACT*, 2020, vol. 2020-October, doi: 10.1109/IMPACT50485.2020.9268609.
- [23] N. Pavliuk, E. Cherskikh, N. Pshchelko, and A. Shabanova, “Circuit Schematics of a Capacitive Proximity Sensor,” 2019, doi: 10.1109/SUMMA48161.2019.8947597.
- [24] H. K. Lee, S. Il Chang, and E. Yoon, “Dual-Mode Capacitive Proximity Sensor for Robot Application: Implementation of Tactile and Proximity Sensing Capability on a Single Polymer Platform Using Shared Electrodes,” *IEEE Sens. J.*, vol. 9, no. 12, 2009, doi: 10.1109/JSEN.2009.2030660.
- [25] Y. Ye, C. He, B. Liao, and G. Qian, “Capacitive proximity sensor array with a simple high sensitivity capacitance measuring circuit for human-computer interaction,” *IEEE Sens. J.*, vol. 18, no. 14, 2018, doi: 10.1109/JSEN.2018.2840093.
- [26] B. George, H. Zangl, T. Bretterkieber, and G. Brasseur, “A combined inductivecapacitive proximity sensor for seat occupancy detection,” in *IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement*, 2010, vol. 59, no. 5, doi: 10.1109/TIM.2010.2040910.
- [27] B. Zhang *et al.*, “Dual functional transparent film for proximity and pressure sensing,” *Nano Res.*, vol. 7, no. 10, 2014, doi: 10.1007/s12274-014-0510-3.
- [28] N. Kirchner, D. Hordern, D. Liu, and G. Dissanayake, “Capacitive sensor for object ranging and material type identification,” *Sensors Actuators, A Phys.*, vol. 148, no. 1, 2008, doi: 10.1016/j.sna.2008.07.027.
- [29] S. Bian, V. F. Rey, J. Younas, and P. Lukowicz, “Wrist-Worn Capacitive Sensor for Activity and Physical Collaboration Recognition,” 2019, doi: 10.1109/PERCOMW.2019.8730581.
- [30] A. Nelson, G. Singh, R. Robucci, C. Patel, and N. Banerjee, “Adaptive and Personalized Gesture Recognition Using Textile Capacitive Sensor Arrays,” *IEEE Trans. Multi-Scale Comput. Syst.*, vol. 1, no. 2, 2015, doi: 10.1109/TMSCS.2015.2495100.

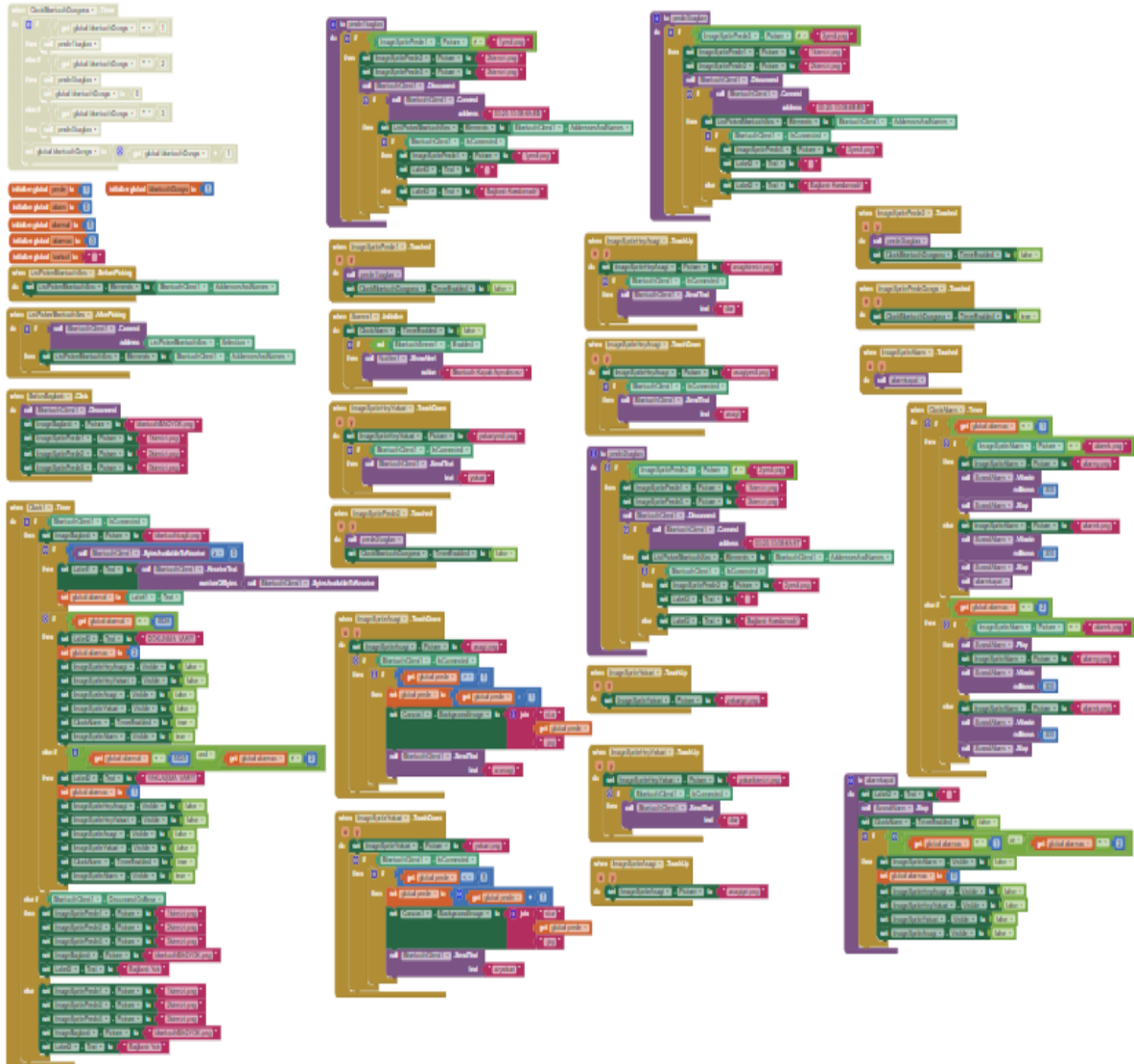
- [31] H. Z. Alisoy, “Electriçeskiye yavleniya v gazah (Electrical Phenomenon in Gas),” in *Azerbaijan Science Academy, Institute of Physics*, 1995, p. 352.
- [32] H. Z. Alisoy, “Devre Sentezi Ders Notları,” in *TNKÜ Elektronik ve Haberleşme Mühendisliği Bölümü*, 2019, p. 85.
- [33] A. Moradi and T. Kasper, “A new remote keyless entry system resistant to power analysis attacks,” 2009, doi: 10.1109/ICICS.2009.5397727.



# EKLER

## EK-1

App inventor ile yapılmış android uygulaması kodlarıdır.



## EK-2

Mikrodenetleyici kartı için yazılmış kodlardır.

```
#include <SoftwareSerial.h>

SoftwareSerial BTSerial(10, 11); // RX | TX

String readString;

int data, i, sensorPin = A0, ledPin=13, sensorYaklasma, sensorDokunma;

const int pwmli = 0;

void setup() {
  BTSerial.begin(9600);
  Serial.begin(9600);
  pinMode(5, OUTPUT);
  pinMode(3, INPUT);
  pinMode(4, INPUT);
  pinMode(13, OUTPUT); }

void loop() {
  sensorYaklasma=digitalRead(3);
  sensorDokunma=digitalRead(4);
  if(sensorYaklasma==0 && sensorDokunma==1) {
    BTSerial.println("5525");
    Serial.println("5525");
    delay(500); }
  else if(sensorYaklasma==0 && sensorDokunma==0 || sensorYaklasma==1
&&sensorDokunma==0) { BTSerial.println("5526");
  Serial.println("5526");
  delay(500); }
  while (BTSerial.available()) {
    delay(3);
    char c = BTSerial.read();
    readString += c;
    data = c; } }
```